



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE ISOMALTULOSA
EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS UNTABLES
DE TOMATE DE BAJO ÍNDICE GLICÉMICO**

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Estela M^a Rosa Barbosa

Dirigida por:

Dra. Ana M^a Andrés Grau

Dra. Ana Belén Heredia Gutiérrez

Parece increíble pero sí, ha llegado el momento...

Agradecimientos

A mis directoras **Ana Andrés** y **Ana Heredia**, por darme la oportunidad de trabajar con ellas, enseñarme tantas cosas y por su infinita paciencia.

Al **CSIC**, por su ayuda económica dentro del programa JAE-Predoc, sin la que no hubiera podido llevar a cabo este trabajo.

A **Irene**, por todos los buenos ratos que pasamos en el laboratorio y el trabajo en equipo.

A **Celia**, por recibirme siempre en su laboratorio con una sonrisa levantánimos y escucharme cuando el mundo se volvía del revés.

A mis **Compañeros y Técnicos del IIAD**, por desprender una energía tan positiva en el día a día y por sus muchos consejos.

A **Sergio, Jor y Dani**, por revitalizarme con los chocolates más golosos de toda Valencia y más... en el **Café de las Letras**.

A **Benja y Yui**, por llegar a mi vida en uno de los momentos en que me sentía más sola y llenarla de "Jardines".

A **Pepito**, por su apoyo y constancia en el tramo final de la tesis, que era justo cuando más lo necesitaba.

A mis hermanas, **Chelo y Celia**, porque sin saberlo, restablecen mi equilibrio vital y consiguen que no me pierda en mis espirales.

A mi **familia y amigos**, no puedo nombraros a todos, pero sé que cada uno de vosotros sabe lo importante que es para mí... gracias por estar siempre ahí!

Por último, hacer una mención especial a todos los **proyectandos** que han pasado por el laboratorio, a mis variados **compañeros de los pisos de estudiantes** y a **mis compañeros (y amigos) de ITENE**... cada uno aportando algo diferente y necesario al conjunto.

¡Gracias a todos por compartir este trocito del camino conmigo!



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS PARA EL
DESARROLLO**

Dra. ANA M^a ANDRÉS GRAU y Dra. ANA BELÉN HEREDIA GUTIÉRREZ
PROFESORAS DEL DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS Y
MIEMBROS DEL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE VALENCIA,

CONSIDERAN: que la memoria titulada **ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE
ISOMALTULOSA EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS
UNTABLES DE TOMATE DE BAJO ÍNDICE GLICÉMICO** que
presenta **D.^a ESTELA M^a ROSA BARBOSA**, para aspirar al grado de
Doctora por la Universidad Politécnica de Valencia, y que ha sido
realizada bajo su dirección en el Instituto Universitario de Ingeniería de
Alimentos para el Desarrollo de la Universidad Politécnica de Valencia,
reúne las condiciones adecuadas para constituir su tesis doctoral, por lo
que **AUTORIZAN** a la interesada para su presentación.

Valencia, enero 2016

Fdo.: Dra. Ana M^a Andrés Grau

Fdo.: Dra. Ana Belén Heredia Gutiérrez
Directoras de la tesis doctoral

RESUMEN

La actual tendencia por parte de los consumidores hacia productos más saludables, que además ofrezcan un valor funcional añadido, como un elevado contenido en vitaminas y compuestos antioxidantes, ha hecho que el desarrollo de nuevos productos en esta dirección, sea uno de los objetivos prioritarios para la industria alimentaria.

En este sentido, la elaboración de productos untables a base de frutas u hortalizas y azúcares más saludables que la sacarosa como la fructosa y la isomaltulosa, de bajo índice glicémico, representaría una atractiva alternativa para dinamizar el sector de productos procesados a partir de frutas y hortalizas. Además, la isomaltulosa no produce caries dental, por lo que aún sería mayor su interés, en la elaboración de estos productos.

Por otra parte, el procesado de frutas y hortalizas para obtener mermeladas, por ejemplo, conlleva el someter al producto a largos tiempos de cocción, con el fin de obtener las características típicas del producto y aumentar su estabilidad. En este trabajo, se plantea la producción de untables de tomate por deshidratación osmótica por vía seca consistente en cubrir el alimento con el agente osmótico en estado sólido. Este método presenta la ventaja mediambiental, frente a la deshidratación osmótica convencional por vía húmeda, de no requerir el uso de una disolución osmótica externa evitando, por tanto, la gestión de la misma como residuo del proceso. En cambio, sí se genera una disolución rica en compuestos bioactivos por salida de la fase líquida del alimento durante el proceso, la cual se incorpora al producto final con el incremento del valor funcional del mismo.

En el presente trabajo se ha estudiado la influencia del método de deshidratación osmótica (vía húmeda o seca), de la formulación (% de sustitución de sacarosa por isomaltulosa y/o fructosa, % de pectina, % de

ácido cítrico, sorbato potásico (ppm), y del tiempo de tratamiento térmico sobre las propiedades físico-químicas (reológicas, mecánicas y ópticas, entre otras) y antioxidantes de diferentes productos untables de tomate de 20 y 50 °Brix. Por último y en base a los resultados obtenidos, se ha optimizado la formulación de un producto untable de tomate de 50 °Brix.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que es posible la elaboración de un producto untable de tomate de bajo índice glicémico y un alto valor funcional, mediante el método de deshidratación osmótica por vía seca. La optimización de las variables de proceso, en base a maximizar su contenido en antioxidantes, conseguir un color lo más parecido posible al tomate fresco y una textura adecuada, indica que las condiciones de proceso más adecuadas para obtener un producto untable de tomate de 50 °Brix por deshidratación osmótica por vía seca son: 50 % de isomaltulosa, 2,5 % de pectina, 0,5 % de ácido cítrico, 253,4 ppm de sorbato potásico y 7,6 minutos a 90 °C.

RESUM

L'actual tendència per part dels consumidors cap a productes més saludables, que a més ofereixin un valor funcional afegit, com un elevat contingut en vitamines i compostos antioxidants, ha fet que el desenvolupament de nous productes en aquesta direcció, sigui un dels objectius prioritaris en la indústria alimentària.

En aquest sentit, l'elaboració de productes untables de fruites o hortalisses i sucres més saludables que la sacarosa, com la fructosa i la isomaltulosa, de baix índex glicèmic, representaria una atractiva alternativa per dinamitzar el sector de productes processats a partir de fruites i hortalisses. A més, la isomaltulosa no produeix càries dental, de manera que encara seria major el seu interès, en l'elaboració d'aquests productes.

D'altra banda, el processat de fruites i hortalisses per obtenir melmelades per exemple, comporta sotmetre al producte a llargs temps de cocció, per tal d'obtenir les característiques típiques del producte i augmentar la seva estabilitat. En aquest treball, es planteja la producció d'untables de tomaca per deshidratació osmòtica per via seca, consistent en cobrir l'aliment amb l'agent osmòtic en estat sòlid. Aquest mètode presenta l'avantatge mediambiental, enfront de la deshidratació osmòtica convencional per via humida, de no requerir l'ús d'una dissolució osmòtica externa evitant, per tant, la gestió de la mateixa com a residu del procés. En canvi, sí es genera una dissolució rica en compostos bioactius per sortida de la fase líquida de l'aliment durant el procés, la qual s'incorpora al producte final amb l'increment del valor funcional del mateix.

En el present treball s'ha estudiat la influència del mètode de deshidratació osmòtica (via humida o seca), de la formulació (% de substitució de sacarosa per isomaltulosa i/o fructosa, % de pectina, %

d'àcid cítric, sorbat potàssic (ppm), i del temps de tractament tèrmic sobre les propietats fisicoquímiques (reològiques, mecàniques i òptiques, entre d'altres) i antioxidants de diferents productes untables de tomaca de 20 i 50 °Brix. Finalment i en base als resultats obtinguts, s'ha optimitzat la formulació d'un producte untable de tomaca de 50 °Brix.

Els resultats obtinguts permeten afirmar que es possible l'elaboració de un producte untable de tomaca de baix índex glicèmic amb un alt valor nutricional, mitjançant el mètode de deshidratació osmòtica per via seca. L'optimització de les variables de procés, basant-se en maximitzar el seu contingut en antioxidants, aconseguir un color el més paregut possible a la tomaca fresca i una textura adequada, indica que les condicions de procés més adequades per obtenir un producte untable de tomaca de 50 °Brix per deshidratació osmòtica per via seca són: 50 % de isomaltulosa, 2,5 % de pectina, 0,5 % de àcid cítric, 253,4 ppm de sorbat potàssic i 7,6 minuts a 90 °C.

ABSTRACT

The current tendency by consumers towards healthier products, which also offer a functional added value as a high content in vitamins and antioxidants, has made the development of new products one of the priorities of the food industry. In this sense, the development of spreadable products from fruits or vegetables and healthier sucrose replacers such as fructose and isomaltulose, with a low glycemic index, represent an attractive alternative to boost the sector of products processed from fruit and vegetables. Furthermore, isomaltulose does not produce tooth decay, so the interest in the development of these products would still be greater.

Moreover, the processing of fruits and vegetables for marmalades for example, involves subjecting the product to a long cooking time, in order to obtain the typical characteristics of the product and increase its stability. In this research work, the production of tomato spreadable products by means of dry osmotic dehydration consisting of directly covering the food with the osmotic agent in solid state is proposed. This method presents the environmental advantage, compared to the conventional osmotic dehydration process, of not requiring the use of an external osmotic solution which must be managed as a waste. Additionally a solution riched in native bioactive compounds is generated by the output of the liquid phase of the food during the process. This solution could be incorporated to the final product in order to enhance its functional properties.

In this research work, the influence of the osmotic dehydration method (wet and dry methods), the formulation (% sucrose replacing by isomaltulose and/or fructose, % pectin, % citric acid, potassium sorbate (ppm) and heat treatment time on the physicochemical (rheological,

mechanical and optical among others) and antioxidants properties of different spreadable tomato products of 20 and 50 Brix was studied. Finally, and based on the results obtained, the formulation of a spreadable tomato product of 50 Brix was optimized.

The obtained results allow to conclude that it is possible to obtain spreadable tomato products with low glycemic index and high functional profile by means of dry osmotic dehydration. The optimization of the process variables, based on maximizing the antioxidant content, reaching a colour as close as possible to the fresh tomato and an appropriate texture, concludes that the optimal process variables are: 50 % of isomaltulose, 2.5 % of pectin, 0.5 % of citric acid, 253.4 ppm of potassium sorbate and 7.6 minutes at 90 °C, in order to obtain a 50 Brix spreadable tomato product by means of dry osmotic dehydration.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

JUSTIFICACIÓN E INTERÉS DEL ESTUDIO	1
I. INTRODUCCIÓN	
I.1. EL TOMATE	5
I.1.1. Origen y características botánicas	5
I.1.2. Composición química e importancia nutricional	8
I.1.3. Importancia económica	10
I.1.4. Interés funcional	11
I.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ALIMENTOS	13
I.2.1. Deshidratación osmótica por vía seca como aplicación en la elaboración de productos untables de fruta	17
I.3. USO DE NUEVOS AZÚCARES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	19
II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	
II.1. OBJETIVOS	27
II.1.1. Objetivo general	27
II.1.2. Objetivos específicos	27
II.2. PLAN DE TRABAJO	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS	
III.1. MATERIA PRIMA	35
III.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	35
III.2.1. Formulación de los untables de tomate de 20 °Brix	38
III.2.2. Formulación de los untables de tomate de 50 °Brix	41
III.2.3. Optimización de la formulación de un producto untable de tomate de 50 °Brix	44
III.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	47
III.3.1. Determinación del contenido en humedad	48
III.3.2. Determinación del contenido en sólidos solubles totales	48
III.3.3. Determinación de la actividad de agua	49
III.3.4. Determinación del pH	49
III.3.5. Determinación de las propiedades ópticas	50
III.3.6. Determinación de las propiedades mecánicas	51
III.3.7. Determinación de las propiedades reológicas	53
III.4. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	55
III.5. ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DE CARÁCTER ANTIOXIDANTE	57

III.5.1. Determinación del contenido en ácido ascórbico	57
III.5.2. Determinación del contenido en fenoles totales	58
III.5.3. Determinación del contenido en β -caroteno y licopeno	60
III.5.4. Determinación de la actividad antioxidante	63
III.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	65

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN EL COLOR, TEXTURA Y REOLOGÍA DE PRODUCTOS UNTABLES DE TOMATE DE 20 °BRIX	69
IV.1.1. Influencia de las variables de proceso en las propiedades ópticas de los untables de tomate de 20 °Brix	72
IV.1.2. Influencia de las variables de proceso en las propiedades mecánicas de los untables de tomate de 20 °Brix	76
IV.1.3. Influencia de las variables de proceso en las propiedades reológicas de los untables de tomate de 20 °Brix	82
IV.1.3.1. Ensayos estacionarios	83
IV.1.3.2. Ensayos oscilatorios	90
IV.1.3.3. La regla de Cox-Merz	98
IV.1.4. Conclusiones relacionadas con el color, la textura y la reología de los productos untables de tomate de 20 °Brix	104
IV.2. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN EL COLOR, TEXTURA Y REOLOGÍA DE PRODUCTOS UNTABLES DE TOMATE DE 50 °BRIX	107
IV.2.1. Influencia de las variables de proceso en las propiedades ópticas de los untables de tomate de 50 °Brix	110
IV.2.2. Influencia de las variables de proceso en las propiedades mecánicas de los untables de tomate de 50 °Brix	114
IV.2.3. Influencia de las variables de proceso en las propiedades reológicas de los untables de tomate de 50 °Brix	121
IV.2.3.1. Ensayos estacionarios	121
IV.2.3.2. Ensayos oscilatorios	128
IV.2.3.3. La regla de Cox-Merz	133
IV.2.4. Conclusiones relacionadas con el color, la textura y la reología de los productos untables de tomate de 50 °Brix	137
IV.3. OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN POR VÍA SECA DE PRODUCTOS UNTABLES DE TOMATE DE 50 °BRIX	139

IV.3.1. Caracterización de la materia prima	142
IV.3.2. Análisis de las propiedades fisicoquímicas de los productos untables	144
IV.3.3. Análisis microbiológico de los productos untables	145
IV.3.4. Análisis de las propiedades ópticas de los productos untables	147
IV.3.5. Análisis de las propiedades mecánicas de los productos untables	152
IV.3.6. Análisis de las propiedades antioxidantes de los productos untables	156
IV.3.6.1. Contenido en ácido ascórbico de los productos untables	
IV.3.6.2. Contenido en fenoles totales de los productos untables	163
IV.3.6.3. Contenido en β -caroteno y licopeno de los productos untables	168
IV.3.6.4. Capacidad antioxidante de los productos untables	179
IV.3.7. Optimización de la formulación de los productos untables	187
IV.3.8. Conclusiones relacionadas con la optimización del proceso de elaboración de productos untables de tomate de 50 °Brix	189
V. BIBLIOGRAFÍA CITADA	195
ANEXOS	
1. UNTABLES DE TOMATE DE 20 °BRIX	211
2. UNTABLES DE TOMATE DE 50 °BRIX	219
3. OPTIMIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS UNTABLES DE 50 °BRIX	227

ÍNDICE DE FIGURAS

I. INTRODUCCIÓN

- Figura I.1.** Estructura del fruto del tomate 8
Figura I.2. Estructura de la molécula de isomaltulosa 22

III. MATERIALES Y MÉTODOS

- Figura III.1.** Esquema del proceso de elaboración de los untables de 20 °Brix 40
Figura III.2. Esquema del proceso de elaboración de los untables de 50 °Brix 43
Figura III.3. Etapas del proceso de elaboración del producto untable de tomate 46
Figura III.4. Espacio colorimétrico CIEL*a*b* 51
Figura III.5. Prensa universal de textura 52
Figura III.6. Curva tipo de Fuerza (N)-Tiempo (s) obtenida en el ensayo back-extrusion 53
Figura III.7. Reómetro 53
Figura III.8. Curva tipo esfuerzo (Pa)-gradiente de velocidad (s⁻¹) obtenida en el ensayo estacionario 54
Figura III.9. Curvas tipo G' (módulo de almacenamiento) y G'' (módulo de pérdidas)-frecuencia (Hz) obtenidas en el ensayo oscilatorio 55
Figura III.10. Etapas llevadas a cabo para la siembra en placa 56
Figura III.11. Valoración del ácido ascórbico de una muestra antes y después del viraje 57
Figura III.12. Esquema del protocolo seguido para la determinación de ácido ascórbico 58
Figura III.13. Esquema del protocolo seguido para la determinación del contenido en fenoles totales 59
Figura III.14. Curva patrón del ácido gálico para el análisis de los compuestos fenólicos totales 60
Figura III.15. Residuo incoloro tras la extracción de los compuestos carotenoides 60
Figura III.16. Esquema del protocolo seguido para la determinación del contenido en β-caroteno y licopeno 62
Figura III.17. Curva patrón del β-caroteno 63
Figura III.18. Curva patrón del Licopeno 63
Figura III.19. Diferencias en la coloración del DPPH como consecuencia de la adición de la muestra 64
Figura III.20. Esquema del protocolo seguido para la determinación de la actividad antioxidante 65

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Figura IV.1.** Esquema del plan experimental llevado a cabo para la realización del estudio de la influencia de las variables de proceso en el color, textura y reología de productos untables de tomate de 20 °Brix. 70
- Figura IV.2.** Situación de las muestras de tomate fresco y de los untables de 20 °Brix elaborados con 1,5 % de pectina en los planos cromáticos b^* - a^* y L^* - a^* , según los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los azúcares utilizados (S: sacarosa; I: isomaltulosa). 74
- Figura IV.3.** Valores experimentales de la consistencia (N·s) de los untables de tomate de 20 °Brix, según el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y el porcentaje de pectina (0,5, 1, 1,5 %), junto a sus modelos predictivos. 79
- Figura IV.4.** Valores experimentales de la adhesividad (N·s) de los untables de tomate de 20 °Brix, según el tipo de azúcar (S: Sacarosa; I: Isomaltulosa), el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y el porcentaje de pectina (0,5, 1, 1,5 %), junto a sus modelos predictivos. 81
- Figura IV.5.** Valores experimentales de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley de los untables de tomate de 20 °Brix elaborados con sacarosa, en función del porcentaje de pectina (P), junto a sus modelos predictivos. 87
- Figura IV.6.** Valores experimentales de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley de los untables de tomate de 20 °Brix elaborados con isomaltulosa, en función del porcentaje de pectina (P), junto a sus modelos predictivos. 88
- Figura IV.7.** Comprobación de los modelos propuestos para la predicción de los parámetros del modelo reológico Herschel-Bulkley (τ_0 , k, n) de los untables de tomate de 20 °Brix. 90
- Figura IV.8.** Barridos de frecuencia de G' y G'' para los untables de tomate de 20 °Brix con 1 % de pectina, según el tipo de azúcar (Sacarosa o Isomaltulosa) y el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida). 94
- Figura IV.9.** Barridos de frecuencia de G^* para los untables de tomate de 20 °Brix con 1 % de pectina, según el tipo de azúcar (Sacarosa o Isomaltulosa) y el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida). 98
- Figura IV.10.** Aplicación de la regla de Cox-Merz a los untables de tomate de 20 °Brix, siendo η : viscosidad en estado estacionario y η^* : viscosidad compleja. 99

Figura IV.11. Aplicación de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz a los untables de tomate de 20 °Brix, siendo η : viscosidad en estado estacionario y η^* viscosidad compleja.	103
Figura IV.12. Esquema del plan experimental llevado a cabo para la realización del estudio de la influencia de las variables de proceso en el color, textura y reología de productos untables de tomate de 50 °Brix.	108
Figura IV.13. Situación de las muestras de tomate fresco y de los untables de 50 °Brix elaborados con 1,5 % de pectina en los planos cromáticos b^* - a^* y L^* - a^* , según los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los azúcares utilizados (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p))).	113
Figura IV.14. Valores experimentales de la consistencia (N·s) de los untables de tomate de 50 °Brix, según el tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y el porcentaje de pectina (1, 1,5, 2 %), junto a sus modelos predictivos.	117
Figura IV.15. Valores experimentales de la adhesividad (N·s) de los untables de tomate de 50 °Brix, según el tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y el porcentaje de pectina (1, 1,5, 2 %), junto a sus modelos predictivos.	119
Figura IV.16. Valores experimentales del esfuerzo umbral (τ_0) del modelo Herschel-Bulkley para los untables de tomate de 50 °Brix, en función de las variables de proceso, junto a sus modelos predictivos.	124
Figura IV.17. Valores experimentales del índice de consistencia (k) del modelo Herschel-Bulkley para los untables de tomate de 50 °Brix, en función de las variables de proceso, junto a sus modelos predictivos.	125
Figura IV.18. Valores experimentales del índice de comportamiento al flujo (n) del modelo Herschel-Bulkley para los untables de tomate de 50 °Brix, en función de las variables de proceso, junto a sus modelos predictivos.	126
Figura IV.19. Comprobación de los modelos propuestos para la predicción de los parámetros del modelo reológico Herschel-Bulkley (τ_0 , k, n) de los untables de tomate de 50 °Brix.	128
Figura IV.20. Barridos de frecuencia de G' y G'' para los untables de tomate de 50 °Brix con 2 % de pectina, según el tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)) y el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).	130

Figura IV.21. Barridos de frecuencia de G^* para los untables de tomate de 50 °Brix con 2 % de pectina, según el tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)) y el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).	133
Figura IV.22. Aplicación de la regla de Cox-Merz a los untables de tomate de 50 °Brix, siendo η : viscosidad en estado estacionario y η^* : viscosidad compleja.	133
Figura IV.23. Aplicación de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz a los untables de tomate de 50 °Brix, siendo η : viscosidad en estado estacionario y η^* viscosidad compleja.	136
Figura IV.24. Esquema del plan experimental llevado a cabo para la optimización de productos untables de tomate de 50 °Brix.	141
Figura IV.25. Gráfico de superficie para la coordenada colorimétrica L^* de los untables de tomate almacenados durante 3 meses, en función de los % de pectina y ácido cítrico. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.	148
Figura IV.26. Situación de las muestras de tomate fresco y de los productos untables en los planos cromáticos b^*a^* y L^*a^* . Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	150
Figura IV.27. Situación de las muestras de tomate fresco y de los productos untables en los planos cromáticos b^*a^* y L^*a^* . Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	151
Figura IV.28. Situación de las muestras de tomate fresco y de los productos untables en los planos cromáticos b^*a^* y L^*a^* . Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo de tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	151
Figura IV.29. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la consistencia de los untables de tomate almacenados durante 6 meses, en función de las interacciones significativas. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.	153
Figura IV.30. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la adhesividad de los untables de tomate almacenados durante 6 meses, en función de las interacciones significativas. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.	153
Figura IV.31. Valores de consistencia y adhesividad de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	154
Figura IV.32. Valores de consistencia y adhesividad de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	155

Figura IV.33. Valores de consistencia y adhesividad de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo de tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	156
Figura IV.34. Valores del contenido en ácido ascórbico de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	160
Figura IV.35. Valores del contenido en ácido ascórbico de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto de contenido en sorbato potásico (0, 250 y 500 ppm), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	161
Figura IV.36. Valores del contenido en ácido ascórbico de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo de tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	162
Figura IV.37. Gráfico de superficie de respuesta estimada para el contenido en fenoles totales de los untables de tomate almacenados durante 6 meses, en función de las interacciones significativas. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.	165
Figura IV.38. Valores del contenido en fenoles totales de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	166
Figura IV.39. Valores del contenido en fenoles totales de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	167
Figura IV.40. Valores del contenido en fenoles totales de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo del tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	168
Figura IV.41. Gráfico de superficie de respuesta estimada para el contenido en β -caroteno de los untables de tomate recién elaborados, en función de las interacciones significativas. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.	173
Figura IV.42. Valores del contenido en β -caroteno de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	174
Figura IV.43. Valores del contenido en β -caroteno de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de isomaltulosa (0, 25 y 50 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	175
Figura IV.44. Valores del contenido en β -caroteno de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo del tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	176

Figura IV.45. Gráfico de superficie de respuesta estimada para el contenido en licopeno de los untables de tomate almacenados durante 3 meses, en función de los % de pectina y ácido cítrico. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.	177
Figura IV.46. Valores del contenido en licopeno de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	178
Figura IV.47. Valores del contenido en licopeno de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	179
Figura IV.48. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la capacidad antioxidante de los untables de tomate almacenados durante 3 meses, en función de los % de pectina y ácido cítrico. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.	182
Figura IV.49. Valores de la capacidad antioxidante de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	184
Figura IV.50. Valores de la capacidad antioxidante de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	185
Figura IV.51. Valores de la capacidad antioxidante de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo del tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.	186

ÍNDICE DE TABLAS

I. INTRODUCCIÓN

Tabla I.1. Composición química y nutritiva de 100 g de tomate.	10
---	----

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla III.1. Propiedades de los azúcares utilizados en la elaboración de los untables y actividad de agua (aw) de sus disoluciones saturadas.	36
Tabla III.2. Untables de tomate de 20 °Brix obtenidos en función de las distintas combinaciones de las variables estudiadas: método de elaboración (proceso de deshidratación osmótica y proporción fruta:disolución), tipo de azúcar y % de pectina.	39
Tabla III.3. Untables de tomate de 50 °Brix obtenidos en función de las distintas combinaciones de las variables estudiadas: tipo de azúcar, método de elaboración (proceso de deshidratación osmótica y proporción fruta:disolución) y % de pectina.	42
Tabla III.4. Valores de cada variable para los distintos niveles ensayados.	44
Tabla III.5. Diseño experimental de los productos untables obtenidos en función de las distintas combinaciones de las variables del proceso.	45

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla IV.1. Composición fisicoquímica de los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración y porcentaje de pectina (n = 3).	71
Tabla IV.2. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros de color de los untables de tomate de 20 °Brix en función de los dos tipos de azúcares (S: sacarosa; I: isomaltulosa), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (0,5, 1 y 1,5 %).	73
Tabla IV.3. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros de textura de los untables de tomate de 20 °Brix en función de los dos tipos de azúcares (S: sacarosa; I: isomaltulosa), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (0,5, 1 y 1,5 %).	76
Tabla IV.4. Valores del cociente-F obtenidos a partir del análisis de la varianza factorial (ANOVA) para los parámetros de textura de los untables de tomate de 20 °Brix en función de las variables de proceso.	77

Tabla IV.5. Valores de los parámetros del modelo predictivo de la consistencia de los untables de tomate de 20 °Brix (C_0 y α), en función de los diferentes ratios tomate deshidratado:disolución osmótica de su formulación (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).	79
Tabla IV.6. Valores de los parámetros del modelo predictivo para la adhesividad de los untables de tomate de 20 °Brix (A_0 y β), en función de los diferentes ratios tomate deshidratado:disolución osmótica de su formulación (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y del tipo de azúcar (Sacarosa e Isomaltulosa).	81
Tabla IV.7. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros reológicos de los untables de tomate de 20 °Brix en función de los dos tipos de azúcares (S: sacarosa; I: isomaltulosa), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (0,5, 1 y 1,5 %).	85
Tabla IV.8. Valores del cociente-F obtenidos a partir del análisis de la varianza factorial (ANOVA) para los parámetros del modelo Herschel-Bulkley obtenidos para los untables de tomate de 20 °Brix en función de las variables de proceso.	86
Tabla IV.9. Valores de los parámetros de los modelos predictivos para los parámetros del modelo reológico Herschel-Bulkley (τ_0 , k , n) de los untables de tomate de 20 °Brix, en función del tipo de azúcar (Sacarosa e Isomaltulosa).	89
Tabla IV.10. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros del modelo potencial (G' y G'') de los untables de tomate de 20 °Brix en función de los dos tipos de azúcares (S: sacarosa; I: isomaltulosa), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (0,5, 1 y 1,5 %).	93
Tabla IV.11. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros del modelo "gel débil" (A y z) de los untables de tomate de 20 °Brix en función de los dos tipos de azúcares (S: sacarosa; I: isomaltulosa), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (0,5, 1 y 1,5 %).	96
Tabla IV.12. Valores del cociente-F obtenidos a partir del análisis de la varianza factorial (ANOVA) para los parámetros de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz obtenidos para los untables de tomate de 20 °Brix en función de las variables de proceso.	102

Tabla IV.13. Composición fisicoquímica de los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) y porcentaje de pectina (P) (n = 3).	109
Tabla IV.14. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros de color de los untables de tomate de 50 °Brix en función de los azúcares utilizados (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).	111
Tabla IV.15. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros de textura de los untables de tomate de 50 °Brix en función de los azúcares utilizados (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).	114
Tabla IV.16. Valores del cociente-F obtenidos a partir del análisis de la varianza factorial (ANOVA) para los parámetros de textura de los untables de tomate de 50 °Brix en función de las variables de proceso.	116
Tabla IV.17. Valores de los parámetros del modelo predictivo de la consistencia de los untables de tomate de 50 °Brix (C0 y α), en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)) y del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).	118
Tabla IV.18. Valores de los parámetros del modelo predictivo de la adhesividad de los untables de tomate de 50 °Brix (A0 y β), en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)) y del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).	120
Tabla IV.19. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros reológicos de los untables de tomate de 50 °Brix en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y de los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).	121
Tabla IV.20. Valores del cociente-F obtenidos a partir del análisis de la varianza factorial (ANOVA) para los parámetros del modelo Herschel-Bulkley obtenidos para los untables de tomate de 50 °Brix en función de las variables de proceso.	122

Tabla IV.21. Valores de los parámetros de los modelos predictivos para los parámetros del modelo reológico Herschel-Bulkley (τ_0 , k , n) de los untables de tomate de 50 °Brix, en función de las distintas variables de proceso.	127
Tabla IV.22. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros del modelo potencial (G' y G'') de los untables de tomate de 50 °Brix en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y de los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).	129
Tabla IV.23. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros del modelo “gel débil” (A y z) de los untables de tomate de 50 °Brix en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y de los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).	132
Tabla IV.24. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz obtenidos para los untables de tomate de 50 °Brix en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; ; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y de los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).	134
Tabla IV.25. Composición fisicoquímica de los distintos lotes de tomate utilizados para la elaboración de los untables (n = 3).	142
Tabla IV.26. Valores de ácido ascórbico, fenoles totales, licopeno, β -caroteno y capacidad antioxidante para los diferentes lotes de tomate fresco (n = 3).	143
Tabla IV.27. Contenido en ácido ascórbico (mg/100 g producto) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) (n=3).	159
Tabla IV.28. Contenido en fenoles totales (mg GAE/100 g producto) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) (n=3).	164
Tabla IV.29. Contenido en β -caroteno (mg/100 g producto) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) (n=3).	170
Tabla IV.30. Contenido en licopeno (mg/100 g producto) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) (n=3).	171
Tabla IV.31. Capacidad antioxidante, expresada como % de inhibición del DPPH, de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) (n=3).	181

Tabla IV.32. Resumen de los valores óptimos de las variables de proceso, obtenidos mediante la optimización de múltiples respuestas del diseño experimental.	188
Tabla IV.33. Resumen de los valores óptimos de las variables de proceso, obtenidos mediante la optimización de múltiples respuestas del diseño experimental.	188

ANEXOS

Tabla 1.1. Valores de las coordenadas colorimétricas (L^* , a^* , b^*) y diferencias de color respecto al fresco (ΔE) de los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).	211
Tabla 1.2. Valores de la consistencia y la adhesividad para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).	212
Tabla 1.3. Valores de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley (τ_0 , k , n) para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 2$).	213
Tabla 1.4a. Valores de los parámetros del modelo potencial del módulo de almacenamiento G' (k' , n') para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).	214
Tabla 1.4b. Valores de los parámetros del modelo potencial del módulo de pérdidas G'' (k'' , n'') para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).	215
Tabla 1.5. Valores de los parámetros del modelo potencial de gel débil (A, z) para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).	216

Tabla 1.6. Valores de los parámetros de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P).	217
Tabla 1.7. Valores del ajuste entre la η^* modelo y η^* experimental (modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz) para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P).	218
Tabla 2.1. Valores de las coordenadas colorimétricas (L^* , a^* , b^*) y diferencias de color respecto al fresco (ΔE) de los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).	219
Tabla 2.2. Valores de la consistencia y la adhesividad para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).	220
Tabla 2.3. Valores de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley (τ_0 , k , n) para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 2$).	221
Tabla 2.4a. Valores de los parámetros del modelo potencial del módulo de almacenamiento G' (k' , n') para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).	222
Tabla 2.4b. Valores de los parámetros del modelo potencial del módulo de pérdidas G'' (k'' , n'') para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).	223
Tabla 2.5. Valores de los parámetros del modelo potencial de gel débil (A , z) para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).	224

Tabla 2.6. Valores de los parámetros de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P).	225
Tabla 2.7. Valores del ajuste entre la η^* modelo y η^* experimental (modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz) para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P).	226
Tabla 3.1a. Valores de actividad de agua (a_w), humedad (x^w), contenido en sólidos solubles (x^{ss}) y pH de los untables de tomate a las 24 h de su formulación (tiempo 0) (n=3).	227
Tabla 3.1b. Valores de actividad de agua (a_w), humedad (x^w), contenido en sólidos solubles (x^{ss}) y pH de los untables de tomate después de 3 meses de almacenamiento (tiempo 3) (n=3).	228
Tabla 3.1c. Valores de actividad de agua (a_w), humedad (x^w), contenido en sólidos solubles (x^{ss}) y pH de los untables de tomate después de 6 meses de almacenamiento (tiempo 6) (n=3).	229
Tabla 3.2. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) de la actividad de agua (a_w) y pH de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).	230
Tabla 3.3a. Valores de las coordenadas colorimétricas (L^* , a^* , b^*) de los untables de tomate a las 24 h de su formulación (tiempo 0) (n=3).	231
Tabla 3.3b. Valores de las coordenadas colorimétricas (L^* , a^* , b^*) de los untables de tomate después de 3 meses de almacenamiento (tiempo 3) (n=3).	232
Tabla 3.3c. Valores de las coordenadas colorimétricas (L^* , a^* , b^*) de los untables de tomate después de 6 meses de almacenamiento (tiempo 6) (n=3).	233
Tabla 3.4. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) de las coordenadas colorimétricas (L^* , a^* y b^*) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).	234
Tabla 3.5. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) de la diferencia de color respecto al fresco (ΔE) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).	235
Tabla 3.6. Valores de consistencia (N·s) de los productos untables de tomate a lo largo del almacenamiento (n=3).	236
Tabla 3.7. Valores de adhesividad (N·s) de los productos untables de tomate a lo largo del almacenamiento (n=3).	237

Tabla 3.8. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) de los valores de consistencia y adhesividad de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).	238
Tabla 3.9. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) del contenido en ácido ascórbico de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).	239
Tabla 3.10. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) del contenido en fenoles totales de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).	239
Tabla 3.11. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) del contenido en β -caroteno de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).	240
Tabla 3.12. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) del contenido en licopeno de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).	240
Tabla 3.13. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) de la capacidad antioxidante de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).	241

JUSTIFICACIÓN E INTERÉS DEL ESTUDIO

La presente tesis doctoral se ha desarrollado dentro del proyecto “Optimización del uso de la isomaltulosa, como azúcar natural no cariogénico y de bajo índice glicémico, en el desarrollo de productos untables de frutas” (AGL2008-01745/ALI), financiado por la Dirección General de investigación del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Los malos hábitos alimenticios de los últimos tiempos, adquiridos en gran medida por el ritmo de vida acelerado de la población, han llevado a un aumento considerable de los casos de enfermedades crónicas relacionadas con una mala alimentación como la obesidad, la hipertensión, la caries dental y la diabetes del tipo 2, entre otras. En este sentido, se han emprendido campañas de concienciación, para volver a unos hábitos alimenticios y de vida más saludables, con el fin de alcanzar una mejor calidad de vida (movimiento “Slow Food”). De esta forma, actualmente, hay un creciente interés por parte del consumidor por productos más saludables y funcionales, ricos en vitaminas y antioxidantes, que a su vez, mantengan al máximo las características organolépticas del alimento fresco, cómo signo de la buena calidad de los mismos.

En este sentido, la elaboración de un producto innovador elaborado con azúcares de bajo índice glicémico, que además, ofrezcan la ventaja de no producir caries, como sería el caso de la isomaltulosa, podría representar un gran avance en el sector alimentario.

Además, el método de elaboración que se plantea en este trabajo, ofrece una serie de ventajas respecto a otros productos untables de frutas y hortalizas, como las mermeladas. Ya que se trata de elaborar un producto estable en el tiempo, reduciendo al máximo los residuos derivados de su procesado. Pero al mismo tiempo, se evitaría la cocción de los ingredientes durante largos tiempos, con los cambios nutricionales y organolépticos

que ello conlleva. Por tanto, el producto que se obtendría sería un producto más parecido al alimento fresco, que los productos análogos actualmente en el mercado.

Por otra parte, el tomate es un alimento rico en compuestos antioxidantes (vitamina C, compuestos fenólicos y carotenoides), siendo la principal fuente natural de licopeno para el hombre. En este sentido, son numerosos los estudios que relacionan la ingesta de estos compuestos, con la reducción del riesgo de sufrir enfermedades neurodegenerativas, algunos tipos de cáncer o enfermedades cardiovasculares. Por todo ello, se ha considerado de interés la elaboración de un producto untable a base de tomate que conserve al máximo los atributos sensoriales de aroma, sabor y color característicos de esta hortaliza, así como sus propiedades antioxidantes.

En base a todo lo anterior, esta tesis estudia la influencia de las variables de proceso (método de elaboración y formulación, con especial hincapié en la viabilidad de sustitución de la sacarosa por otros azúcares más saludables como la isomaltulosa/fructosa) en la elaboración de productos untables de tomate de bajo índice glicémico.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. El Tomate

I.1.1. Origen y características botánicas

Las primeras especies de tomate salvaje son originarias del oeste de América del Sur, concretamente de Chile, de las tierras bajas de Perú y del norte de Ecuador. Estas especies ancestrales de tomate (pequeños y amarillos), migraron en dirección norte hacia México y allí fueron cultivadas por los aztecas (Tucker *et al.*, 2007). La palabra azteca "tomatl" significaba "fruta hinchada" siendo los conquistadores españoles quienes le atribuyeron el nombre de "tomate" (EUFIC, 2001).

Desde América, el tomate se transportó a Europa en algún momento a principios de 1500. Probablemente, llegó en primer lugar a Sevilla, que era uno de los principales centros del comercio internacional, junto con Italia (EUFIC, 2001). El primer documento sobre tomate conocido en Europa, fue escrito en 1544 por el botánico italiano Pietro Andrea Mattioli (Matthioli), quien describió en su obra como el fruto del tomate, *pomi d'oro* (manzana de oro), era comido en Italia con aceite, sal y pimienta, siendo otra evidencia de que los primeros tomates que llegaron a Europa eran amarillos y no rojos (Gould, 1983).

Inicialmente, el fruto no fue muy aceptado como alimento, debido a su similitud morfológica con frutos tóxicos de la familia de las Solanáceas, como la dulcamara (*Solanum dulcamara*) (Tucker *et al.*, 2007; Edlin, 2009). De hecho, al principio se cultivó más como planta ornamental exótica, que para su consumo (Tucker *et al.*, 2007; Díez & Nuez, 2008). La sospecha de su seguridad se mantuvo incluso después de su aceptación en la cocina, junto a otras creencias como que podría ser afrodisiaco (Edlin, 2009). Sin embargo, su consumo se fue generalizando poco a poco. La primera receta documentada de tomate, apareció en 1692 en un precoz libro de cocina

italiano, *Lo scalco alia moderna*, de Antonio Latini (Nunn & Qian, 2010). Sin embargo, no fue hasta finales de 1700 cuando los tomates fueron ampliamente cultivados y consumidos en abundancia en Italia y la Península Ibérica; mientras que en el norte de Europa su adopción fue lenta (Díez & Nuez, 2008).

A mediados de 1800, plantas con frutos de un atractivo color rojo, fueron cultivadas en América del Norte y en mayor medida por todo el mediterráneo. Aquellos cultivos que produjeron los frutos más grandes y con mayor contenido en azúcares fueron seleccionados y el tomate empezó a tener una amplia aceptación, aumentando rápidamente su importancia económica como planta de cultivo (Tucker *et al.*, 2007). Sin embargo, uno de los mayores problemas del fruto era que debido al clima cálido, se estropeaba rápidamente. El proceso de conserva ayudó a aumentar la vida útil del tomate a varios meses, pero antes de 1890 era un proceso manual costoso (Nunn & Qian, 2010). La mecanización de la conservera a principios del siglo XX redujo significativamente el coste de este proceso y dio lugar a un aumento significativo en el consumo de tomate (Gould, 1983).

Respecto a su taxonomía, el tomate es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia Solanaceae y al género *Lycopersicon*. La especie *L. esculentum* es la cultivada y posee nueve especies silvestres relacionadas. El nombre genérico y específico del tomate fue dado por Miller en 1788 (Vallejo & Estrada, 2004).

La planta del tomate es perenne, de porte arbustivo, y se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta, y el crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las variedades indeterminadas, pudiendo llegar, en estas últimas, a 10 m en un año (Rick, 1978).

A continuación se describen las principales características de la planta (Chamarro, 1995):

- La ramificación es generalmente simpodial, los ejes sucesivos se desarrollan a partir de la yema axilar del eje precedente y la yema terminal da lugar a la inflorescencia o a ramas abortivas.
- La semilla del tomate tiene forma lenticular con unas dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal.
- El sistema radical está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias. Una sección transversal de la raíz principal pondría de manifiesto la existencia de tres zonas claramente diferenciadas: la epidermis, el córtex y el cilindro central o vascular.
- El tallo típico tiene 2-4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis. Debajo de la epidermis se encuentra el córtex, o corteza, cuyas células más externas tienen clorofila y son fotosintéticas, mientras las más internas son de tipo colenquimático y ayudan a soportar el tallo.
- Las hojas son pinnado compuestas. Una hoja típica de las plantas cultivadas tiene unos 0,5 cm de largo, algo menos de anchura, con un gran foliolo terminal y hasta 8 grandes foliolos laterales, que pueden, a su vez, ser compuestos.
- La flor es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 o más sépalos, de 5 o más pétalos dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi- o plurilocular.

- El fruto es una baya de forma globular, ovoide o aplastada cuyo peso oscila, según variedad y condiciones de desarrollo, entre 5 y 500 gramos y puede ser bi- o plurilocular.

La figura I.1 ilustra el esquema de la estructura del fruto del tomate. En ella, se pueden distinguir las principales partes del fruto, el epicarpo, generalmente muy delgado, y el mesocarpo y el endocarpo carnosos (García, 2003).



Figura I.1. Estructura del fruto del tomate (Fuente: García, 2003).

I.1.2. Composición química e importancia nutricional

La composición química del tomate depende de factores como la variedad, el estado de maduración y las condiciones medioambientales y de cultivo del fruto. Los componentes químicos son importantes a la hora de evaluar la calidad de los frutos en relación al color, textura, sabor, aroma, valor nutricional y funcional (Madhavi & Salunkhe, 1998).

Los sólidos solubles del tomate son, predominantemente, azúcares (más del 60 % de los sólidos, siendo principalmente D-glucosa y D-

fructosa), los cuales contribuyen de forma importante en el aroma. En general, el aroma de los frutos se acentúa cuando el contenido en azúcar alcanza su punto máximo (Madhavi & Salunkhe, 1998).

La tabla I.1 recoge la composición química promedio por 100 g de tomate. Como se puede observar, el tomate posee un importante contenido en antioxidantes, destacando su contenido en vitamina C y licopeno. De hecho, el tomate y sus derivados son la principal fuente natural de licopeno para el organismo humano (Candelas-Cadillo *et al.*, 2005). Además, es bajo en calorías y no tiene colesterol, por lo que su consumo habitual es muy recomendable.

El tomate también tiene glutatión, un tripéptido intracelular compuesto de glicina, cisteína y ácido glutámico, que le confiere poder antioxidante y capacidad para reducir la acumulación de metales pesados, tales como el plomo y el cadmio (Heredia, 2008).

Tabla I.1. Composición química y nutritiva de 100 g de tomate.

Compuesto	100 g Tomate	Compuesto	100 g Tomate
Agua (g)	94,52	Vitaminas	
Energía (kcal)	18	Vitamina C, ascórbico ácido total (mg)	13,7
Proteínas (g)	0,88	Tiamina (mg)	0,037
Total lípidos (g)	0,20	Riboflavina (mg)	0,019
Carbohidratos (g)	3,89	Niacina (mg)	0,594
Fibra (total dietética) (g)	1,2	Vitamina B-6 (mg)	0,080
Azúcares (g)	2,63	Folato, DFE (µg)	15
Minerales		Vitamina A, RAE (µg)	42
Calcio (mg)	10	Vitamina A, (IU)	833
Hierro (mg)	0,27	Vitamina E, α-tocoferol (mg)	0,54
Magnesio (mg)	11	Vitamina K, Filoquinona (mg)	7,9
Fosforo (mg)	24	Carotenoides	
Potasio (mg)	237	β-Caroteno (mg)	0,11-1,07
Sodio (mg)	5	Licopeno (mg)	1,86-14,62
Zinc (mg)	0,17		

Adaptado de USDA (Publicación nº 27 (2015), todos los valores a excepción de los carotenoides, 100 g porción comestible) y de Frusciante *et al.* (2007), los valores de los carotenoides (revisión bibliográfica, 100 g peso fresco).

I.1.3 Importancia económica

El tomate es una de las hortalizas más consumidas mundialmente. El principal productor es China con 50.552.200 t, España se encuentra en novena posición con 3.683.600 t (FAOSTAT, 2013). A nivel europeo es el tercer país con mayor producción, detrás de Turquía e Italia (EUROSTAT, 2014). El tomate es la primera hortaliza exportada por España con 612 millones de euros en valor y un volumen de 623.000 toneladas (FEPEX, 2015a). A su vez, durante el primer trimestre de 2015 ha crecido fuertemente su importación con 23 millones de euros (+85 %) (FEPEX, 2015b).

Según la encuesta realizada por Syngenta Seeds en 2008, España fue el país de la Unión Europea donde más tomate se consume a diario (70 %

de los españoles decía consumir tomate diariamente), siendo la forma predilecta de consumo en ensalada (90 % del total de encuestados) (5aldia, 2008). En cambio, en Estados Unidos, uno de los mayores productores mundiales de tomate, se consumen tres cuartas partes de sus tomates de forma procesada. En este sentido, el consumo estadounidense de tomate procesado experimentó una subida constante a finales de 1980 con la creciente popularidad de la pizza, la pasta y las salsas como el ketchup (USDA, 2012).

I.1.4 Interés funcional

Actualmente hay un creciente interés por parte del consumidor hacia productos más saludables, que además, presenten un alto valor nutritivo. Como ya se ha comentado anteriormente, el tomate es una importante fuente de antioxidantes, destacando su contenido en vitamina C y licopeno. La vitamina C es un nutriente esencial para los seres humanos y a diferencia de la mayoría de los mamíferos no podemos sintetizarla. Por lo tanto, se debe adquirir gracias a la ingesta de alimentos (Sánchez-Moreno *et al.*, 2003). Los resultados obtenidos por Sánchez-Moreno *et al.* (2003) sugieren que la vitamina C podría jugar un papel crítico en la reducción de la formación de compuestos producidos por la oxidación de los fosfolípidos por radicales de oxígeno. Además, Engelhart *et al.* (2002) relacionaron una elevada ingesta de vitamina C con un menor riesgo de padecer Alzheimer.

Por otra parte, en los últimos años ha aumentado el interés por la capacidad del licopeno como agente preventivo del cáncer (Gann *et al.*, 1999; Giovannucci, 1999; Rao & Agarwal, 2000; Giovannucci *et al.*, 2002). Este carotenoide no posee actividad provitamínica A, pero es capaz de

funcionar como un antioxidante y disminuir la concentración de oxígeno singlete *in vitro* (Shi *et al.*, 1999).

Existen numerosos estudios acerca de cómo el procesado y el almacenamiento afectan al contenido de los compuestos antioxidantes del tomate (Shi & Le Maguer, 2000; Dewanto *et al.*, 2002; Gahler *et al.*, 2003; Candelas-Cadillo *et al.*, 2005; Heredia, 2008; Odriozola-Serrano *et al.*, 2008; Ordoñez *et al.*, 2009). Sin embargo, los resultados obtenidos en estos estudios, no siguen una misma tendencia, ya que hay autores que han observado como disminuía el contenido de los antioxidantes del alimento tras su procesado, mientras que otros autores, han comprobado justo el efecto contrario. Al mismo tiempo, hay que tener en cuenta la influencia del tratamiento aplicado al alimento, sobre la biodisponibilidad de los compuestos antioxidantes.

Hay autores como Gärtner *et al.* (1997) que observaron una mayor biodisponibilidad del licopeno en tomate procesado que en tomate fresco. Este hecho podría deberse a que durante el cortado o cocinado, las paredes celulares se rompen aumentando su bioaccesibilidad (Gärtner *et al.*, 1997). Sin embargo, estas operaciones también implican un aumento de la exposición a la luz y al oxígeno, provocando una mayor degradación (Shi *et al.*, 1999).

Aunque operaciones como la cocción, la congelación o el enlatado no suelen causar cambios significativos en el contenido total de licopeno, su bioaccesibilidad puede verse afectada por la isomerización *trans-cis* que puede tener lugar (Shi *et al.*, 1999). Otro factor a tener en cuenta durante el procesado, es que todos los cambios que se produzcan sobre el contenido y biodisponibilidad del licopeno, determinan el color del producto final.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se hace imprescindible el estudiar la influencia de las variables de proceso sobre las propiedades organolépticas y antioxidantes del tomate cuando se pretende desarrollar un producto innovador derivado del mismo.

I.2. Deshidratación osmótica de alimentos

La deshidratación es un proceso en el cual el agua es extraída para detener o ralentizar el crecimiento de microorganismos, así como el desarrollo de reacciones químicas. Además, se utiliza para reducir el coste o la dificultad del envasado, la manipulación, el almacenamiento y el transporte, ya que reduce el peso, y en ocasiones, el volumen del alimento (Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 1996).

La deshidratación osmótica es una técnica por la que se extrae agua del alimento mediante la inmersión de este en una disolución hipertónica. Se basa en el natural y no-destructivo fenómeno de osmosis a través de las membranas celulares. La investigación de la deshidratación osmótica en alimentos fue liderada por Ponting *et al.* en 1966 (Rastogi *et al.*, 2014). El proceso permite reducir hasta el 80 % del agua original del alimento, protegiendo e incluso mejorando características como el color y el sabor. De esta forma, se solucionan problemas relacionados con las altas temperaturas utilizadas en otras técnicas de secado, como el aire caliente, que provocan cambios indeseables en las características sensoriales del producto final (García, 2005).

La fuerza impulsora responsable del flujo de agua del alimento a la disolución, es la diferencia de potencial químico entre el agua del alimento y el medio que lo rodea, es decir, la actividad de agua de la disolución ha de ser menor que la de la fruta para que se produzca la migración de agua desde el alimento hacia la disolución externa (hipertónica) (Tarrazó,

2005). Este flujo de agua del alimento a la disolución envolvente, va acompañado por el simultáneo contra-flujo de solutos de la disolución al alimento. Además de estos dos flujos principales, existe un tercer flujo de sustancias hidrosolubles (vitaminas, minerales, ácidos orgánicos, etc) desde el alimento a la disolución, que generalmente no se tiene en cuenta, ya que se considera cuantitativamente despreciable, pero puede tener un papel fundamental en la calidad organoléptica y nutricional del alimento (Lerici *et al.*, 1985; Torregiani *et al.*, 1987; Lafont *et al.*, 1988).

La transferencia de agua y solutos que tiene lugar durante el proceso de deshidratación osmótica, depende del contenido de sólidos solubles, así como de la cantidad y distribución de los espacios intercelulares del tejido del alimento (Lenart & Flink, 1984).

La velocidad de deshidratación, estabilidad y calidad del producto deshidratado, dependerá tanto de las características de la materia prima, como de las condiciones del proceso. En este sentido, los parámetros que se consideran más importantes son la materia prima, el agente osmótico y las variables del proceso (Tarrazó, 2005):

- Materia prima: la forma, el tamaño, la composición y la estructura del alimento afectan al proceso de deshidratación osmótica y por tanto, a las propiedades del producto final alcanzado.
- Agente osmótico: el tipo de soluto utilizado, así como la composición y concentración de la disolución osmótica, determinarán las características del producto que se desee obtener.
- Variables del proceso: la temperatura, la agitación y el tiempo de tratamiento, además de la presión, son variables que deben ser controladas, ya que influyen directamente sobre la velocidad de transferencia de materia y la calidad del producto final.

Se pueden producir cambios composicionales en el alimento debidos al transporte de agua y sólidos solubles: cambios estructurales como el encogimiento de la muestra; cambios en la textura, como el ablandamiento por efecto de la temperatura, que en algunos casos no pueden recuperarse después de una rehidratación, pérdida de turgencia celular; cambios de las propiedades físico-químicas. Además, se produce una degradación de las proteínas y aminoácidos con la consecuente disminución del valor biológico (García, 2005).

Los alimentos deshidratados osmóticamente, dependiendo del grado de deshidratación, no son productos estables y requieren de un segundo tratamiento (Penagos, 2006). Además, esta operación previa a otros procesos de deshidratación, reduce los daños ocasionados por las altas temperaturas de estas técnicas y permite obtener productos con características sensoriales y nutricionales demandadas por el consumidor (Fito *et al.*, 1998; Pani *et al.*, 2008).

Entre las principales ventajas que presenta la deshidratación osmótica frente a otras técnicas de deshidratación, se encuentran su bajo consumo energético, su efectividad a bajas temperaturas, la prevención de la alteración del color, sabor y textura, así como la conservación del valor nutricional del producto (Moreno *et al.*, 2000; Mandala *et al.*, 2005).

Sin embargo, los grandes volúmenes de disolución necesarios en el proceso, pueden llegar a ser una desventaja desde el punto de vista medioambiental. En este sentido, parte de la disolución osmótica, podría reutilizarse o utilizarse en otros procesos alimenticios como edulcorante con sabor a frutas para jarabes, yogurt o salsas para helados, entre otros (Penagos, 2006), pero generalmente, el volumen de la disolución producida durante el proceso es muy elevado, y es difícil aprovecharla en su totalidad. Además, se requiere la previa preparación de la disolución

osmótica inicial, con lo que es necesario tiempo, espacio y se consumen grandes volúmenes de agua, y dependiendo del caso, también del agente osmótico.

Una posible alternativa a la deshidratación osmótica tradicional o deshidratación osmótica por vía húmeda (DOH), es la deshidratación osmótica por vía seca (DOS) (Peinado *et al.*, 2009; Rosa *et al.*, 2009). Su aplicación consiste en cubrir el producto directamente con el agente osmótico, sin utilizar disolución, y dejar que éste actúe durante un tiempo determinado provocando un flujo de agua desde el interior del alimento hacia el exterior. El producto obtenido por vía seca, tiene un menor contenido en humedad y actividad de agua que el alimento fresco, como en el caso de los productos deshidratados por vía húmeda, pero su procesado presenta las siguientes ventajas:

- Ya no es necesaria la preparación y estabilización de la disolución osmótica, con el consecuente ahorro de personal, materiales, tiempo y agua.
- La disolución final obtenida tras el tratamiento, se ha originado del agua de la propia fruta y es rica en sus compuestos hidrosolubles (aromas, ácidos orgánicos, vitaminas y minerales) (producto con valor añadido).
- El volumen de la disolución final es muy inferior al que se genera cuando la deshidratación se lleva a cabo por vía húmeda y de este modo, es más fácil su aprovechamiento para otros fines alimentarios, como ya se ha comentado anteriormente.

I.2.1. Deshidratación osmótica por vía seca como aplicación en la elaboración de productos untables de fruta

Como ya se ha ido comentando en el apartado anterior, una posible solución a la problemática del uso de las disoluciones generadas durante la deshidratación osmótica de frutas, sería su utilización en la elaboración de productos alimentarios.

En este sentido, se han llevado a cabo diversos estudios donde se ha propuesto su uso en la elaboración de mermeladas sin tratamientos térmicos (Shi *et al.*, 1996; García-Martínez, 2002; García, 2005; Igual *et al.*, 2010) y productos gelificados de frutas (García, 2005; Penagos, 2006), entre otros.

En este trabajo se plantea la elaboración de productos untables de tomate, mediante deshidratación osmótica por vía seca, técnica descrita en el apartado anterior, de forma que, además de generar un volumen de disolución, considerablemente menor al que se origina mediante la vía húmeda (Peinado *et al.*, 2009; Rosa *et al.*, 2009), se pretende utilizar en su totalidad, esta disolución, para elaborar el producto final. Este proceso se ha llevado a cabo anteriormente, en la elaboración de untables de fresa, consiguiendo buenos resultados tanto en relación a la calidad organoléptica, como en el contenido de antioxidantes del producto obtenido (Peinado, 2011).

De acuerdo al R.D. 670/1990, las mermeladas, que serían los productos más parecidos a los untables de frutas existentes actualmente en el mercado, son productos preparados por cocción de frutas enteras, troceadas, trituradas, tamizadas o no, a las que se han incorporado azúcares hasta conseguir un producto semilíquido o espeso. La cantidad de fruta utilizada para la fabricación de 1.000 gramos de producto acabado no será inferior a 300 gramos. El contenido en materia seca soluble,

determinado por refractometría, será igual o superior al 40 % e inferior al 60 %. Asimismo, para conseguir el producto deseado, la normativa aprueba el uso de unos determinados aditivos alimentarios en su formulación, como gelificantes, acidulantes y conservadores, entre otros. Sin embargo, durante la elaboración tradicional de mermeladas, se producen cambios indeseables en características como el color, el valor nutritivo y el sabor, debidos a los intensos tratamientos térmicos aplicados, alejando el producto de la fruta fresca (García, 2005).

En el caso de los untables de fruta, actualmente no existe normativa que regule su elaboración, por lo que se podría evitar el paso de la cocción de los ingredientes en su elaboración y concentrar la fruta por otro método, como la deshidratación osmótica por vía seca. De esta forma, los productos que se obtendrían, presentarían mejores características organolépticas (sabor, aroma y color) y mayor calidad nutricional y funcional que las mermeladas, siendo más parecidos a la fruta fresca, pero con la ventaja de tener una mayor vida útil.

Por otra parte, el ritmo de vida actual y los malos hábitos alimenticios, han hecho que enfermedades relacionadas con una mala alimentación sean frecuentes. Según el informe anual del sistema nacional de salud (2012), la diabetes, es uno de los principales problemas de salud crónicos en hombres y mujeres adultos mayores de 15 años. Además, la obesidad afecta a alrededor del 17 % de la población de 18 y más años, y considerando también el sobrepeso, la cifra aumenta a un 53,7 %. En relación a la obesidad infantil, esta se mantiene relativamente estable, entorno al 27,8 %, desde 1987. Esta situación ha hecho que se emprendan campañas de concienciación, para cambiar a unos hábitos de vida y alimentación más saludables. En este sentido, la demanda por parte del

consumidor de nuevos productos con características especiales, como edulcorantes alternativos al azúcar, ha aumentado considerablemente.

Como ya se ha hecho mención anteriormente, en la actualidad no existe legislación sobre los productos untables, por lo que se podrían elaborar productos con menor contenido en azúcares que las mermeladas. Además, se podrían utilizar en su elaboración, azúcares con propiedades funcionales como de liberación lenta en el organismo o no cariogénicos. En este sentido, azúcares de nueva generación como la isomaltulosa, podrían representar la alternativa al uso del azúcar común o sacarosa en la elaboración de esta clase de productos.

I.3. Uso de nuevos azúcares en la industria alimentaria

El gran reto de los nutricionistas del siglo XXI está relacionado con la función que cada vez más, debe desempeñar la dieta, como medio de prevención y lucha de las llamadas “enfermedades de la civilización” (Blanco, 2002).

Los hidratos de carbono constituyen una parte fundamental de la alimentación humana, siendo la principal fuente de energía para el organismo. Adicionalmente, presentan otras funciones como facilitar el metabolismo de las grasas, impedir la degradación oxidativa de proteínas e intervenir en la regulación de las funciones gastrointestinales, además de tener una función estructural en parte del ADN y ARN (Vive sano, 2010).

Se pueden clasificar como azúcares simples, oligosacáridos y polisacáridos (Mataix, 2005; Mataix & Sánchez, 2009):

- Azúcares simples: incluyen monosacáridos (glucosa, fructosa y galactosa), disacáridos (maltosa, sacarosa y lactosa) y oligosacáridos sencillos (malotriosa).

- **Oligosacáridos:** contienen de tres a nueve monosacáridos en su molécula, siendo todos ellos solubles en agua, como las maltodextrinas.
- **Polisacáridos:** los más interesantes son los polímeros de la glucosa, como el almidón y el glucógeno.

Los hidratos de carbono de la dieta tras la digestión proporcionan fundamentalmente glucosa, además de pequeñas cantidades de fructosa y galactosa. El organismo puede realizar la síntesis de todos los derivados glucídicos a partir de la glucosa, por tanto, ni la fructosa, ni la galactosa son azúcares esenciales. De hecho, todos los azúcares de la dieta se transforman en el hígado, en intermediarios del metabolismo de la glucosa, que es el único azúcar circulante en condiciones fisiológicas (Mataix & Sánchez, 2005). La exigencia de glucosa como fuente energética exclusiva, o casi exclusiva para varios tipos de células, especialmente las células nerviosas y los hematíes, obliga al suministro diario de alimentos ricos en hidratos de carbono (Mataix & Sánchez, 2005). En este sentido, la sacarosa, azúcar ampliamente utilizado por la industria de alimentos, no proporciona nutrientes imprescindibles para el organismo que no puedan ser aportados por otros alimentos (los hidratos de carbono complejos, por ejemplo, son fuente de glucosa). Además, no contiene ni vitaminas, ni minerales, ni fibra, ni antioxidantes y para que la sacarosa sea transformada en energía necesita la participación de vitaminas y minerales, en especial del calcio. Por tanto, dado que no son aportadas por el azúcar blanco, el organismo se ve forzado a usar sus propias reservas, pudiendo llegar a provocar carencias de vitaminas o descalcificación (Vilaplana, 2008).

No obstante, el problema real del consumo de azúcar, es la cantidad excesiva ingerida a lo largo del día, la cual proporciona un exceso de calorías y puede favorecer patologías importantes, como la obesidad, la caries y la diabetes tipo 2 (Vilaplana, 2008).

En relación a la ingesta de carbohidratos diarios, las recomendaciones en España (Sociedad Española de Nutrición Comunitaria) sitúan su aporte entre un 50 y un 60 % del total de la energía de la dieta. Además, se recomienda que la cantidad de azúcares (lactosa, sacarosa, glucosa, fructosa), no sobrepase el 25 % de la energía total (Mataix, 2005).

Por otra parte, la regulación de los niveles de glucosa en sangre (70-110 mg/dL), es uno de los principales aspectos en la homeostasis de los seres humanos. Dado que los daños producidos por la hipoglucemia en el sistema nervioso central son irreversibles, el organismo dispone de mecanismos para mantener la glucemia por encima de los límites mínimos de normalidad. En cambio, “se toleran” elevaciones de cierta amplitud que pueden ser perjudiciales a largo plazo (Mataix & Sánchez, 2009). Cuando se ingiere un alimento con hidratos de carbono, se da un correspondiente aumento y un posterior descenso del nivel de glucosa en sangre, lo cual se conoce como respuesta glucémica. Los azúcares simples se absorben rápidamente, produciendo una respuesta glucémica rápida (tienen un índice glucémico elevado), mientras que los hidratos de carbono más complejos, suelen tener un índice glucémico más bajo (Vive sano, 2010).

La isomaltulosa (figura I.2) es un disacárido compuesto de glucosa y fructosa obtenido por isomerización a partir de la sacarosa. El enlace glucosídico entre glucosa y fructosa es del tipo α -(1-6) (Weidenhagen & Lorenz, 1957). De forma que al organismo le resulta más difícil conseguir la disociación del azúcar y la glucosa se libera de forma más lenta y continuada, suministrando energía de forma prolongada a la musculatura

y el cerebro (Coy & Franz, 2010). Por este motivo, está considerada como apta para diabéticos.

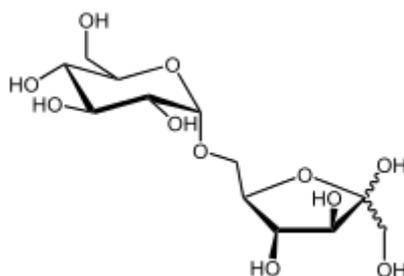


Figura I.2. Estructura de la molécula de isomaltulosa.

Entre algunas de sus características principales, destaca que su ingesta no provoca caries dental, ya que al no fermentar tan fácilmente como otros azúcares, como la sacarosa, no puede ser atacado por las bacterias responsables de este proceso (Matsuyama *et al.*, 1997).

Además, el aporte energético de la isomaltulosa es similar al de la sacarosa, por lo que puede ser un buen sustituto de éste en determinados productos alimentarios. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que presenta una solubilidad limitada a temperatura ambiente, siendo ésta del 30 % (Kaga & Mizutani, 1985; Schiweck *et al.*, 1990). Otra ventaja que presenta la isomaltulosa frente a otros edulcorantes del mercado como los polioles (sorbitol, xilitol, etc.), la sacarina o el aspartamo, es que su ingesta no provoca un efecto laxante (Weidenhagen & Lorenz, 1957). Por todo ello, la isomaltulosa se debe considerar como una potencial alternativa a la sacarosa en la elaboración de productos alimentarios.

Otros azúcares que se han tenido en cuenta a la hora de elaborar los productos untables objeto de este trabajo, son la fructosa y la glucosa. La fructosa es un azúcar que se encuentra en las frutas de forma natural. Este azúcar ha sido consumido durante mucho tiempo por personas con

diabetes, debido a su bajo índice glucémico. Sin embargo, la polémica asociada a los peligros de una elevada ingesta de fructosa procedente del jarabe de maíz de alto contenido en fructosa, ha ido aumentando con el tiempo. En este sentido, hay estudios que concluyen que una elevada ingesta de este jarabe, incrementa el riesgo de sufrir obesidad (Elliot *et al.*, 2002; Bray *et al.*, 2004). A diferencia de la glucosa, la fructosa no estimula la secreción de insulina, ni aumenta la producción de leptina en el organismo, lo que podría llevar a problemas de sobrepeso. No obstante, la ingesta de fructosa podría ser segura si se consume de forma moderada (Periche *et al.*, 2015). Además, la fructosa tiene un gran poder edulcorante, por lo que su utilización como azúcar sustituto parcial en la elaboración de productos de confitería, junto con otros azúcares saludables con menor poder edulcorante, como la isomaltulosa, podría representar un importante avance en este sector.

Por último, la glucosa es el monosacárido más extendido en la naturaleza y se encuentra en la miel y en la fruta. Es el principal alimento de nuestras células y suministra la mayor parte de la energía necesaria para las funciones orgánicas (Moioli, 2004). Posee un menor poder edulcorante que la sacarosa y como ya se ha ido comentando a lo largo de este apartado, es capaz de ser absorbida rápidamente por el organismo. De este modo, se podría abarcar el sector de consumidores que prefieren productos sin un excesivo dulzor o llegar a aquella parte de la población con unas necesidades energéticas determinadas, ampliando de esta forma, la oferta en el mercado.

II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

II.1. Objetivos

II.1.1. Objetivo general

El objetivo principal de este trabajo ha sido estudiar el efecto del método de elaboración (deshidratación osmótica por vía húmeda y seca), de la formulación (porcentaje de sustitución de sacarosa por isomaltulosa y/o fructosa, porcentaje de pectina, porcentaje de ácido cítrico, contenido en sorbato potásico (ppm) y tiempo de tratamiento térmico), sobre diferentes parámetros relacionados con la calidad sensorial y funcional de productos untables de tomate, con el fin de optimizar finalmente el desarrollo de este nuevo producto.

II.1.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos se han estructurado de la siguiente forma:

A. En relación al desarrollo de productos untables de 20 y 50 °Brix (capítulos IV.1 y 2):

- Analizar la influencia de las variables de proceso (método de elaboración, tipo de azúcar y porcentaje de pectina), sobre:
 - Propiedades fisicoquímicas de los productos obtenidos: humedad (x^w), sólidos solubles (x^{ss}), actividad de agua (a_w) y pH.
 - Propiedades ópticas de los productos obtenidos.
 - Propiedades mecánicas y reológicas de los productos obtenidos.

B. En relación a la optimización de la formulación de un producto untable de 50 °Brix (capítulo IV.3):

- Estudiar la influencia de las variables de proceso (porcentaje de isomaltulosa, porcentaje de pectina, porcentaje de ácido cítrico, contenido en sorbato potásico (ppm) y duración del tratamiento térmico), sobre los siguientes parámetros de calidad de los productos obtenidos durante su almacenamiento (recién elaborados, 3 y 6 meses):
 - Propiedades fisicoquímicas: humedad (x^w), sólidos solubles (x^{ss}), actividad de agua (a_w) y pH.
 - Estabilidad microbiológica.
 - Propiedades ópticas.
 - Propiedades mecánicas.
 - Contenido en compuestos de interés funcional: ácido ascórbico, fenoles totales, β -caroteno y licopeno, así como la capacidad antioxidante total.

II.2. Plan de trabajo

El plan de trabajo para la consecución de los objetivos específicos planteados, ha sido el siguiente:

- Revisión bibliográfica periódica sobre la temática de estudio.
- Caracterización de la materia prima, tomate pera (*L. esculentum* Mill var. pyriforme):
 - Propiedades fisicoquímicas: humedad (x^w), sólidos solubles (x^{ss}), actividad de agua (a_w) y pH.
 - Propiedades ópticas (medida de las coordenadas del espacio de color CIEL*a*b*).
 - Contenido en compuestos de interés funcional:

- Análisis del contenido en ácido ascórbico siguiendo el método por valoración del 2,6-diclorofenolindofenol (DCPIP).
 - Análisis del contenido en compuestos fenólicos totales por el método del reactivo de Folin-Ciocalteu, mediante espectrofotometría de emisión UV-visible.
 - Análisis del contenido en β -caroteno y licopeno mediante espectrofotometría de emisión UV-visible.
 - Análisis de la actividad antioxidante por el método del DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil), mediante espectrofotometría de emisión UV-visible.
-
- Obtención y caracterización de productos untables de 20 °Brix formulados con un 2 % de aceite de oliva y un 0,4 % de NaCl mediante diferentes métodos de elaboración, tipos de azúcar y porcentajes de pectina:
 - Propiedades fisicoquímicas: humedad (x^w), sólidos solubles (x^{ss}), actividad de agua (a_w) y pH.
 - Propiedades ópticas (medida de las coordenadas del espacio de color CIEL*a*b*).
 - Propiedades mecánicas (análisis de la textura mediante un ensayo *back-extrusion*).
 - Propiedades reológicas (ensayos estacionarios y oscilatorios).
-
- Obtención y caracterización de productos untables de tomate de 50 °Brix mediante diferentes métodos de elaboración, tipos de azúcar y porcentajes de pectina:

- Propiedades fisicoquímicas: humedad (x^w), sólidos solubles (x^{ss}), actividad de agua (a_w) y pH.
- Propiedades ópticas (medida de las coordenadas del espacio de color CIEL*a*b*).
- Propiedades mecánicas (análisis de la textura mediante un ensayo *back-extrusion*).
- Propiedades reológicas (ensayos estacionarios y oscilatorios).

- Optimización de un producto untable de 50 °Brix
Aplicación de un diseño experimental compuesto central (2^{5-1} +estrella) mediante la metodología de "superficie respuesta". Esta metodología permite evaluar el efecto de las cinco variables del proceso de elaboración (porcentaje de isomaltulosa, porcentaje de pectina, porcentaje de ácido cítrico, contenido en sorbato potásico (ppm) y duración del tratamiento térmico), sobre diferentes parámetros de calidad de los untables:
 - Propiedades fisicoquímicas: humedad (x^w), sólidos solubles (x^{ss}), actividad de agua (a_w) y pH.
 - Análisis microbiológico: recuento de aerobios mesófilos y hongos y levaduras.
 - Propiedades ópticas (medida de las coordenadas del espacio de color CIEL*a*b*).
 - Propiedades mecánicas (análisis de la textura mediante un ensayo *back-extrusion*).
 - Contenido en compuestos de interés funcional:
 - Análisis del contenido en ácido ascórbico siguiendo el método por valoración del 2,6-diclorofenolindofenol (DCPIP).

- Análisis del contenido en compuestos fenólicos totales por el método del reactivo de Folin-Ciocalteu, mediante espectrofotometría de emisión UV-visible.
 - Análisis del contenido en β -caroteno y licopeno mediante espectrofotometría de emisión UV-visible.
 - Análisis de la actividad antioxidante por el método del DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil), mediante espectrofotometría de emisión UV-visible.
-
- Análisis estadístico y optimización de los resultados mediante el programa Statgraphics Centurion XVI.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1. Materia Prima

En este estudio se utilizó como materia prima tomate pera (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. pyriforme). Esta variedad de tomate fue seleccionada por sus características morfológicas, ya que es un fruto grande y carnoso, con la piel muy fina, así como por presentar un elevado contenido en licopeno, más de diez veces el valor de los tomates tipo ensalada (Shi & Le Maguer, 2000). Dichas cualidades lo convierten en una de las variedades más utilizadas para la elaboración de conservas, purés y salsas, tanto a nivel industrial como casero.

La materia prima fue adquirida en un supermercado local, siendo siempre del mismo proveedor. Los tomates fueron seleccionados visualmente teniendo en cuenta su firmeza, tamaño, aspecto y la ausencia de daños físicos o fisiológicos en su superficie. Tras esta selección, los tomates se lavaron con agua clorada para eliminar posibles residuos de pesticidas u otros tratamientos en campo y se cortaron en cubos de aproximadamente 1 cm³. En los productos untables de 20 y 50 °Brix sin tratamiento térmico (apartados III.2.1 y III.2.2), los tomates se sometieron a un escaldado previo para facilitar su pelado (30 seg - 100 °C), mientras que para la optimización del producto untable de 50 °Brix (apartado III.3), los tomates fueron procesados con piel.

III.2. Metodología Experimental

La elaboración de los untables constó de 2 etapas diferenciadas, una de equilibrado de la muestra hasta alcanzar la concentración de azúcares deseada, donde el tomate previamente acondicionado, se puso en contacto con la disolución/agente osmótico, y otra etapa de formulación/gelificación donde se combinaron diferentes proporciones de

tomate deshidratado y disolución osmótica final, y se añadieron el resto de ingredientes, dependiendo del tipo de untable elaborado.

Tanto en la etapa de equilibrado, como en la de formulación del untable, la temperatura de trabajo fue de 25 °C.

Etapa de equilibrado

En la tabla III.1 se muestran las propiedades de los azúcares utilizados en la elaboración de los distintos untables de tomate, tanto por separado: sacarosa, isomaltulosa, glucosa y fructosa, como las mezclas utilizadas: sacarosa + glucosa (50:50 (p/p)) e isomaltulosa + fructosa (50:50 (p/p)).

Tabla III.1. Propiedades de los azúcares utilizados en la elaboración de los untables y actividad de agua (a_w) de sus disoluciones saturadas.

Azúcares	Fórmula	PM	S	PF	IG	a_w
Sacarosa	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	342,3	2004,8	186	68	0,890 (0,002)
Isomaltulosa	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	342,3	408,5	125/128	32	0,964 (0,002)
Glucosa	C ₆ H ₁₂ O ₆	180,16	890,4	146/150	100	0,920 (0,002)
Fructosa	C ₆ H ₁₂ O ₆	180,16	3739,3	100	23	0,614 (0,003)
SG						0,900 (0,002)
IF						0,856 (0,001)

PM: Peso Molecular (g/mol); S: Solubilidad en agua a 20 °C (g/L); PF: Punto de Fusión (°C); IG: Índice Glicémico.

SG: mezcla Sacarosa-Glucosa (50:50 (p/p)).

IF: mezcla Isomaltulosa-Fructosa (50:50 (p/p)).

Para el equilibrado de las muestras, se llevaron a cabo 2 tipos de deshidratación osmótica, la tradicional o por vía húmeda y una deshidratación osmótica alternativa por vía seca.

En la deshidratación osmótica por vía húmeda (DOH), el alimento es sumergido en una disolución hipertónica de concentración conocida, mientras que en la deshidratación osmótica por vía seca (DOS), el agente osmótico sólido, se adiciona directamente sobre el alimento cubriéndolo.

Tanto en un proceso como en el otro, se originan dos flujos principales, uno de salida de agua del alimento al medio envolvente y el otro, de entrada del agente osmótico al alimento, aumentando de esta forma su concentración en azúcares.

Durante esta etapa se les añadió a las muestras sorbato potásico (500 ppm), para evitar el crecimiento microbiano (Karabulut *et al.*, 2001; Valenzuela *et al.*, 2001; Castelló *et al.*, 2006).

El ratio tomate fresco:disolución/agente osmótico adecuado para alcanzar la concentración de azúcares deseada en el equilibrio, se calculó por balances de materia. Al finalizar esta etapa, se comprobó mediante refractometría que tanto en DOH, como en DOS, se había alcanzado el equilibrio y se pasó a la etapa de formulación.

Etapa de formulación

Previamente a esta etapa, se realizaron pruebas para determinar la proporción de tomate deshidratado:disolución osmótica final que llevarían los untables en su formulación, de forma que tuvieran un alto % de fruta pero permitieran a su vez, la adición y solubilidad de las pectinas y del resto de ingredientes. Adicionalmente, se estudió la posibilidad de no quitar parte de la disolución osmótica generada durante el proceso de DOS, de forma que pudieran obtenerse productos con un valor nutricional similar al del tomate fresco.

Finalmente, los distintos ingredientes fueron mezclados con una batidora (Ufesa, 600 W) durante 3 minutos y los untables fueron envasados en tarros de vidrio. 24 horas después de su elaboración, se realizaron las siguientes determinaciones analíticas: contenido en humedad (x^w), sólidos solubles (x^{ss}), actividad de agua (a_w), pH, color, textura y reología.

A continuación se detallan las distintas formulaciones seleccionadas para elaborar los untables de tomate, dependiendo de las variables de proceso y la concentración de azúcares alcanzada. Se ha establecido el mismo orden de apartados que en el capítulo IV. de “Resultados y Discusión”.

III.2.1. Formulación de los untables de tomate de 20 °Brix

Todos los untables de tomate de 20 °Brix fueron formulados con 0,4 % de sal común (NaCl) y un 2 % de aceite de oliva virgen extra. A la hora de elegir estos porcentajes, se tuvieron en cuenta productos comerciales 'listos para consumir', como el gazpacho, y se realizaron pruebas sensoriales llevadas a cabo por el personal del laboratorio.

En base a las distintas variables de proceso: tipo de azúcar utilizado (sacarosa o isomaltulosa), método de elaboración (proceso de deshidratación osmótica y proporción tomate deshidratado:disolución osmótica) y porcentaje de pectina (0,5, 1, 1,5 %), se obtuvieron 18 untables de tomate de 20 °Brix (tabla III.2).

La figura III.1 muestra un esquema del proceso de elaboración de los untables de tomate de 20 °Brix.

Tabla III.2. Untables de tomate de 20 °Brix obtenidos en función de las distintas combinaciones de las variables estudiadas: método de elaboración (proceso de deshidratación osmótica y proporción fruta:disolución), tipo de azúcar y % de pectina.

Tratamiento	Azúcar	Procesado	% Pectina
H-20-S-0,5			0,5
H-20-S-1	S	DO Húmeda	1
H-20-S-1,5		70 % TD : 30 % DO	1,5
S1-20-S-0,5		DO Seca	0,5
S1-20-S-1	S	(sin eliminar fase líquida)	1
S1-20-S-1,5		≈ 50 % TD : 50 % DO	1,5
S2-20-S-0,5		DO Seca	0,5
S2-20-S-1	S	(eliminando fase líquida)	1
S2-20-S-1,5		70 % TD : 30 % DO	1,5
H-20-I-0,5		DO Húmeda	0,5
H-20-I-1	I	70 % TD : 30 % DO	1
H-20-I-1,5			1,5
S1-20-I-0,5		DO Seca	0,5
S1-20-I-1	I	(sin eliminar fase líquida)	1
S1-20-I-1,5		≈ 50 % TD : 50 % DO	1,5
S2-20-I-0,5		DO Seca	0,5
S2-20-I-1	I	(eliminando fase líquida)	1
S2-20-I-1,5		70 % TD : 30 % DO	1,5

Codificación: método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida)-°Brix alcanzados en el equilibrio-tipo de azúcar-% de pectina.

S: sacarosa; I: isomaltulosa.

TD: Tomate deshidratado osmóticamente; DO: Disolución osmótica final.

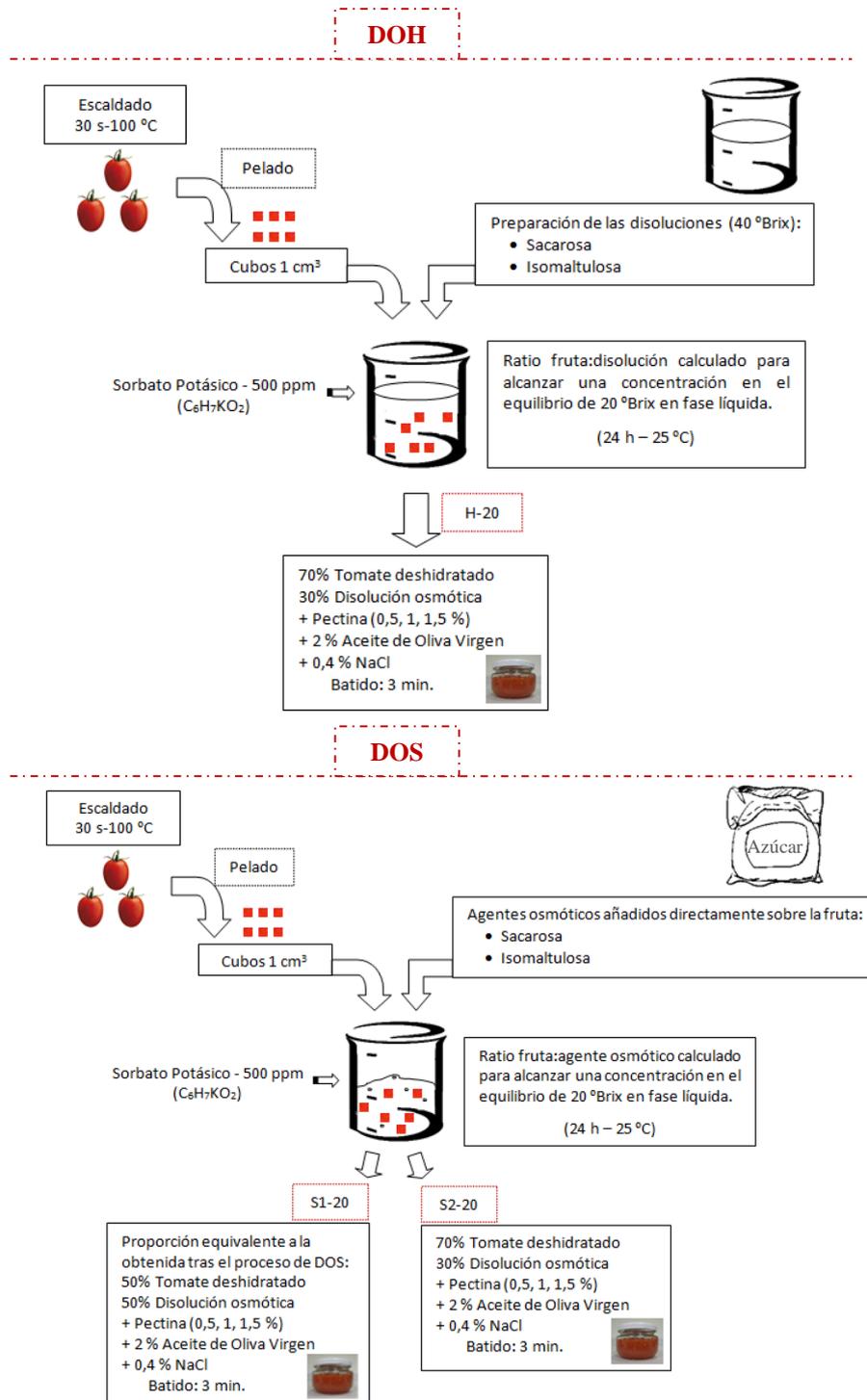


Figura III.1. Esquema del proceso de elaboración de los untables de 20 °Brix.

III.2.2. Formulación de los untables de tomate de 50 °Brix

Dada la baja solubilidad de la isomaltulosa (tabla III.1), este azúcar tuvo que combinarse con otro para conseguir productos con una concentración final de 50 °Brix. El azúcar escogido fue la fructosa, considerado también como un azúcar saludable por su bajo índice glicémico. La mezcla sacarosa-glucosa fue seleccionada para lograr productos con un dulzor similar a los obtenidos con la mezcla isomaltulosa-fructosa.

En base a las distintas variables de proceso: tipo de azúcar utilizado (sacarosa, mezcla sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)) o mezcla isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), método de elaboración (proceso de deshidratación osmótica y proporción tomate deshidratado:disolución osmótica) y porcentaje de pectina (1, 1,5, 2 %), se obtuvieron 27 untables de tomate de 50 °Brix (tabla III.3).

La figura III.2 muestra un esquema del proceso de elaboración de los untables de tomate de 50 °Brix.

Tabla III.3. Untables de tomate de 50 °Brix obtenidos en función de las distintas combinaciones de las variables estudiadas: tipo de azúcar, método de elaboración (proceso de deshidratación osmótica y proporción fruta:disolución) y % de pectina.

Tratamiento	Azúcar	Procesado	% Pectina
H-50-S-1			1
H-50-S-1,5	S	DO Húmeda 60 % TD : 40 % DO	1,5
H-50-S-2			2
S1-50-S-1			1
S1-50-S-1,5	S	DO Seca (sin eliminar fase líquida)	1,5
S1-50-S-2		≈ 25 % TD : 75 % DO	2
S2-50-S-1			1
S2-50-S-1,5	S	DO Seca (eliminando fase líquida)	1,5
S2-50-S-2		60 % TD : 40 % DO	2
H-50-SG-1			1
H-50-SG-1,5	SG	DO Húmeda 60 % TD : 40 % DO	1,5
H-50-SG-2			2
S1-50-SG-1			1
S1-50-SG-1,5	SG	DO Seca (sin eliminar fase líquida)	1,5
S1-50-SG-2		≈ 25 % TD : 75 % DO	2
S2-50-SG-1			1
S2-50-SG-1,5	SG	DO Seca (eliminando fase líquida)	1,5
S2-50-SG-2		60 % TD : 40 % DO	2
H-50- IF -1			1
H-50- IF -1,5	IF	DO Húmeda 60 % TD : 40 % DO	1,5
H-50- IF -2			2
S1-50- IF -1			1
S1-50- IF -1,5	IF	DO Seca (sin eliminar fase líquida)	1,5
S1-50- IF -2		≈ 25 % TD : 75 % DO	2
S2-50- IF -1			1
S2-50- IF -1,5	IF	DO Seca (eliminando fase líquida)	1,5
S2-50- IF -2		60 % TD : 40 % DO	2

Codificación: método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida)-°Brix alcanzados en el equilibrio-tipo de azúcar-% de pectina.

S: sacarosa; SG: mezcla sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: mezcla isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)).

TD: Tomate deshidratado osmóticamente; DO: Disolución osmótica final.

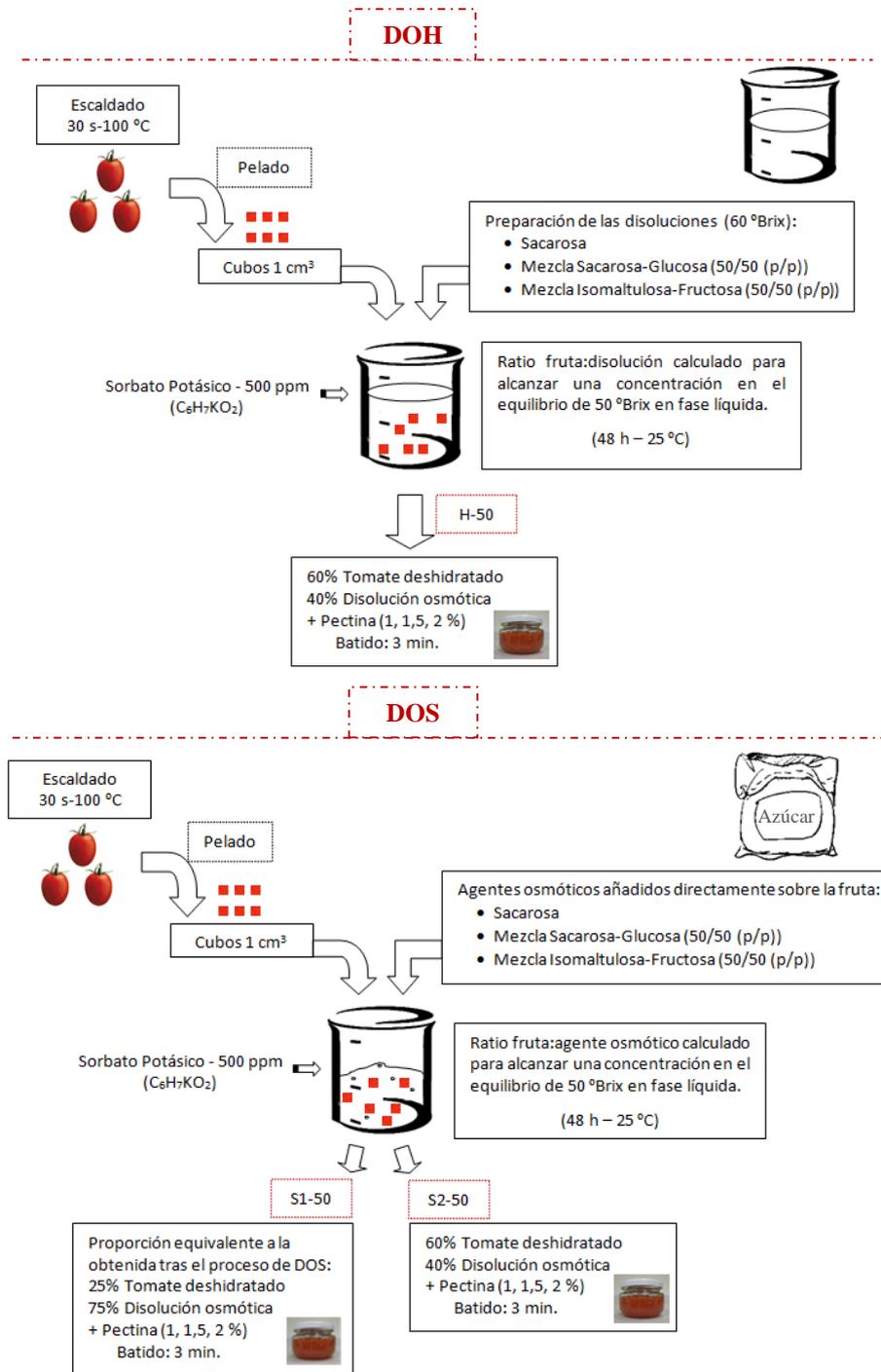


Figura III.2. Esquema del proceso de elaboración de los untables de 50 °Brix.

III.2.3. Optimización de la formulación de un producto untable de tomate de 50 °Brix

Para la optimización del proceso de elaboración de un producto untable de 50 °Brix, se aplicó la metodología de "superficie respuesta", en concreto, un diseño experimental compuesto central (2^{5-1} +estrella). De esta forma, se estudió el efecto de cinco variables independientes X1 (% isomaltulosa), X2 (% pectina), X3 (% ácido cítrico), X4 (sorbato potásico-ppm) y X5 (tiempo de tratamiento térmico), sobre diferentes parámetros de calidad de los untables, como son, las propiedades fisicoquímicas, las propiedades ópticas y mecánicas, la estabilidad microbiológica y las propiedades antioxidantes (actividad antioxidante total (DPPH), contenido en ácido ascórbico (vitamina C), contenido en fenoles totales y contenido en β -caroteno y licopeno).

Las 5 variables fueron estudiadas a tres niveles, alto (1), medio (0) y bajo (-1). Adicionalmente, el diseño incluyó dos valores extremos para cada una de las 5 variables (2) y (-2) (tabla III.4).

Tabla III.4. Valores de cada variable para los distintos niveles ensayados.

	-2	-1	0	1	2
Fructosa (%)	100	87,5	75	62,5	50
X₁ Isomaltulosa (%)	0	12,5	25	37,5	50
X₂ Pectina (%)	0,5	1	1,5	2	2,5
X₃ Ac. Cítrico (%)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
X₄ Sorbato Potásico (ppm)	0	125	250	375	500
X₅ Tratamiento térmico (min)	0	2,5	5	7,5	10

De acuerdo a los distintos niveles de las variables de proceso, se obtuvieron un total de 28 tratamientos (tabla III.5).

Tabla III.5. Diseño experimental de los productos untables obtenidos en función de las distintas combinaciones de las variables del proceso.

	Isomaltulosa (%)	Pectina (%)	A. Cítrico (%)	Sorbato Potásico (ppm)	Tiempo TT (min)
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5
T-3	25	1,5	0,4	250	5
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5
T-5	25	1,5	0,4	0	5
T-6	25	0,5	0,4	250	5
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5
T-11	25	1,5	0,4	250	5
T-12	0	1,5	0,4	250	5
T-13	25	2,5	0,4	250	5
T-14	25	1,5	0,2	250	5
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5
T-16	25	1,5	0,6	250	5
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5
T-18	25	1,5	0,4	500	5
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5
T-20	25	1,5	0,4	250	0
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5
T-22	25	1,5	0,4	250	10
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5
T-25	50	1,5	0,4	250	5
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5

TT: Tratamiento térmico.

La formulación del untable consistió en la mezcla directa del tomate con el resto de ingredientes: azúcar (fructosa/isomaltulosa), pectina (como agente gelificante), ácido cítrico (como acidulante y conservante del color) y sorbato potásico (como agente antimicrobiano). A continuación, el conjunto de ingredientes se homogenizó con una batidora (Ufesa, 600 W) durante 3 minutos y se calentó en una placa calefactora hasta alcanzar una temperatura de 90 °C, que se mantuvo durante 0, 2,5, 5, 7,5 o 10 minutos, en función del diseño experimental, antes de proceder

al envasado en tarros de vidrio. La temperatura del tratamiento térmico fue elegida por ser una de las más utilizadas en el procesado de tomate para conseguir la inactivación enzimática (Fachin *et al.*, 2003; Rodrigo *et al.*, 2006; Odriozola-Serrano *et al.*, 2009). Además de esta forma, se realiza el vacío en el envasado de los tarros y se mejora la homogeneización de los ingredientes, evitando así, la posterior desestructuración del gel que pueda tener lugar durante el almacenamiento.

La figura III.3 resume las etapas de elaboración del producto untable de tomate, así como las condiciones de proceso.



Figura III.3. Etapas del proceso de elaboración del producto untable de tomate.

Tras el envasado en caliente, el producto fue analizado a las 24 horas de su elaboración (producto recién elaborado), a los 3 meses y a los 6 meses de almacenamiento en oscuridad y a 25 °C.

Los análisis realizados fueron:

- Parámetros fisicoquímicos: contenido en humedad (x^w), sólidos solubles (x^{ss}), actividad de agua (a_w), y pH.
- Análisis microbiológicos: recuento de aerobios mesófilos y hongos y levaduras.
- Propiedades ópticas (medida de las coordenadas del espacio de color CIEL*a*b*).
- Propiedades mecánicas (análisis de la textura mediante un ensayo *back-extrusion*).
- Análisis del contenido en ácido ascórbico siguiendo el método por valoración del 2,6-diclorofenolindofenol (DCPIP) (Heredia, 2008).
- Análisis del contenido en compuestos fenólicos totales por el método del reactivo de Folin-Ciocalteu, mediante espectrofotometría de emisión UV-visible (Heredia, 2008).
- Análisis del contenido en β -caroteno y licopeno mediante espectrofotometría de emisión UV-visible (Heredia, 2008).
- Análisis de la actividad antioxidante por el método del DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil), mediante espectrofotometría de emisión UV-visible (Peinado, 2011).

III.3. Análisis fisicoquímicos

Todas las determinaciones analíticas se llevaron a cabo por triplicado en muestras de tomate fresco y untable de tomate, salvo que se especifique un número de réplicas diferente en cualquiera de los apartados.

Las muestras de tomate fresco fueron sometidas al mismo tiempo de batido que el untable para que partieran de las mismas condiciones.

III.3.1. Determinación del contenido en humedad (x^w)

El contenido en humedad de las muestras se determinó siguiendo el método oficial de la A.O.A.C. n°20103 (1980), especial para frutas ricas en azúcar, con algunas modificaciones. La muestra, previamente homogeneizada ($\approx 0,5$ g), fue introducida en una estufa de vacío (Vaciotem-T, J.P.-Selecta) a una temperatura constante de 60 °C hasta alcanzar un peso constante.

El contenido inicial en agua de las muestras se calculó a partir de la diferencia de peso antes y después de ser sometida al secado (g agua/g muestra), determinada con una balanza analítica con una sensibilidad de $\pm 0,0001$ g (XS105, Mettler Toledo).

III.3.2. Determinación del contenido en sólidos solubles totales (x^{ss})

El contenido en sólidos solubles totales de las muestras se determinó con un refractómetro de mesa tipo ABBE (3-T, ATAGO) termostatado a 20 °C. Las medidas de °Brix se realizaron directamente sobre la fase líquida de la muestra homogeneizada, intentando separar en la medida de lo posible, los sólidos en suspensión. En aquellos casos en los que las muestras presentaban una menor proporción de fase líquida, como es el producto untable y la fruta deshidratada, se hizo una dilución de la muestra con agua destilada (1:4), se homogeneizó y se midieron los °Brix de la fracción líquida. Cuando fue necesario realizar la dilución, se calcularon los °Brix reales de la muestra (ecuación III.1) y posteriormente, se realizó el cálculo de la fracción másica de sólidos solubles (g sólidos solubles totales/g muestra) (ecuación III.2):

$$^{\circ}\text{Brix}_{\text{reales}} = \frac{\frac{^{\circ}\text{Brix}_{\text{medidos}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}}}{100}}{\left(m_{\text{H}_2\text{O}} + \frac{^{\circ}\text{Brix}_{\text{medidos}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}}}{100 \cdot ^{\circ}\text{Brix}_{\text{medidos}}}\right)} \quad (\text{III.1})$$

$$x^{\text{ss}}_t = \frac{\frac{^{\circ}\text{Brix}}{100} \cdot x^{\text{w}}_t}{\left(1 - \frac{^{\circ}\text{Brix}}{100}\right)} \quad (\text{III.2})$$

donde,

x^{ss}_t : fracción másica de sólidos solubles totales a tiempo t (g sólidos solubles totales/g muestra)

x^{w}_t : fracción másica del agua a tiempo t (g agua/g muestra)

m: masa de la muestra (g)

$m_{\text{H}_2\text{O}}$: masa de agua añadida (g)

III.3.3. Determinación de la actividad de agua (a_w)

Las determinaciones de actividad de agua (a_w) se realizaron a 25 °C en un higrómetro de punto de rocío (AquaLab S.4TE, Lab-Ferrer) de precisión $\pm 0,003$, previamente calibrado con disoluciones salinas saturadas de actividad de agua conocida.

III.3.4. Determinación del pH

El pH se midió directamente sobre la muestra homogeneizada con un pH-metro digital (Seven Easy, Mettler Toledo). Previamente a las medidas, el equipo fue calibrado con soluciones tampón (7,00 y 4,00) a una temperatura de 25 °C.

III.3.5. Determinación de las propiedades ópticas

El color de las muestras de tomate fresco y de los productos untables, se midió por reflexión en un espectrocolorímetro (CM-3600d, Minolta),

utilizando como sistema de referencia el iluminante D65 y el observador 10°. Las medidas fueron siempre realizadas en cubetas de 20 mm, sobre la muestra previamente homogeneizada.

Antes de cada medición, el equipo fue calibrado sobre fondo negro y fondo blanco, realizándose medidas también de las muestras sobre ambos fondos, con el fin de determinar la traslucidez de las mismas. En el caso del tomate fresco y del untable de tomate, los espectros de reflexión (de 400 a 700 nm) se solaparon al realizar ambas medidas, así que se decidió medir sólo sobre fondo negro.

A partir de los espectros de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color L^* , a^* y b^* . Como muestra la figura III.4, la coordenada L^* está situada en el eje vertical del espacio CIEL*a*b*, recibe el nombre de Claridad o Luminosidad y puede tomar valores entre 0 (negro) y 100 (blanco), mientras que las coordenadas colorimétricas a^* y b^* se encuentran situadas en el plano horizontal, perpendicular a L^* . La coordenada a^* define la desviación hacia el rojo, si $a^* > 0$ y hacia el verde, si $a^* < 0$; análogamente, la coordenada b^* define la desviación hacia el amarillo, si $b^* > 0$ y hacia el azul, si $b^* < 0$.

A su vez, la localización de los valores de a^* y b^* en el plano cromático permite comparar el tono (h^*) y croma (C^*) de las diferentes muestras. El tono se corresponde con el ángulo respecto al eje de a^* positivo, haciendo referencia al color percibido: rojo ($0 < h^* < 90$), amarillo ($90 < h^* < 180$), verde ($180 < h^* < 270$) y azul ($270 < h^* < 360$), o a una combinación de dos de ellos; mientras que la saturación o croma (C^*), que indica el colorido del estímulo evaluado en proporción a su luminosidad, se define como la distancia al centro de coordenadas.

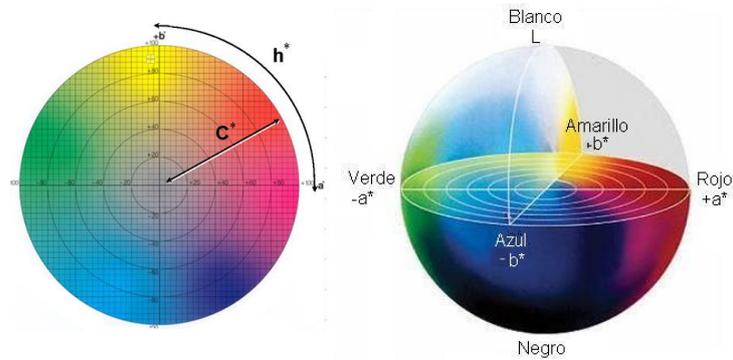


Figura III.4. Espacio colorimétrico CIE L*a*b*.

La diferencia de color (ΔE^*) entre 2 muestras, se calcula a partir de las coordenadas colorimétricas ya definidas anteriormente, L^* , a^* y b^* (ecuación III.3):

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (\text{III.3})$$

III.3.6. Determinación de las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los untables de tomate se analizaron a 25 °C mediante un ensayo *back-extrusion*, realizado con un analizador de textura (TA-XT Plus, Aname), provisto de una célula de carga de 50 kg (figura III.5).



Figura III.5. Analizador de textura (TA-XT Plus, Aname).

El ensayo *back-extrusion* consistió en hacer avanzar un émbolo de base plana de 35 mm de diámetro, a una velocidad de 1 mm/s sobre una cantidad de muestra conocida, situada en un recipiente cilíndrico de plástico (García *et al.*, 2002; Sesmero *et al.*, 2007).

A partir de la realización del análisis, se obtuvieron curvas de la fuerza (N) frente al tiempo (s) (figura III.6), en las que se pueden apreciar dos tramos diferenciados. El primero ($Area_{1-2}$), se produce durante la extrusión del émbolo hasta el final de la muestra y está asociado con la consistencia del producto, y el segundo ($Area_{2-3}$), se origina cuando el émbolo vuelve a su estado inicial y se relaciona con la adhesividad y con el ratio consistencia/viscosidad del mismo.

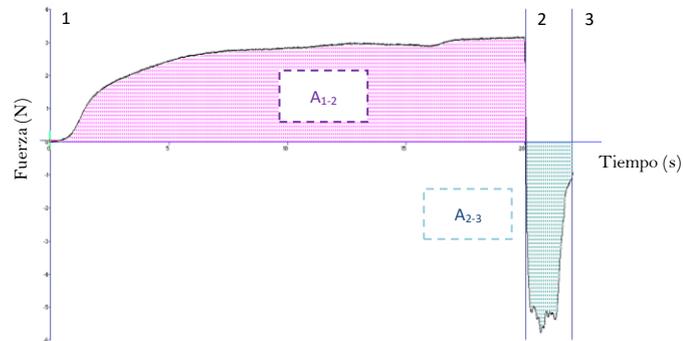


Figura III.6. Curva tipo de Fuerza (N)-Tiempo (s) obtenida en el ensayo *back-extrusion*.

III.3.7. Determinación de las propiedades reológicas

La determinación de las propiedades reológicas de los untables de tomate se realizó mediante un reómetro (RheoStress 1, Haake) (figura III.7).

El sensor utilizado para las medidas fue el de geometría de platos paralelos con un gap de 2 mm. La temperatura de las muestras se mantuvo a 25 °C, por medio de un sistema de agua circulante conectado al equipo.

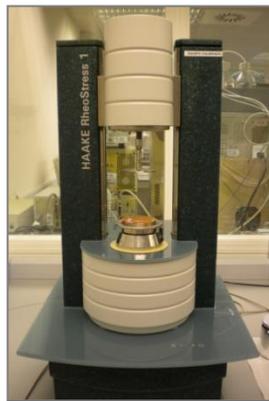


Figura III.7. Reómetro (RheoStress 1, Haake).

Se realizaron 2 tipos de ensayos reológicos (Tonon *et al.*, 2008; Sato & Cunha, 2009). El primero fue un ensayo estacionario utilizando un gradiente de velocidad, $\gamma=0-300\text{ s}^{-1}$, en 3 ciclos de subida y bajada, con el fin de eliminar la posible tixotropía de las muestras (figura III.8).

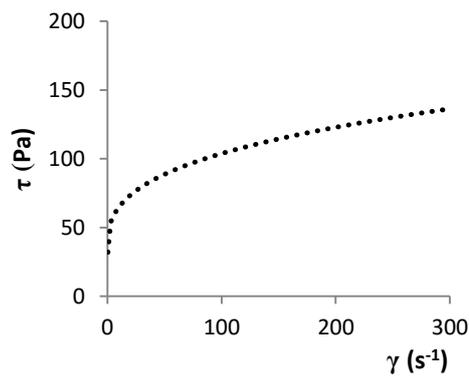


Figura III.8. Curva tipo esfuerzo (Pa)-gradiente de velocidad (s^{-1}) obtenida en el ensayo estacionario.

El segundo ensayo realizado, fue un ensayo oscilatorio. En una prueba preliminar se efectuó un barrido de esfuerzo de 0,1 a 5 Pa (a 3 frecuencias distintas, 0,1, 1 y 10 Hz) para la determinación de la región viscoelástica lineal. Una vez seleccionado el valor de esfuerzo, τ (Pa), en la zona lineal para todas las frecuencias ensayadas, se realizó un barrido de frecuencia en el rango $\omega=0,1-10$ Hz (figura III.9). Este ensayo permite definir el comportamiento del flujo, según sea mayor su componente elástico (G' , módulo de almacenamiento) o viscoso (G'' , módulo de pérdidas), y obtener su viscosidad.

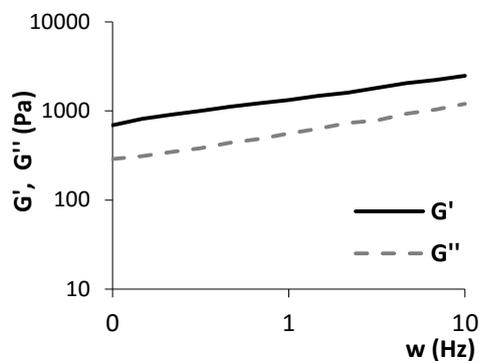


Figura III.9. Curvas tipo G' (módulo de almacenamiento) y G'' (módulo de pérdidas)-frecuencia (Hz) obtenidas en el ensayo oscilatorio.

III.4. Análisis microbiológico

Debido al bajo pH del tomate y la adición de ácido cítrico en la elaboración de los productos untables, el crecimiento de bacterias se ve limitado, siendo los hongos, la principal causa del posible deterioro de esta clase de productos. Por esta razón, además de microorganismos aerobios mesófilos (indicadores, en términos generales, de la contaminación de alimentos conservados a temperatura ambiente), se va a llevar a cabo el recuento de hongos y levaduras.

En primer lugar, se esterilizó todo el material necesario para el ensayo a 121 °C durante 20 minutos.

Los medios de cultivo utilizados fueron Plate Count Agar (PCA) para aerobios mesófilos y Sabouraud Agar (SA) para hongos y levaduras.

Una vez solidificado el agar en las placas Petri, se tomaron 2 g de muestra y se homogeneizaron con 18 mL de agua de peptona durante 1 minuto (dilución 1:10). A continuación, se prepararon 3 diluciones decimales consecutivas en tubos con agua de peptona, para poder obtener placas con un número de unidades formadoras de colonias (ufc), óptimo para su recuento (30-300).

III. Materiales y métodos

La siembra en superficie se hizo añadiendo una alícuota de 0,1 mL de cada dilución sobre los medios de cultivo y esparciéndola de forma homogénea con ayuda de un asa Digiralsky.

Por último, las placas fueron incubadas a 30 ± 1 °C, durante 72 horas para los aerobios mesófilos y 5 días en el caso de los hongos y levaduras (Pascual & Calderon, 2000).

En la figura III.10 se pueden observar los pasos seguidos para la siembra en superficie de las muestras.



Figura III.10. Etapas llevadas a cabo para la siembra en placa.

III.5. Análisis de los componentes de carácter antioxidante

III.5.1. Determinación del contenido en ácido ascórbico

El contenido en ácido ascórbico se determinó siguiendo el protocolo modificado del método de 2,6-diclorofenolindofenol (2,6-DCPIP) (Heredia, 2008).

En primer lugar, se preparó una disolución acuosa con 2 mg de bicarbonato sódico de 2,6 DCPIP al 0,08 %. A continuación, se pesó 1 g de muestra en un tubo y se añadieron 8 mL de agua bidestilada. El tubo con la muestra se agitó durante 30 segundos en un vórtex y se centrifugó a 4000 rpm durante 10 minutos. Tras la centrifugación, se recogieron 5 mL del sobrenadante y se mezclaron con 5 mL de una disolución acuosa de ácido metafosfórico al 25 %. La mezcla se enrasó con agua destilada hasta 25 mL y este volumen se valoró con una dilución 1:20 de la disolución de 2,6-DCPIP hasta viraje a color rosa (figura III.11).



Figura III.11. Valoración del ácido ascórbico de una muestra antes y después del viraje.

El mismo día del análisis de las muestras, se preparó una disolución estándar de ácido ascórbico 102 ppm con la misma proporción de ácido metafosfórico al 25 % que las muestras y se valoró, para poder calcular los miligramos de ácido ascórbico equivalentes a 1 mL de indicador (2,6-DCPIP).

A continuación se pueden observar los pasos seguidos en la extracción y valoración del ácido ascórbico (figura III.12).

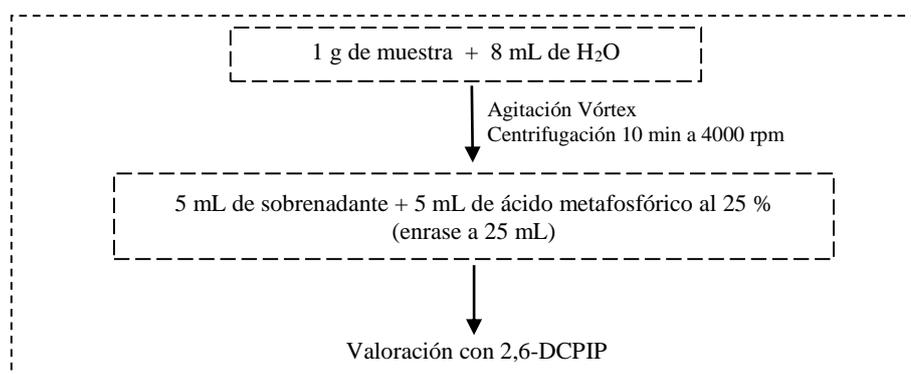


Figura III.12. Esquema del protocolo seguido para la determinación de ácido ascórbico.

III.5.2. Determinación del contenido en fenoles totales

La determinación del contenido en fenoles totales se llevó a cabo mediante espectrofotometría de emisión UV-visible siguiendo el protocolo modificado del reactivo Folin-Ciocalteu (Heredia, 2008).

Para llevar a cabo la extracción de los compuestos fenólicos, se pesaron 0,5 g de muestra y se añadió 1 mL de metanol, llevando el conjunto a un agitador horizontal (200 rpm) durante 1 hora, seguidamente la dilución fue centrifugada a 4000 rpm durante 5 minutos. A continuación, 125 μ L del sobrenadante se mezclaron con 0,5 mL de agua bidestilada y se adicionaron 125 μ L del reactivo de Folin-Ciocalteu. Esta mezcla se dejó en reposo durante 6 minutos, tras los cuales, se adicionaron 1,25 mL de una disolución de carbonato sódico al 7 % y 1 mL de agua bidestilada para obtener un volumen final de 3 mL que se dejó en reposo durante 90 minutos a temperatura ambiente. Finalmente, se midió la absorbancia de

las muestras a 750 nm frente a un blanco, en un espectrofotómetro (V-630, Jasco).

Los pasos seguidos para llevar a cabo la determinación de fenoles totales se pueden consultar en el siguiente esquema (figura III.13).

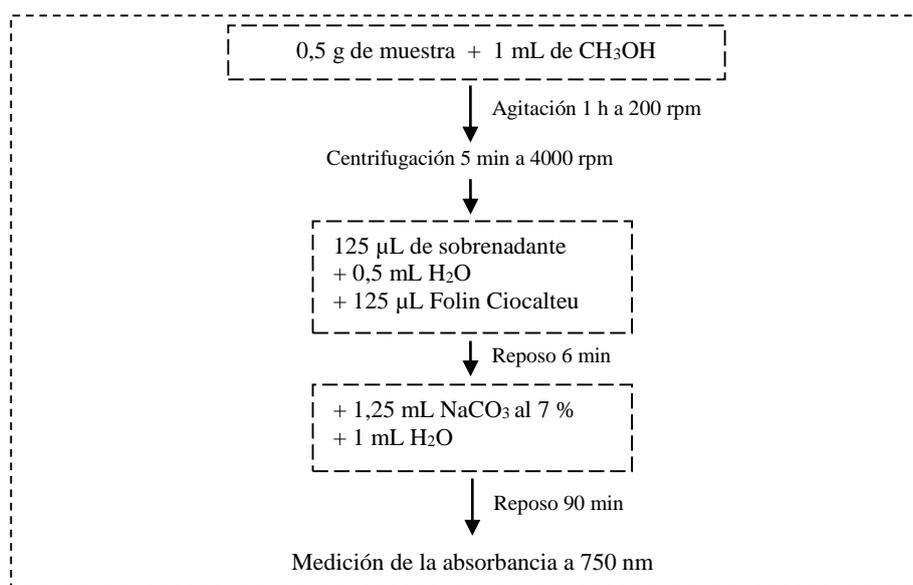


Figura III.13. Esquema del protocolo seguido para la determinación del contenido en fenoles totales.

Para la cuantificación del contenido en fenoles totales, se obtuvo una curva de calibrado de ácido gálico de 0 a 300 mg/L (figura III.14). Los resultados obtenidos, se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (GAE) en 100 g muestra.

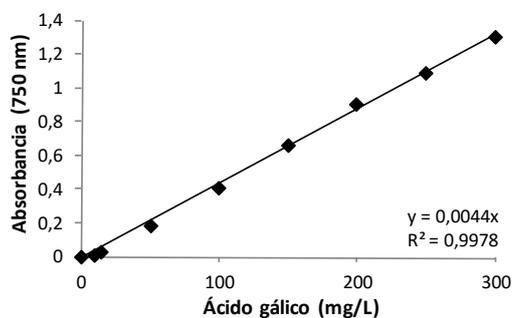


Figura III.14. Curva patrón del ácido gálico para el análisis de los compuestos fenólicos totales.

III.5.3. Determinación del contenido en β -caroteno y licopeno

La extracción y determinación del β -caroteno y licopeno se llevó a cabo mediante espectrofotometría UV-visible, siguiendo el protocolo modificado de Heredia (2008).

Inicialmente no se consiguió la extracción total de los compuestos, ya que el residuo, al final del ensayo, quedaba con color. Así que se hizo un tratamiento alcalino con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, previo a la extracción y de esta forma el residuo final de la muestra quedó completamente incoloro (figura III.15).



Figura III.15. Residuo incoloro tras la extracción de los compuestos carotenoides.

Para llevar a cabo la extracción de los compuestos carotenoides, se pesaron 20 g de muestra en un vaso de precipitados y se fueron añadiendo alícuotas de una disolución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 0,1 % hasta alcanzar un pH igual a 11. A continuación, la mezcla se mantuvo en agitación durante 10 minutos y se filtró a vacío.

Tras el tratamiento con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se pesaron 0,2 g de muestra y se añadieron 12 mL de hexano:acetona:etanol (2:1:1 (v/v/v)). Inmediatamente después de la adición de los disolventes, cada tubo se agitó en un vórtex durante 30 segundos y se mantuvo en agitación horizontal durante 1 hora a 200 rpm. Durante este tiempo, los tubos se agitaron en el vórtex cada 10 minutos durante 1 minuto para favorecer al máximo la extracción de los compuestos.

A continuación, se añadió 1 mL de H_2O bidestilada, se volvió a agitar en el vórtex durante 30 segundos y se dejó reposar para conseguir una óptima separación entre las fases hidrosoluble y liposoluble. Por último, 0,5 mL de la fase liposoluble se introdujeron en una cubeta con 1 mL de hexano (dilución 1:2) y tras su agitación, se midió la absorbancia frente a un blanco, en un espectrofotómetro (V-630, Jasco) a 503 nm para el licopeno y 478 nm para el β -caroteno.

El protocolo seguido para la extracción y la determinación del β -caroteno y el licopeno se resume en la figura III.16.

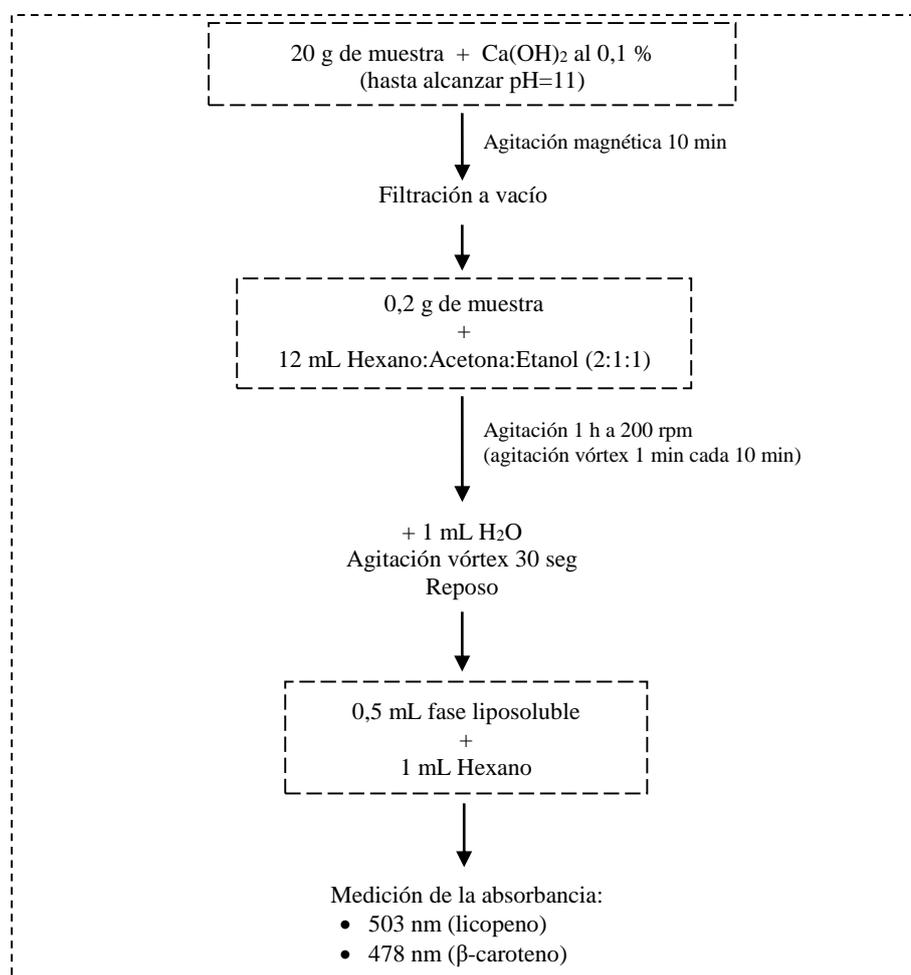


Figura III.16. Esquema del protocolo seguido para la determinación del contenido en β -caroteno y licopeno.

Para la cuantificación del contenido en β -caroteno y licopeno, se obtuvieron las curvas de calibrado que se muestran a continuación (figuras III.17 y III.18).

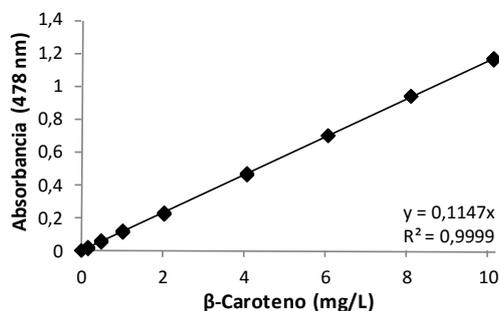


Figura III.17. Curva patrón del β-caroteno.

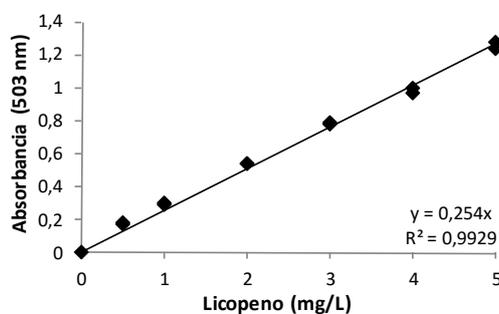


Figura III.18. Curva patrón del Licopeno.

III.5.4. Determinación de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante de las muestras se determinó mediante el método del 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), basado en la capacidad de los antioxidantes para captar radicales libres (Peinado, 2011).

El compuesto 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) es un radical estable que presenta una intensa coloración violeta, absorbiendo radiación a 515 nm, de forma que su concentración se puede determinar mediante métodos espectrofotométricos (Matsukawa, 1997).

Para llevar a cabo este análisis, se adicionaron 6 ml de metanol al 80 % a 3 g de muestra (relación 1:2 (p/v)) y se centrifugaron a 4000 rpm durante 5 minutos.

A continuación, se introdujeron 3,9 mL de una disolución de DPPH (0,024 g/L) en una cubeta y se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro (V-630, Jasco). Una vez tomado el valor de absorbancia inicial, se añadieron 0,1 mL de la muestra centrifugada, determinándose de nuevo la absorbancia pasados 60 minutos (figura III.19).



Figura III.19. Diferencias en la coloración del DPPH como consecuencia de la adición de la muestra.

Los resultados se expresaron como % de inhibición del DPPH, según muestra la siguiente ecuación (ecuación III.4):

$$\%Reducción\ DPPH = \left[\frac{A_{control} - A_{muestra}}{A_{control}} \right] \cdot 100 \quad (III.4)$$

donde,

- $A_{control}$: absorbancia del DPPH a 515 nm antes de la adición de la muestra.
- $A_{muestra}$: absorbancia del DPPH con la muestra a 515 nm transcurridos 60 minutos.

La figura III.20 muestra los pasos seguidos para la determinación de la actividad antioxidante.

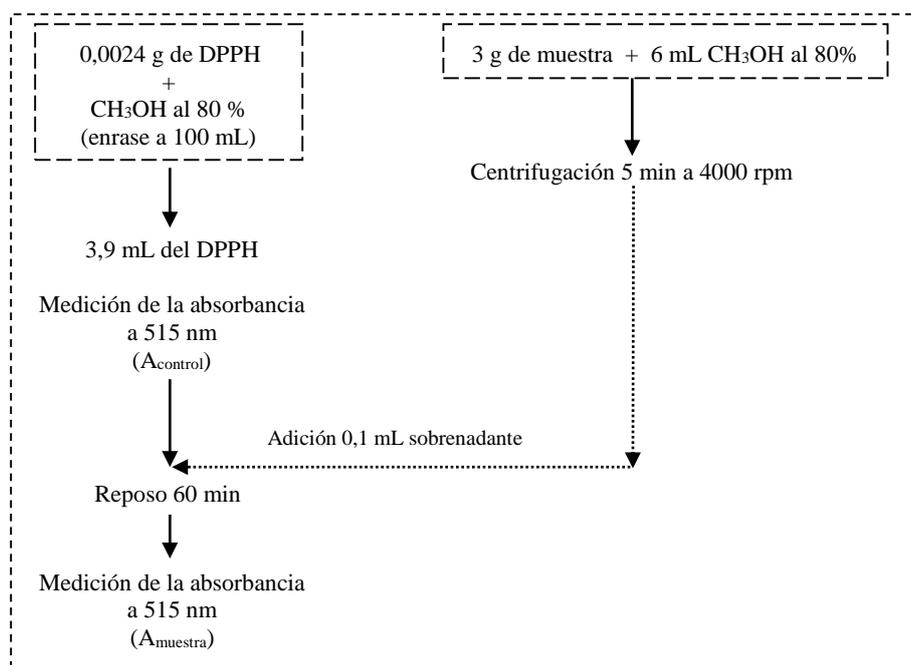


Figura III.20. Esquema del protocolo seguido para la determinación de la actividad antioxidante.

III.6. Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante el programa Statgraphics Centurion XVI (2010). La influencia de las variables de proceso sobre las propiedades de las muestras analizadas se valoró mediante un análisis simple o multifactorial de la varianza (ANOVA) con un nivel de significación del 95 % ($p_{\text{valor}} < 0,05$). Asimismo, se utilizó la herramienta de diseño de experimentos para crear y analizar el diseño de superficie respuesta para la optimización de la formulación de untables.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV. 1. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN EL COLOR, TEXTURA Y REOLOGÍA DE PRODUCTOS UNTABLES DE TOMATE DE 20 °BRIX

Debido a los nuevos hábitos de consumo que ha experimentado la sociedad, existe una creciente demanda por parte de los consumidores y los profesionales de la restauración, de alimentos de alta calidad organoléptica, saludables, seguros y que presenten facilidad de consumo o preparación (infoagro.com). Estos nuevos productos ofrecen a los consumidores una serie de ventajas como la reducción del tiempo de preparación/cocinado o incluso del tiempo invertido en la compra de los distintos ingredientes.

En este capítulo de la tesis, se plantea la elaboración de un producto untable de tomate, formulado con isomaltulosa, aceite de oliva y sal, listo para consumir. Este producto presentaría una serie de ventajas frente a otros ya existentes en el mercado, como es el tomate rallado 100 %, ya que al contener una mayor proporción de sólidos solubles, tendría una mayor vida útil y por otra parte, al aumentar la consistencia del producto, por la adición de pectinas y del resto de ingredientes, se disminuiría el riesgo de sinéresis, es decir, que la pulpa y el zumo se separen en dos fases durante el almacenamiento (Porretta *et al.*, 1995).

En este contexto, el objetivo específico planteado en este capítulo fue evaluar la influencia de las distintas variables de proceso (tipo de azúcar, método de elaboración y % de pectina) sobre las propiedades fisicoquímicas, ópticas, mecánicas y reológicas de untables de tomate de 20 °Brix.

La figura IV.1, resume el plan experimental llevado a cabo para elaborar los untables de tomate de 20 °Brix.

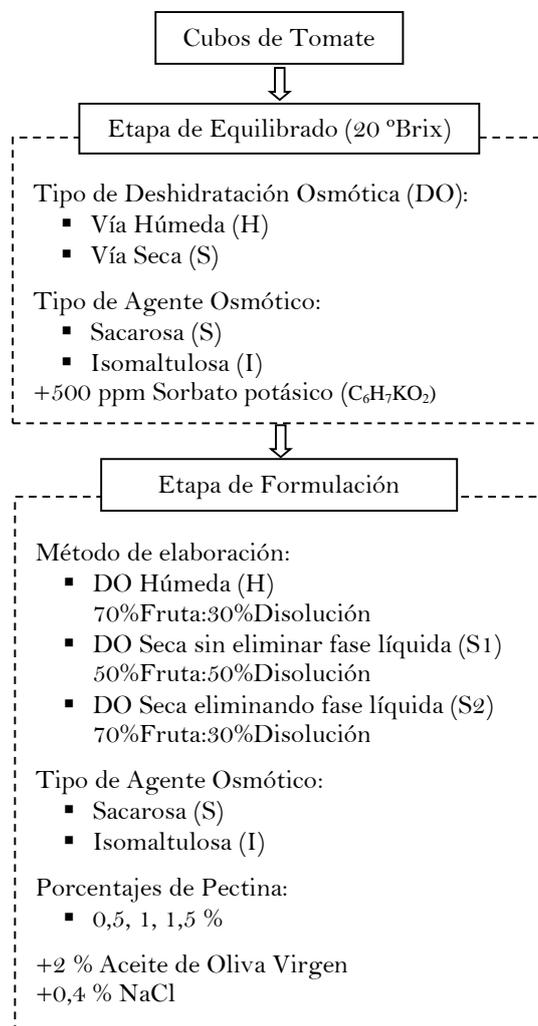


Figura IV.1. Esquema del plan experimental llevado a cabo para la realización del estudio de la influencia de las variables de proceso en el color, textura y reología de productos untables de tomate de 20 °Brix.

La composición de los productos obtenidos en términos de contenido en agua, sólidos solubles, actividad de agua y pH se muestra en la tabla IV.1.

Tabla IV.1. Composición fisicoquímica de los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración y porcentaje de pectina (n = 3).

	Elaboración	% P	x ^w	x ^{ss}	a _w	pH
Fresco			0,946 (0,007)	0,044 (0,003)	0,990 (0,004)	4,40 (0,04)
Sacarosa						
1		0,5	0,757 (0,004)	0,2224 (0,0014)	0,9667 (0,0015)	3,700 (0,002)
2	H	1	0,751 (0,006)	0,219 (0,007)	0,9667 (0,0015)	3,700 (0,002)
3		1,5	0,744 (0,005)	0,217 (0,004)	0,9597 (0,0006)	3,373 (0,006)
4		0,5	0,749 (0,002)	0,2229 (0,0004)	0,9637 (0,0012)	3,85 (0,02)
5	S1	1	0,750 (0,006)	0,211 (0,006)	0,9640 (0,0012)	3,770 (0,002)
6		1,5	0,745 (0,008)	0,222 (0,004)	0,9613 (0,0006)	3,507 (0,002)
7		0,5	0,754 (0,006)	0,205 (0,002)	0,962 (0,003)	3,923 (0,006)
8	S2	1	0,757 (0,003)	0,2112 (0,0019)	0,9717 (0,0006)	3,77 (0,02)
9		1,5	0,755 (0,004)	0,195 (0,003)	0,9633 (0,0012)	3,657 (0,006)
Isomaltulosa						
10		0,5	0,769 (0,003)	0,207 (0,002)	0,9753 (0,0006)	3,850 (0,002)
11	H	1	0,752 (0,003)	0,206 (0,004)	0,978 (0,002)	3,890 (0,002)
12		1,5	0,751 (0,003)	0,2244 (0,0016)	0,9740 (0,0002)	3,490 (0,002)
13		0,5	0,769 (0,004)	0,195 (0,003)	0,9763 (0,0015)	4,203 (0,006)
14	S1	1	0,764 (0,002)	0,2047 (0,0007)	0,9707 (0,0006)	3,680 (0,002)
15		1,5	0,760 (0,009)	0,213 (0,005)	0,9750 (0,0017)	3,450 (0,002)
16		0,5	0,758 (0,002)	0,2043 (0,0009)	0,9753 (0,0015)	3,853 (0,006)
17	S2	1	0,7630 (0,0012)	0,217 (0,003)	0,974 (0,002)	3,743 (0,006)
18		1,5	0,763 (0,004)	0,210 (0,004)	0,977 (0,002)	3,613 (0,006)

% P: % de pectina.

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

La actividad de agua (a_w) es uno de los parámetros fisicoquímicos más importantes a tener en cuenta a la hora de evaluar la estabilidad de un alimento. En este caso, la disminución de a_w que presentan los untables respecto al tomate fresco, se produciría principalmente, durante la etapa de deshidratación osmótica, al disminuir su contenido en agua y aumentar la concentración de sólidos solubles. Como se puede observar, los untables elaborados con isomaltulosa, como agente osmótico, presentan valores ligeramente más elevados de a_w ($0,975 \pm 0,002$) que los untables elaborados con sacarosa ($0,964 \pm 0,004$). Este hecho se debe

principalmente, a la diferente conformación de estas 2 moléculas, ya que a pesar de tener el mismo peso molecular, los 2 azúcares presentan distintas solubilidades (tabla III.1 de “Materiales y Métodos”).

Adicionalmente, se observa un descenso del pH en los productos formulados, tanto más acusado cuanto mayor es el % de pectina utilizado. Este hecho podría estar relacionado con la ionización de los grupos ácidos de la pectina (polímero de ácido galacturónico metilado de alto peso molecular), que tiene lugar al dispersarse ésta en medio acuoso según la siguiente reacción (ecuación IV.1):



De esta forma, el agua se une tanto a los grupos cargados, como a los grupos polares de las moléculas (Vaclavik, 2002). Esto explica que un mayor % de pectina en la formulación aumente la carga iónica del medio, lo que justificaría la disminución de pH observada en los untables.

IV.1.1. Influencia de las variables de proceso en las propiedades ópticas de los untables de tomate de 20 °Brix

Para evaluar la influencia significativa de las variables de proceso en el color de los untables, los valores de las coordenadas colorimétricas de los productos obtenidos (tabla 1.1 del anexo VI.1) se sometieron a un análisis de la varianza factorial cuyos resultados se muestran en la Tabla IV.2.

Los resultados del ANOVA no reflejan una influencia clara de las variables de proceso en el color de los untables, siendo la luminosidad (L^*) la única variable claramente afectada por el tipo de azúcar, lo cual se ve reflejado, a su vez, en las diferencias totales de color, donde además, se

aprecia una dependencia significativa de este parámetro con respecto al método de elaboración y % de pectina.

Tabla IV.2. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros de color de los untables de tomate de 20 °Brix en función de los dos tipos de azúcares (S: sacarosa; I: isomaltulosa), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (0,5, 1 y 1,5 %).

		Azúcar		Elaboración		% Pectina
L*	S	44,77 (0,12) ^a	H	45,77 (0,15) ^b	0,5	46,12 (0,15) ^b
			S1	46,30 (0,15) ^c	1	43,15 (0,15) ^a
	I	45,64 (0,12) ^b	S2	43,55 (0,15) ^a	1,5	46,35 (0,15) ^b
a*	S	24,98 (0,12) ^a	H	25,31 (0,15) ^b	0,5	25,48 (0,15) ^b
			S1	24,73 (0,15) ^a	1	25,22 (0,15) ^b
	I	25,31 (0,12) ^a	S2	25,39 (0,15) ^b	1,5	24,73 (0,15) ^a
b*	S	21,8 (0,3) ^a	H	22,8 (0,3) ^b	0,5	22,9 (0,3) ^b
			S1	22,9 (0,3) ^b	1	20,2 (0,3) ^a
	I	22,1 (0,3) ^a	S2	20,2 (0,3) ^a	1,5	22,7 (0,3) ^b
ΔE¹	S	12,27 (0,18) ^a	H	14,0 (0,2) ^c	0,5	12,9 (0,2) ^b
			S1	13,3 (0,2) ^b	1	11,8 (0,2) ^a
	I	13,61 (0,18) ^b	S2	11,5 (0,2) ^a	1,5	14,1 (0,2) ^c

¹: Diferencias de color de los untables respecto al tomate fresco.

Valores entre paréntesis: error estándar.

La poca diferencia observada en las medidas instrumentales es coherente con la percepción cualitativa del color de estos productos, en los que el principal cambio observado fue en relación al producto fresco. Si bien el color del tomate fresco se caracteriza por un tono claramente rojo, todos los untables obtenidos se caracterizaron por un color más anaranjado en coherencia con valores más altos de la coordenada b*. Este hecho se observa claramente cuando se representan las coordenadas colorimétricas de los productos untables de tomate y del tomate fresco en los mapas cromáticos b*-a* y L*-a* (figura IV.2, untables con 1,5 %).

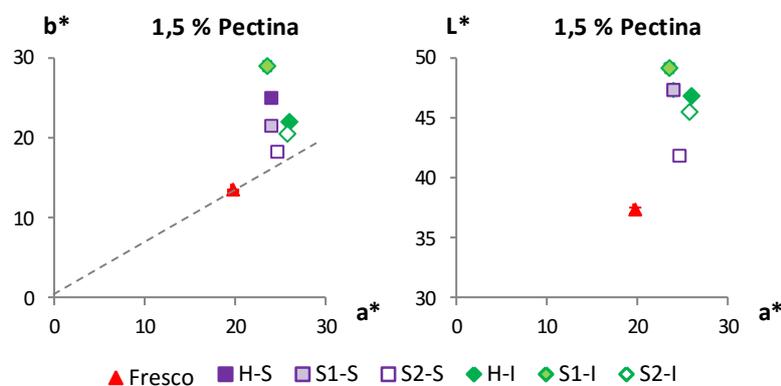


Figura IV.2. Situación de las muestras de tomate fresco y de los untables de 20 °Brix elaborados con 1,5 % de pectina en los planos cromáticos b^* - a^* y L^* - a^* , según los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los azúcares utilizados (S: sacarosa; I: isomaltulosa).

Si bien el aumento de la coordenada a^* puede estar más relacionado con el proceso de concentración del producto durante la etapa de equilibrado, el aumento sustancial de la coordenada b^* podría estar más relacionado con la presencia de aceite en la formulación, ya que el proceso de homogenización aplicado en la elaboración de este producto, dispersa el aceite formando una emulsión. En este sentido, las conclusiones obtenidas por otros autores como McClements (2002a y 2002b) sobre el color en emulsiones, pueden servir de referencia para la interpretación de los cambios de color en untables formulados con aceite.

Así pues, según McClements (2002b) cuando un haz de luz incide sobre la superficie de una emulsión, una parte de luz se transmite a través de ella y otra se refleja. La proporción de luz dispersada y absorbida por la emulsión, dependerá del tamaño, la concentración, el índice de refracción y la distribución espacial de las gotas, así como de la presencia de materiales cromóforos en las mismas. A su vez, la luz dispersada es principalmente, responsable de la "turbidez", "opacidad" o "luminosidad"

de la emulsión, mientras que la luz absorbida se asocia, en mayor medida, a su 'cromaticidad' (azul, verde, rojo, etc.) (McClements, 2002a y 2002b).

McClements (2002b) concluyó en sus investigaciones, que la luminosidad de una emulsión aumentaba conforme lo hacía la concentración de gotas en la misma, ya que de esta forma se producía un efecto de dispersión múltiple y una mayor parte de luz emergía como luz reflejada. También comprobó que la dependencia del color de las emulsiones en función de la concentración de gotas estaba fuertemente afectada por el tamaño de éstas, encontrando el máximo valor de L^* para un radio de $0,01 \mu\text{m}$ (radios mayores o menores disminuían la luminosidad).

En el caso de los untables de tomate, dado que la concentración de aceite es la misma en todos los casos, así como el tiempo de homogenización, las diferencias observadas podrían estar relacionadas con las diferencias en el tipo de azúcar y el ratio fruta:disolución, lo que a su vez puede influir en el tamaño de gota y su distribución en el sistema. Estas observaciones requieren para su confirmación, la realización de estudios más orientados a esclarecer la influencia de la microestructura y composición de estos sistemas en el color.

IV.1.2. Influencia de las variables de proceso en las propiedades mecánicas de los untables de tomate de 20 °Brix

El análisis de las propiedades mecánicas permite comparar la textura de nuevos productos (reducción del contenido en grasa o azúcares, sustitución de ingredientes convencionales por otros más saludables, etc.) con la de productos ya existentes en el mercado y tradicionalmente aceptados por el consumidor o la comparación, de forma objetiva, entre diferentes muestras.

Los valores de consistencia y adhesividad de los distintos untables de tomate de 20 °Brix se encuentran recogidos en la tabla 1.2 del anexo VI.1. El análisis estadístico (tabla IV.3) no reveló diferencias significativas entre los valores de consistencia de los untables, según el tipo de azúcar con el que fueron formulados. Sin embargo, sí que evidenció diferencias en cuanto a la adhesividad, para la que se obtuvieron valores ligeramente más altos en los productos elaborados con isomaltulosa.

Tabla IV.3. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros de textura de los untables de tomate de 20 °Brix en función de los dos tipos de azúcares (S: sacarosa; I: isomaltulosa), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (0,5, 1 y 1,5 %).

		Azúcar		Elaboración		% Pectina
Consistencia	S	24,2 (0,6) ^a	H	26,6 (0,8) ^b	0,5	10,7 (0,8) ^a
			S1	19,5 (0,8) ^a	1	22,8 (0,8) ^b
	I	25,5 (0,6) ^a	S2	28,5 (0,8) ^b	1,5	41,1 (0,8) ^c
Adhesividad	S	1,96 (0,05) ^a	H	2,24 (0,06) ^b	0,5	0,67 (0,06) ^a
			S1	1,71 (0,06) ^a	1	1,94 (0,06) ^b
	I	2,12 (0,05) ^b	S2	2,17 (0,06) ^b	1,5	3,52 (0,06) ^c

Valores entre paréntesis: error estándar.

En cuanto al método de elaboración, los untables elaborados mediante el proceso por vía húmeda (H) y por vía seca eliminando fase líquida (S2) presentaron valores análogos tanto de consistencia, como de adhesividad. Esto podría estar relacionado principalmente, con la proporción de tomate deshidratado:disolución osmótica utilizado en su formulación que es idéntica en estos dos procesos (70:30), mientras que los untables elaborados con el proceso por vía seca sin eliminar fase líquida, S1, al contener una menor proporción de fruta (50:50), presentan valores más

bajos para todos los parámetros de textura, independientemente del azúcar o del porcentaje de pectina utilizados.

Por otra parte y como cabía esperar, conforme aumenta el porcentaje de pectina en la formulación, aumentan también los valores de consistencia y adhesividad, siendo las diferencias encontradas entre los distintos niveles, estadísticamente significativas.

Para identificar qué variables influyeron en mayor medida sobre los parámetros de textura de los untables, resulta útil comparar los valores del cociente-F (tabla IV.4) obtenidos del análisis estadístico de la varianza (ANOVA).

Tabla IV.4. Valores del cociente-F obtenidos a partir del análisis de la varianza factorial (ANOVA) para los parámetros de textura de los untables de tomate de 20 °Brix en función de las variables de proceso.

Variables	Cociente-F	
	Consistencia	Adhesividad
A: Azúcar	1,98 ^{NS}	5,76*
B: Elaboración	36,24***	23,53***
C: % Pectina	378,39***	574,15***
AxB	6,72**	1,53 ^{NS}
AxC	0,02 ^{NS}	0,42 ^{NS}
BxC	4,39**	9,35***

NS: diferencias no significativas estadísticamente (p-valor \geq 0,05).

*p-valor < 0,05; ** p-valor < 0,01; ***p-valor < 0,001.

El cociente-F se asocia al peso de los factores (tipo de azúcar, método de elaboración y % de pectina) sobre las variables respuesta; de forma que cuanto mayor es el valor del cociente-F, mayor es su influencia sobre las variables respuesta, en este caso consistencia y adhesividad. Atendiendo a este criterio y tal y como cabía esperar, puede afirmarse que el % de pectina es el factor más influyente en la textura de los untables, seguido del método de elaboración, y que el tipo de azúcar únicamente imprime diferencias en cuanto a la adhesividad del producto.

Una vez analizada la influencia de los distintos factores sobre los parámetros de textura se procedió a la modelización de los datos experimentales, lo que permite obtener ecuaciones de predicción de la consistencia y adhesividad de los nuevos productos.

Dado que la consistencia presenta una dependencia exponencial con el % de pectina (figura IV.3), y no se ve afectada por el tipo de azúcar utilizado, los resultados experimentales se ajustaron a una ecuación exponencial con dos parámetros (ecuación IV.2):

$$C=C_0 e^{\alpha P} \quad (IV.2)$$

donde C es la consistencia, C_0 y α son los parámetros del modelo característicos del sistema y fundamentalmente dependientes del ratio tomate:disolución, y P es el % de pectina.

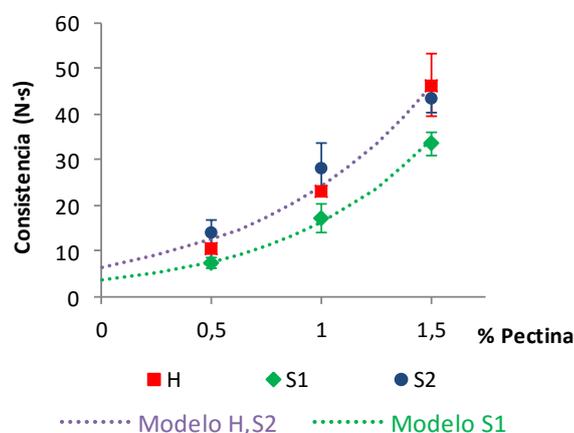


Figura IV.3. Valores experimentales de la consistencia (N·s) de los untables de tomate de 20 °Brix, según el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y el porcentaje de pectina (0,5, 1, 1,5 %), junto a sus modelos predictivos.

La tabla IV.5 recoge los valores de los parámetros del modelo propuesto en función del ratio tomate:disolución, utilizados asimismo en la predicción de la consistencia representada en la figura IV.3.

Tabla IV.5. Valores de los parámetros del modelo predictivo de la consistencia de los untables de tomate de 20 °Brix (C_0 y α), en función de los diferentes ratios tomate deshidratado:disolución osmótica de su formulación (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).

$C=C_0 e^{\alpha P}$	
H y S2 (Ratio 70:30)	$C_0= 6,5615$ $\alpha= 1,3011$ $R^2= 0,994$
S1 (Ratio 50:50)	$C_0= 3,7160$ $\alpha= 1,4850$ $R^2= 0,996$

P: % de pectina.

El parámetro de C_0 , que representa el valor de consistencia del material exento de pectina, presenta valores mayores en los untables formulados

con mayor cantidad de tomate que de disolución. Sin embargo el parámetro α , cuyo valor refleja la contribución de la pectina al aumento de la consistencia, presenta menores valores cuanto menor es la proporción de fase líquida.

Análogamente, la adhesividad de los untables presenta una relación exponencial con el porcentaje de pectina que depende tanto del ratio tomate:disolución como del tipo de azúcar (figura IV.4) de modo que los resultados experimentales de adhesividad se ajustaron también a una ecuación exponencial con dos parámetros (ecuación IV.3):

$$A=A_0 e^{\beta P} \quad (IV.3)$$

donde A es la adhesividad, A_0 y β son los parámetros del modelo característicos del sistema y dependientes tanto del tipo de azúcar, como del ratio tomate:disolución (Tabla IV.6), y P es el % de pectina.

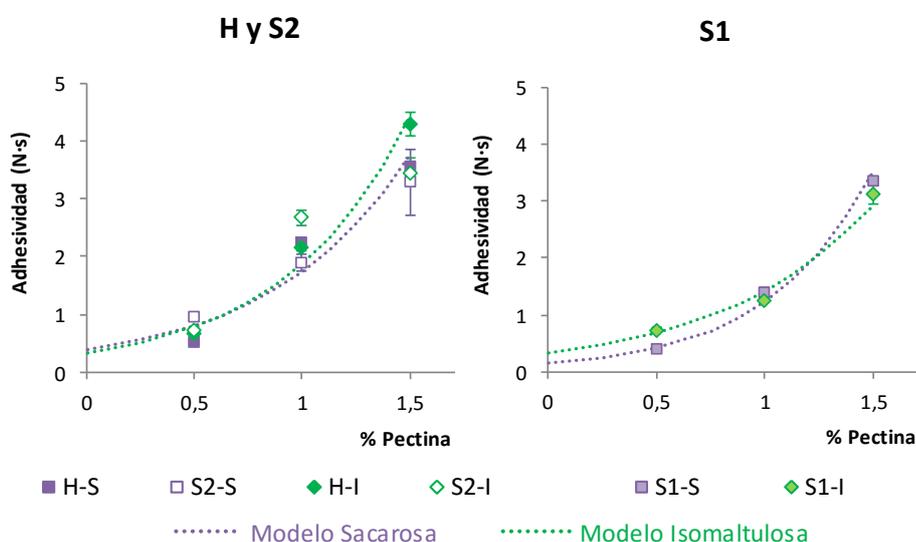


Figura IV.4. Valores experimentales de la adhesividad (N·s) de los untables de tomate de 20 °Brix, según el tipo de azúcar (S: sacarosa; I: isomaltulosa), el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y el porcentaje de pectina (0,5, 1, 1,5 %), junto a sus modelos predictivos.

Tabla IV.6. Valores de los parámetros del modelo predictivo para la adhesividad de los untables de tomate de 20 °Brix (A_0 y β), en función de los diferentes ratios tomate deshidratado:disolución osmótica de su formulación (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y del tipo de azúcar (sacarosa e isomaltulosa).

	$A=A_0 e^{\beta P}$			
	Sacarosa		Isomaltulosa	
H y S2 (Ratio 70:30)	$A_0= 0,3781$ $\beta= 1,5278$	$R^2= 0,964$	$A_0= 0,3348$ $\beta= 1,7194$	$R^2= 0,936$
S1 (Ratio 50:50)	$A_0= 0,1467$ $\beta= 2,1255$	$R^2= 0,991$	$A_0= 0,3338$ $\beta= 1,4511$	$R^2= 0,979$

P: % de pectina.

La adhesividad del sistema exento de pectina (A_0), no se ve muy influenciado por el tipo de azúcar en sistemas con una elevada proporción de tomate (70:30); sin embargo, cuando los productos son formulados con

una mayor proporción de fase líquida (50:50), los productos formulados con isomaltulosa presentan mayores valores de adhesividad. Asimismo, se observa que la influencia del ratio tomate:disolución en el parámetro β , depende del tipo de azúcar, lo que revela diferencias importantes en la interacción de estos azúcares con la pectina, que se hacen más evidentes cuanto mayor es la proporción de fase líquida en el sistema.

Finalmente, resaltar que si bien las ecuaciones propuestas para la predicción de la consistencia y la adhesividad de los untables en función del % de pectina pueden resultar de gran utilidad, sólo han sido validadas dentro del intervalo estudiado de las variables de proceso, por lo que para su extrapolación a otros valores o a sistemas con distintos ingredientes, serán necesarios estudios adicionales.

IV.1.3. Influencia de las variables de proceso en las propiedades reológicas de los untables de tomate de 20 °Brix

Los untables de tomate, así como muchos otros alimentos, son sistemas complejos formados por una matriz sólida y una fase líquida, que aporta un elemento viscoso a la estructura total. Estos alimentos presentan un comportamiento reológico con características tanto de los sólidos elásticos, como de los líquidos, por lo que se denomina comportamiento viscoelástico.

El conocimiento de las propiedades reológicas resulta útil a la hora de diseñar equipos, analizar cambios en la estructura del producto tanto durante su procesado, como en el almacenamiento, y juega un papel fundamental en el control de la calidad y aceptación del producto por parte del consumidor.

IV.1.3.1. Ensayos estacionarios

Los resultados de los ensayos estacionarios reflejaron una dependencia del esfuerzo cortante con la velocidad de deformación a la que es sometida la muestra (fluido no-newtoniano), siendo el modelo Herschel-Bulkley (ecuación IV.4) el que presentó mejor ajuste para la modelización:

$$\tau = \tau_0 + k\gamma^n \quad (\text{IV.4})$$

donde,

τ : esfuerzo (Pa)

τ_0 : esfuerzo umbral de fluencia (Pa)

k : índice de consistencia (Pa·sⁿ)

γ : gradiente de velocidad (s⁻¹)

n : índice de comportamiento del flujo/grado de fluidez (-)

Los alimentos que se ajustan a este modelo, poseen como característica principal el presentar un valor de esfuerzo umbral (τ_0), a partir del cual comienzan a fluir (fluidos plásticos).

Cuando $n > 1$, el modelo representa un comportamiento plástico dilatante, mientras que $n < 1$ indica un comportamiento plástico pseudoplástico; por último, para $n = 1$, el modelo es equivalente al modelo de plástico ideal o de Bingham (Quintáns, 2008). En el caso de los untables analizados, los valores obtenidos para éste parámetro (tabla 1.3 del anexo VI.1) indican un carácter claramente pseudoplástico.

Los fluidos pseudoplásticos se caracterizan por ser menos espesos cuando se les aplican altas velocidades de deformación que cuando se cizallan lentamente. Este comportamiento que indica una ruptura o reorganización continua de la estructura, dando como resultado una

menor resistencia al flujo, es debido a la presencia de sustancias de alto peso molecular, así como a la dispersión de los sólidos que contiene el sistema (Garza, 1998). En estos casos, la viscosidad aparente depende de la temperatura, de la composición del fluido y del esfuerzo cortante o gradiente de velocidad aplicado, pero no del tiempo de aplicación de éste último (Garza, 1998).

El comportamiento pseudoplástico es uno de los más frecuentes en los derivados de frutas y hortalizas, como purés, mermeladas o productos untables (Sharma *et al.*, 1996; Maceiras *et al.*, 2007; Tono *et al.*, 2009; Sato & Cunha, 2009; Peinado, 2011).

El análisis estadístico aplicado a los parámetros del modelo (tabla IV.7), reveló influencia significativa de las variables de proceso para todos ellos (τ_0 , k , n) a excepción del umbral de fluencia (τ_0), para el que el tipo de azúcar, no resultó ser una variable significativa.

Tabla IV.7. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros reológicos de los untables de tomate de 20 °Brix en función de los dos tipos de azúcares (S: sacarosa; I: isomaltulosa), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (0,5, 1 y 1,5 %).

		Azúcar		Elaboración		% Pectina
τ_0	S	29,0 (1,3) ^a	H	32,0 (1,6) ^b	0,5	7,7 (1,6) ^a
			S1	21,6 (1,6) ^a	1	24,5 (1,6) ^b
	I	29,7 (1,3) ^a	S2	34,4 (1,6) ^b	1,5	55,8 (1,6) ^c
k	S	10,6 (0,5) ^b	H	13,6 (0,6) ^c	0,5	2,1 (0,6) ^a
			S1	6,9 (0,6) ^a	1	7,7 (0,6) ^b
	I	8,9 (0,5) ^a	S2	8,7 (0,6) ^b	1,5	19,5 (0,6) ^c
n	S	0,364 (0,009) ^a	H	0,3569 (0,0117) ^a	0,5	0,4519 (0,0117) ^c
			S1	0,4294 (0,0117) ^b	1	0,3787 (0,0117) ^b
	I	0,417 (0,009) ^b	S2	0,3859 (0,0117) ^a	1,5	0,3416 (0,0117) ^a

Valores entre paréntesis: error estándar.

Se observó un mayor índice de consistencia (k), e inherentemente a esto un menor grado de fluidez (n), en los untables elaborados con sacarosa, debido probablemente, a la mayor capacidad de este azúcar para interaccionar con la pectina y repercutiendo en la fuerza del gel.

En relación con el método de elaboración, las formulaciones con un mayor ratio tomate deshidratado:disolución osmótica (S2 y H), son las que presentaron un mayor esfuerzo umbral de fluencia (τ_0), siendo los untables elaborados mediante este último método (H), los que además, alcanzan el mayor valor del índice de consistencia (k). Estos resultados estarían en concordancia con los obtenidos en los ensayos de textura; donde los resultados reflejaron que una mayor presencia de sólidos en el sistema, se asocia a una mayor consistencia de los untables.

Por otro lado y como cabía esperar, al aumentar el porcentaje de pectina, aumenta también el esfuerzo inicial necesario para que el untable fluya (τ_0) así como su índice de consistencia (k). Resultados similares se

obtuvieron en un estudio de untables de fresa de 30 °Brix en el que se analizaron las mismas variables de proceso (Peinado, 2011).

Para identificar las variables que influyen en mayor medida sobre los parámetros reológicos de los untables de 20 °Brix, se tuvieron en cuenta los valores del cociente-F de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley (tabla IV.8), de los que se deduce que es el porcentaje de pectina la variable que mas influye en el valor de los parámetros τ_0 y k, mientras que en el caso del índice de comportamiento del flujo (n), son el % de pectina junto con el tipo de azúcar y su interacción, las variables que presentan mayor influencia.

Tabla IV.8. Valores del cociente-F obtenidos a partir del análisis de la varianza factorial (ANOVA) para los parámetros del modelo Herschel-Bulkley obtenidos para los untables de tomate de 20 °Brix en función de las variables de proceso.

Variables	Cociente-F		
	τ_0	k	n
A: Azúcar	0,15 ^{NS}	6,09*	15,27***
B: Elaboración	17,08***	35,10***	9,72***
C: % Pectina	220,04***	230,47***	23,01***
AxB	2,78 ^{NS}	1,67 ^{NS}	4,91*
AxC	1,11 ^{NS}	8,64**	27,54***
BxC	4,78**	9,52***	2,53 ^{NS}

NS: diferencias no significativas estadísticamente (p-valor \geq 0,05).

*p-valor < 0,05; ** p-valor < 0,01; ***p-valor < 0,001.

En base a estos resultados, los parámetros reológicos del modelo Herschel-Bulkley (τ_0 , k, n) se modelizaron en función del % de pectina para cada uno de los azúcares (figuras IV.5 y IV.6). A excepción del índice de comportamiento del flujo (n) de los untables de sacarosa, el resto de parámetros reológicos se ajustaron a una función exponencial (ecuaciones IV.5, IV.6 y IV.7):

$$\tau_o = \tau'_o e^{\rho P} \quad (IV.5)$$

$$k = k_o e^{\pi P} \quad (IV.6)$$

$$n = n_o e^{\mu P} \quad (IV.7)$$

donde τ'_o , k_o y n_o son los valores de los parámetros para la formulación sin pectina, y ρ , π y μ son los coeficientes que establecen para cada uno de los parámetros la influencia de la adición de pectina sobre la reología del producto.

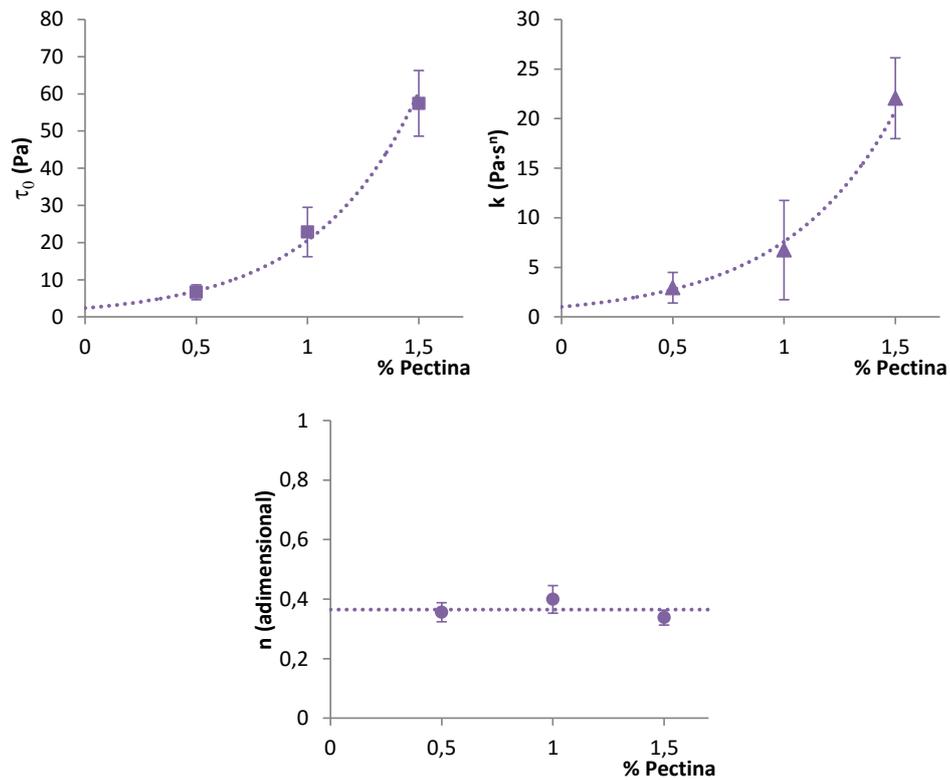


Figura IV.5. Valores experimentales de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley de los untables de tomate de 20 °Brix elaborados con sacarosa, en función del porcentaje de pectina (P), junto a sus modelos predictivos.

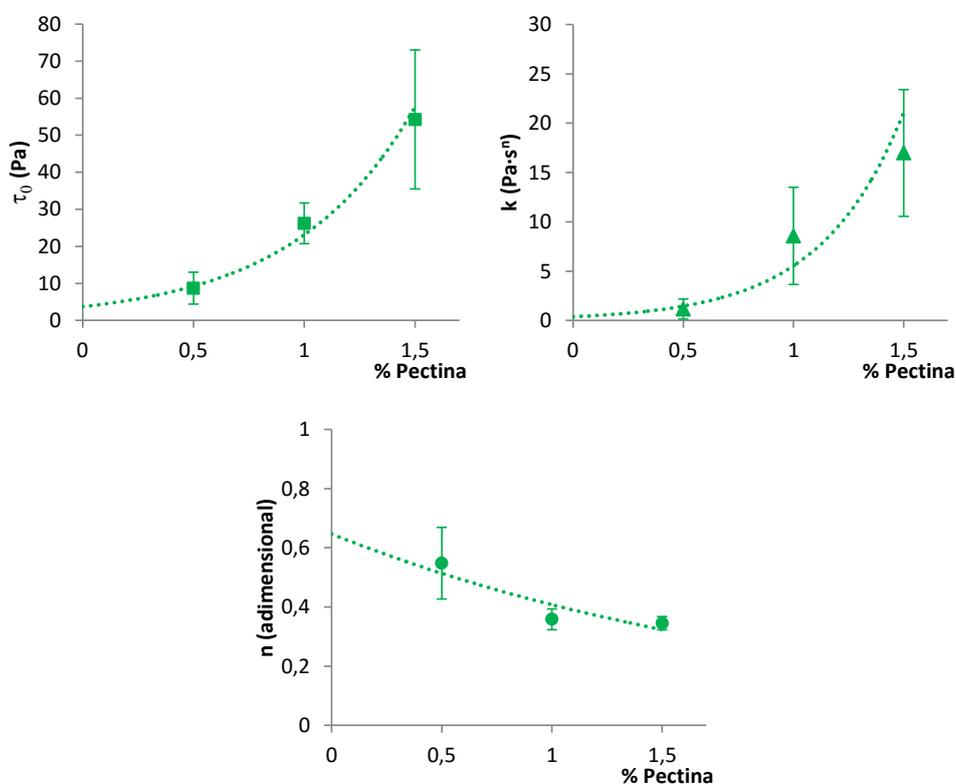


Figura IV.6. Valores experimentales de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley de los untables de tomate de 20 °Brix elaborados con isomaltulosa, en función del porcentaje de pectina (P), junto a sus modelos predictivos.

Si bien las constantes del modelo reflejan en todos los casos un aumento del umbral de fluencia y de la consistencia con el aumento del porcentaje de pectina (tabla IV.9), en el índice de comportamiento del flujo se observan diferencias en función del tipo de azúcar. En el caso de los untables formulados con sacarosa, se observa un grado de fluidez constante para los 3 niveles de pectina ensayados y similar al grado de fluidez de los untables formulados con isomaltulosa con 1 y 1,5 % de pectina; mientras que el grado de fluidez es mayor en los untables de isomaltulosa con 0,5 % de pectina revelando diferencias en la interacción de este tipo de azúcar con la pectina en comparación con la sacarosa.

Tabla IV.9. Valores de los parámetros de los modelos predictivos para los parámetros del modelo reológico Herschel-Bulkley (τ_0 , k , n) de los untables de tomate de 20 °Brix, en función del tipo de azúcar (Sacarosa e Isomaltulosa).

	Sacarosa		Isomaltulosa	
$\tau_0 = \tau'_0 e^{\rho P}$	$\tau'_0 = 2,3738$ $\rho = 2,1590$	$R^2 = 0,993$	$\tau'_0 = 3,7014$ $\rho = 1,8317$	$R^2 = 0,986$
$k = k_0 e^{\pi P}$	$k_0 = 1,0160$ $\pi = 2,0120$	$R^2 = 0,990$	$k_0 = 0,3810$ $\pi = 2,6769$	$R^2 = 0,926$
$n = n_0 e^{\mu P}$	$n = 0,36 \pm 0,04$		$n_0 = 0,6471$ $\mu = -0,4618$	$R^2 = 0,810$

P: % de pectina.

En la figura IV.7 se han representado los valores experimentales de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley (τ_0 , k , n) obtenidos de forma experimental, frente a los valores predichos por las ecuaciones propuestas.

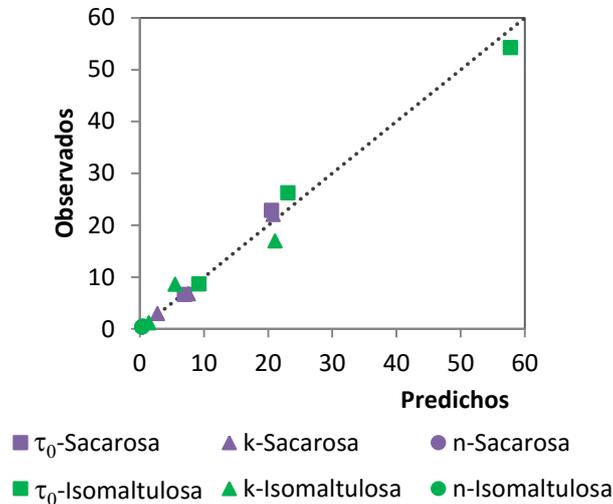


Figura IV.7. Comprobación de los modelos propuestos para la predicción de los parámetros del modelo reológico Herschel-Bulkley (τ_0 , k, n) de los untables de tomate de 20 °Brix.

IV.1.3.2. Ensayos oscilatorios

Las propiedades de flujo en estado estacionario por sí solas, no son capaces de proporcionar información suficiente respecto a la relación entre el comportamiento reológico y la microestructura de un material, debido a que la medida de flujo en estado estacionario es una técnica de naturaleza destructiva y, en consecuencia, va acompañada de una ruptura estructural del mismo (Fernández, 2008).

En contraposición, la información que se obtiene a través de los ensayos oscilatorios de baja amplitud, es la contribución de la proporción elástica (G' , módulo de almacenamiento, asociado al componente sólido) y viscosa (G'' , módulo de pérdidas, asociado al componente líquido) a la estructura interna de la muestra, de forma que según sea mayor el valor de uno u otro exhibirá un comportamiento:

-Si $G' > G''$ el material tiene mayor componente sólido y por tanto, tiene mayor poder para almacenar energía y recuperar parte de la deformación, comportamiento típico de un gel.

-Si $G' = G''$ el material se comporta como una disolución concentrada.

-Si $G' < G''$ el material tiene mayor componente líquido y por tanto, la mayor parte de la energía empleada en la deformación se pierde como disipación viscosa, característico de una disolución diluida.

Las medidas que se realizan mediante estos ensayos, implican el estudio de la estructura de la muestra de una manera no destructiva, a diferencia de las medidas que se realizan en un texturómetro, donde la deformación es mayor y en muchos casos irreversible, buscando imitar el movimiento o la deformación que se produce en la boca. Así pues, se espera que los valores obtenidos mediante los ensayos oscilatorios proporcionen una idea acerca de la experiencia inicial del consumidor (Kealy, 2006).

Existen numerosos trabajos de alimentos en los que se ha estudiado la dependencia de los módulos G' y G'' en función de la frecuencia de ensayo (w) (Rao & Cooley, 1992; Ahmed & Ramaswamy, 2006a; Ahmed & Ramaswamy, 2007; Bayod *et al.*, 2008; Basu *et al.*, 2011; Bayod & Tornberg, 2011; Augusto *et al.*, 2012a y 2012b), pudiendo ser ajustada su relación, a un modelo potencial (ecuaciones IV.8 y IV.9):

$$G' = k' w^{n'} \tag{IV.8}$$

$$G'' = k'' w^{n''} \tag{IV.9}$$

siendo,

w: frecuencia de ensayo (Hz)

k': módulo de almacenamiento a baja frecuencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^{n'}$)

n': índice de la ley de potencia para G' (-)

k'': módulo de pérdidas a baja frecuencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^{n''}$)

n'': índice de la ley de potencia para G'' (-)

Los parámetros de k' y k'' se relacionan principalmente con la magnitud de G' y G'', mientras que los exponentes n' y n'' están relacionados con el comportamiento sólido-líquido del material (Bayod & Tornberg, 2011). Los valores característicos de un líquido ideal son $G' \propto w^{2.0}$ y $G'' \propto w^{1.0}$, mientras que se espera que el espectro mecánico de un gel ideal sea independiente de w (Ferry, 1980 y Ross-Murphy, 1988 en Bayod & Tornberg, 2011).

Los valores de los parámetros del modelo potencial de G' y G'', así como la bondad del ajuste (R^2), para los distintos untables de tomate de 20 °Brix, se recogen en las tablas 1.4a y 1.4b del anexo VI.1, respectivamente.

El análisis estadístico (tabla IV.10) reveló que n' y n'', sólo se vieron influenciados por la adición de pectina, disminuyendo su valor conforme aumentó dicho porcentaje. A su vez, los mayores valores de k' (constante del modelo G') se obtuvieron para los untables elaborados con sacarosa, en concordancia con los resultados obtenidos en los ensayos estacionarios.

Por otra parte, el método de elaboración influyó de forma significativa tanto en los valores de k' como en k'', siendo el método de elaboración S2 (vía seca/ratio fruta:disolución 70:30) el que presentó los valores más altos.

Tabla IV.10. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros del modelo potencial (G' y G'') de los untables de tomate de 20 °Brix en función de los dos tipos de azúcares (S: sacarosa; I: isomaltulosa), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (0,5, 1 y 1,5 %).

	Azúcar	Elaboración	% Pectina			
k'	S	2143 (63) ^b	H	1696 (78) ^b	0,5	1261 (78) ^a
			S1	1416 (78) ^a	1	2166 (78) ^b
	I	1961 (63) ^a	S2	3044 (78) ^c	1,5	2730 (78) ^c
n'	S	0,1361 (0,0016) ^a	H	0,1345 (0,002) ^a	0,5	0,1532 (0,002) ^c
			S1	0,1384 (0,002) ^a	1	0,1355 (0,002) ^b
	I	0,1380 (0,0016) ^a	S2	0,1383 (0,002) ^a	1,5	0,1225 (0,002) ^a
k''	S	397 (12) ^a	H	319 (15) ^b	0,5	271 (15) ^a
			S1	268 (15) ^a	1	403 (15) ^b
	I	379 (12) ^a	S2	576 (15) ^c	1,5	490 (15) ^c
n''	S	0,127 (0,004) ^a	H	0,125 (0,004) ^a	0,5	0,166 (0,004) ^c
			S1	0,139 (0,004) ^b	1	0,131 (0,004) ^b
	I	0,136 (0,004) ^a	S2	0,131 (0,004) ^{ab}	1,5	0,098 (0,004) ^a

Valores entre paréntesis: error estándar.

Cabe destacar que mientras los valores de k' y k'' aumentan con el % de pectina, los valores de n' y n'' disminuyen. Basu *et al.* (2011) observaron el mismo comportamiento en mermeladas de mango, asociándolo al desarrollo del carácter elástico de la mermelada por el incremento de sólidos solubles totales. En este sentido, el aumento del porcentaje de pectina en la formulación, aumentaría también el componente elástico de los untables de tomate.

En la figura IV.8 se ha representado la dependencia de los valores de G' y G'' con la frecuencia de ensayo (w), para los untables de tomate elaborados con 1 % de pectina.

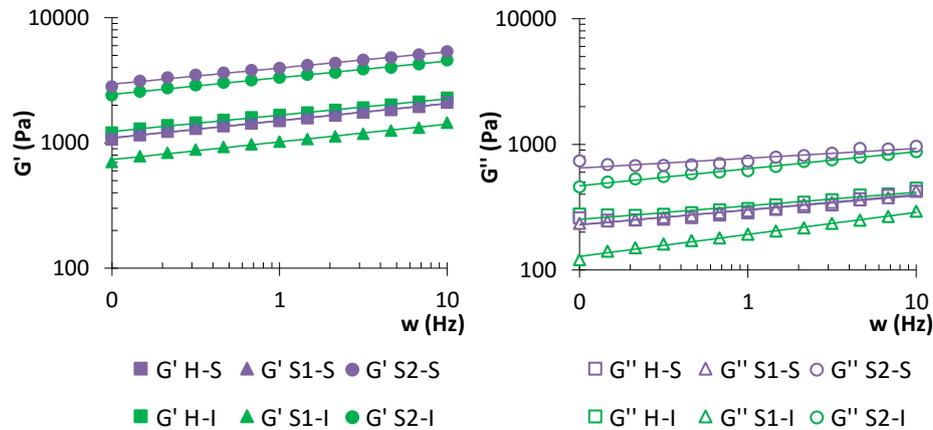


Figura IV.8. Barridos de frecuencia de G' y G'' para los untables de tomate de 20 °Brix con 1 % de pectina, según el tipo de azúcar (sacarosa o isomaltulosa) y el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).

Como se puede observar, todas las muestras presentan un comportamiento tipo gel ($G' > G''$) en el rango de frecuencias estudiado. Este comportamiento coincide con el de otros productos procesados de tomate tales como zumo, pasta o ketchup (Tiziani & Vodovotz, 2005; Bayod *et al.*, 2008; Augusto *et al.*, 2011; Augusto *et al.*, 2012b).

En un estudio similar con untables de fresa de 30 °Brix en el que se analizaban las mismas variables de proceso (Peinado, 2011), los productos elaborados mediante deshidratación osmótica por vía seca sin eliminar fase líquida (S1), mostraron un comportamiento de disolución concentrada ($G' = G''$). Esta diferencia con el tratamiento S1 de los untables de tomate, puede estar relacionado con la presencia de aceite en la formulación, que junto a la pectina nativa del tomate, confieren mayor firmeza a la matriz del producto.

Por otro lado, cabe resaltar que todos los untables de tomate presentaron un cociente $G'/G'' < 10$, por lo que pueden clasificarse como un gel débil (Sato & Cunha, 2009; Tonon *et al.*, 2009).

Gabriele *et al.* (2001) propusieron un modelo relativamente sencillo para la caracterización de geles débiles, en base al comportamiento del módulo complejo (G^*) en función de la frecuencia aplicada (w) (ecuación IV.10):

$$G^*(w) = \sqrt{G'(w)^2 + G''(w)^2} = Aw^{1/z} \quad (\text{IV.10})$$

donde,

A: constante del modelo que puede ser interpretada como la resistencia a la deformación en la región de viscoelasticidad lineal a una frecuencia angular de $1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

z: denominado número de coordinación, es el número de unidades de flujo que interaccionan entre ellas para dar como resultado la respuesta al flujo observada.

Los modelos tradicionales enfocados a caracterizar geles fuertes unidos por enlaces covalentes, no resultan útiles para describir el comportamiento de estructuras de gel débil, ya que éstos últimos pueden contener enlaces de rotura fácil cuando se les aplica una deformación.

El modelo de Gabriele *et al.* (2001) ya ha sido aplicado con éxito en la caracterización de diferentes alimentos como masa de cereal, mermelada, yogur, crema de limón, queso, ketchup y emulsiones agua/aceite (Gabriele *et al.*, 2001; Peressini *et al.*, 2002; Basu *et al.*, 2011; Lupi *et al.*, 2011) por lo que se utilizó para la modelización de los untables de tomate (tabla 1.5 del anexo VI.1 y tabla IV.11).

Tabla IV.11. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros del modelo “gel débil” (A y z) de los untables de tomate de 20 °Brix en función de los dos tipos de azúcares (S: sacarosa; I: isomaltulosa), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (0,5, 1 y 1,5 %).

	Azúcar		Elaboración		% Pectina	
A	S	2184 (65) ^b	H	1719 (80) ^b	0,5	1292 (80) ^a
			S1	1443 (80) ^a	1	2200 (80) ^b
	I	1993 (65) ^a	S2	3104 (80) ^c	1,5	2774 (80) ^c
z	S	7,55 (0,09) ^a	H	7,632 (0,116) ^a	0,5	6,564 (0,116) ^a
			S1	7,335 (0,116) ^a	1	7,456 (0,116) ^b
	I	7,34 (0,09) ^a	S2	7,374 (0,116) ^a	1,5	8,321 (0,116) ^c

Valores entre paréntesis: error estándar.

Como cabía esperar y coherentemente con los resultados anteriores, los mayores valores de “A”, y por tanto, la mayor fuerza del gel, se obtienen en los untables elaborados con sacarosa, mediante el método de elaboración S2 (vía seca/ratio fruta disolución 70:30) y con el mayor % de pectina. Por otra parte, en el parámetro “z”, sólo se puede establecer una tendencia clara en base al porcentaje de pectina presente, aumentando su valor a medida que aumenta dicho porcentaje.

Basu *et al.* (2011), también comprobaron cómo al aumentar el % de sustitución de sacarosa por otro edulcorante (sorbitol) en mermeladas de mango, la fuerza del gel disminuía, viéndose reflejado en los valores de los parámetros A, k' y k". Este hecho, lo relacionó con un mayor número de enlaces por “puentes de hidrogeno” en las mermeladas con sorbitol, lo cual debilitaría la estructura del gel.

En el caso de los untables de tomate, los grupos químicos de los 2 azúcares son los mismos, por lo que la menor firmeza de los geles de

isomaltulosa, podría estar relacionada con la menor capacidad de este azúcar para captar agua.

Para formar un gel de pectina, las fuerzas que mantienen las moléculas de pectina separadas (los grupos carboxilo de la molécula se ionizan con el agua -carga negativa- (ecuación IV.1)), se deben reducir de manera que puedan interactuar entre sí en puntos específicos, atrapando agua dentro de la red tridimensional resultante. Los azúcares compiten por el agua, reduciendo así, las fuerzas atractivas entre la pectina y las moléculas de agua (Vaclavik, 2002). Por este motivo, los untables elaborados con sacarosa presentarían una estructura más fuerte.

En la figura IV.9 se ha representado la dependencia del módulo complejo (G^*) a la frecuencia aplicada (ω), de los mismos untables representados en la figura IV.8 (1 % de pectina). Se puede comprobar como el perfil descrito es análogo al del módulo de almacenamiento (G'), este hecho confirmaría el dominio del componente elástico en los untables de tomate de 20 °Brix.

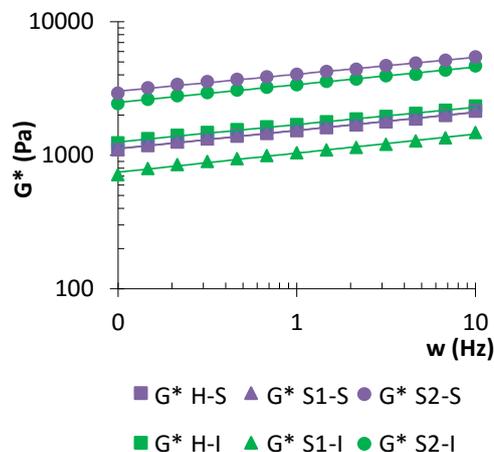


Figura IV.9. Barridos de frecuencia de G^* para los untables de tomate de 20 °Brix con 1 % de pectina, según el tipo de azúcar (sacarosa o isomaltulosa) y el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).

IV.1.3.3. La regla de Cox-Merz

Idealmente, debería ser posible interrelacionar las “propiedades reales de un material”, obtenidas a partir de diferentes ensayos. Esto es útil porque las limitaciones experimentales de un tipo de ensayo (deslizamiento, migración de componentes de la muestra, etc.), se pueden superar mediante la utilización de un ensayo diferente y relacionar dichas propiedades según el marco de interés, además de comparar de forma independiente los resultados para su posterior validación (Gunasekaran & Ak, 2000).

Numerosas investigaciones sobre las propiedades reológicas de soluciones poliméricas, han demostrado que existe una correlación entre las funciones que describen las propiedades dinámicas y las que caracterizan las propiedades en flujo estacionario, siendo el método

empírico de Cox-Merz (Cox & Merz, 1958), el método más fiable para correlacionar dichas propiedades (Gunasekaran & Ak, 2000).

La regla de Cox-Merz establece que la viscosidad aparente obtenida en estado estacionario (η) en función de la velocidad de cizalla (γ), es igual a la viscosidad compleja (η^*) en función de la frecuencia angular (ω), cuando ' ω ' y ' γ ' son iguales (ecuación IV.11):

$$\eta^*(\omega) = \eta(\gamma) \Big|_{\omega=\gamma} \quad (IV.11)$$

La figura IV.10 muestra el gráfico de la aplicación de la regla de Cox-Merz en los untables de tomate de 20 °Brix. Se puede observar que la viscosidad compleja (η^*) es muy superior a la viscosidad del untable en flujo estacionario (η), por tanto, los untables de tomate de 20 °Brix no siguen la regla originaria de Cox-Merz.

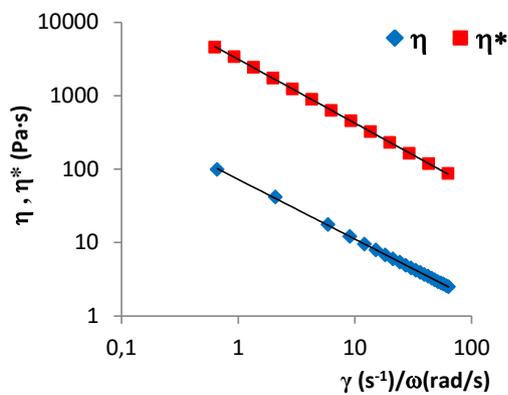


Figura IV.10. Aplicación de la regla de Cox-Merz a los untables de tomate de 20 °Brix, siendo η : viscosidad en estado estacionario y η^* : viscosidad compleja.

Este comportamiento ha sido observado en muchos estudios sobre alimentos, en los que se han aplicado modificaciones sobre la regla, como

la introducción de un factor de desplazamiento, estableciéndose una relación lineal entre ambas viscosidades (ecuación IV.12) o mediante una expresión potencial, adoptándose una relación no-lineal entre ellas (ecuación IV.13):

$$\eta^*(\omega)=K\eta(\gamma)|_{\omega=\gamma} \quad \text{ó} \quad \eta^*(\omega)=\eta(K\gamma)|_{\omega=\gamma} \quad (\text{IV.12})$$

$$\eta^*(\omega)=C[\eta(\gamma)]^\alpha|_{\omega=\gamma} \quad (\text{IV.13})$$

La mayoría de las desviaciones de la regla de Cox-Merz son atribuidas a la descomposición estructural debida al grado de la deformación aplicada. Por definición, en los ensayos oscilatorios de baja amplitud, este es pequeño, pero es suficientemente alto en estado estacionario como para romper las asociaciones inter e intramoleculares (Gunasekaran & Ak, 2000).

Productos tales como, pasta de tomate (Rao & Cooley, 1992), purés infantiles de patata (Ahmed & Ramaswamy, 2006a) y mermeladas (Basu *et al.*, 2011), han sido ajustados a la modificación lineal de la regla de Cox-Merz, mientras otros como, ketchup (Bistany & Kokini, 1983), purés infantiles de fruta (Ahmed & Ramaswamy, 2007) y concentrados de zumo de tamarindo (Ahmed *et al.*, 2007) han seguido su modificación no-lineal. El zumo de tomate ha sido ajustado a ambas modificaciones (Tiziani & Vodovotz, 2005; Augusto *et al.*, 2011; Augusto *et al.*, 2012b), comparándose en este último trabajo los dos modelos y consiguiendo el mejor ajuste con la relación no-lineal entre ambas viscosidades.

Para comprobar a que modificación de la regla de Cox-Merz se adaptaban mejor los datos, Augusto *et al.* (2012b) representó los valores de viscosidad compleja de los modelos (ecuaciones IV.12 y IV.13) en

función de los datos experimentales, obteniéndose la siguiente relación lineal entre ellos (ecuación IV.14):

$$\eta^*_{\text{modelo}} = A\eta^*_{\text{experimental}} + B \quad (\text{IV.14})$$

donde se establecen 3 parámetros que pueden ser utilizados para evaluar dicho ajuste; la pendiente “A”, que debería ser lo más próximo a la unidad posible; la ordenada en el origen “B”, que debería ser lo más cercano a cero posible y la bondad del ajuste “R²”, que debería tener un valor aproximado de uno.

Siguiendo estas directrices, los datos experimentales de los untables de tomate de 20 °Brix se ajustaron a las dos modificaciones de la regla de Cox-Merz y el mejor ajuste se obtuvo para el modelo no-lineal (ecuación IV.13). Los valores de los parámetros del modelo y su ajuste pueden ser consultados en las tablas 1.6 y 1.7 del anexo VI.1, respectivamente.

El valor del parámetro “C” del modelo, está relacionado con la diferencia entre la viscosidad aparente (η), obtenida en estado estacionario y la viscosidad compleja (η^*), determinada en los ensayos oscilatorios; mientras que el parámetro “ α ” se relaciona con la diferencia en el comportamiento entre dichas viscosidades, en relación con la velocidad de cizalla (γ) y la frecuencia angular (ω), respectivamente.

El análisis estadístico no mostró influencia significativa de ninguna de las variables de proceso ($p_{\text{valor}} > 0,05$) sobre los parámetros C y α del modelo (tabla IV.12). Sin embargo, en los resultados puede observarse como las menores diferencias entre las viscosidades se encuentran, generalmente, en los untables elaborados con el nivel más alto de pectina

(1,5 %), debido probablemente, a la mayor fuerza que adquiere la estructura.

Tabla IV.12. Valores del cociente-F obtenidos a partir del análisis de la varianza factorial (ANOVA) para los parámetros de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz obtenidos para los untables de tomate de 20 °Brix en función de las variables de proceso.

Variables	Cociente-F	
	C	α
A: Azúcar	0,02 ^{NS}	1,98 ^{NS}
B: Elaboración	0,70 ^{NS}	3,75 ^{NS}
C: % Pectina	2,13 ^{NS}	6,79 ^{NS}
AxB	0,97 ^{NS}	0,55 ^{NS}
AxC	0,04 ^{NS}	0,58 ^{NS}
BxC	0,13 ^{NS}	0,28 ^{NS}

NS: diferencias no significativas estadísticamente (p-valor \geq 0,05).

*p-valor < 0,05; ** p-valor < 0,01; ***p-valor < 0,001.

En la figura IV.11 se han representado de nuevo la viscosidad aparente (η) y la viscosidad compleja (η^*) de la figura IV.10 aplicando, en este caso, la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz. De esta forma se puede comprobar el buen ajuste entre ambas viscosidades y se confirmaría que las propiedades reológicas de los untables de tomate de 20 °Brix obtenidas mediante ensayos oscilatorios, pueden ser correlacionadas con las descritas por ensayos en estado estacionario, y viceversa.

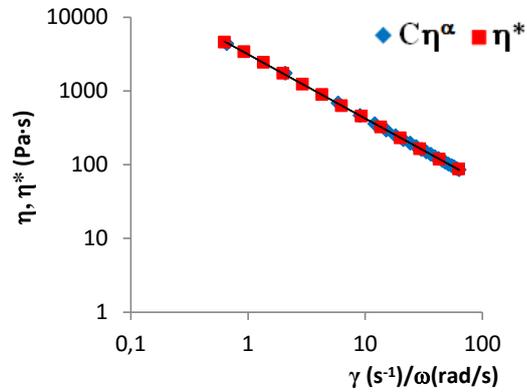


Figura IV.11. Aplicación de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz a los untables de tomate de 20 °Brix, siendo η : viscosidad en estado estacionario y η^* viscosidad compleja.

Tiziani & Vodovotz (2005) concluyeron en su estudio sobre zumos de tomate, que las desviaciones de estos productos de la regla de Cox-Merz, reflejaban la naturaleza gelatinosa de los mismos y confirmaban el complejo papel de las interacciones no-covalentes que determinan la estabilidad del sistema del tomate.

IV.1.4. Conclusiones relacionadas con el color, la textura y la reología de los productos untables de tomate de 20 °Brix

- ↻ La diferencia entre los valores de a_w de los distintos untables de tomate, pone de manifiesto la importancia de la solubilidad del azúcar en el producto final. En este caso, aunque la sacarosa y la isomaltulosa poseen el mismo peso molecular, la mayor solubilidad de la primera, conlleva productos con menor a_w .
- ↻ Todos los untables de tomate presentaron mayores coordenadas colorimétricas (L^* , a^* y b^*) que el tomate fresco, independientemente del tipo de azúcar utilizado, el método de elaboración y el porcentaje de pectina. Esto se traduce en una mayor pureza de color (C^*) y un aumento del tono (h^*), que indica que los untables de tomate presentaron un color más amarillento/anaranjado que su fresco, debido principalmente, a la adición de aceite de oliva en su formulación.
- ↻ El tipo de azúcar utilizado influyó de forma significativa sobre la luminosidad de los untables (L^*), obteniéndose la mayor luminosidad, en los untables elaborados con isomaltulosa. Por su parte, el método de elaboración S2 (vía seca/ratio fruta:disolución 70:30), fue el que menores diferencias globales de color respecto al tomate fresco provocó. En relación al % de pectina, no se pudo establecer una tendencia clara, pero como era de esperar, las mayores diferencias de color se obtuvieron para el nivel más alto (1,5 %).
- ↻ Respecto a las propiedades mecánicas, el tipo de azúcar utilizado no influyó de forma significativa sobre la consistencia de los untables, aunque sí se vio su efecto sobre la adhesividad de los mismos, obteniéndose valores ligeramente más altos en los

productos elaborados con isomaltulosa. A su vez, los tratamientos H (vía húmeda/ratio fruta:disolución 70:30) y S2 (vía seca/ratio fruta:disolución 70:30) presentaron una mayor firmeza en el producto final, debido principalmente, a la mayor proporción de fruta en su formulación. Finalmente, los valores de los parámetros de textura aumentaron gradualmente con el aumento del porcentaje de pectina.

- Las curvas de los parámetros de textura fueron modelizadas satisfactoriamente mediante ecuaciones de tipo exponencial, en función del método de elaboración y el % de pectina en el caso de la consistencia, y del azúcar, el método de elaboración y el % de pectina para la adhesividad.
- Los ensayos reológicos estacionarios, revelaron que los untables de tomate de 20 °Brix presentaron un buen ajuste al modelo Herschel-Bulkley, siendo necesario un esfuerzo mínimo de fluencia (τ_0) y pudiéndose clasificar como fluidos pseudoplásticos ($n < 1$).
- Los untables obtenidos con sacarosa y los métodos de elaboración H y S2 (ratio fruta:disolución 70:30), fueron los que presentaron mayores índices de consistencia (k) y menores grados de fluencia (n). Asimismo y como cabía esperar, según aumentó el % de pectina, aumentaron los valores de esfuerzo umbral y consistencia, y disminuyó el índice de fluencia.
- Ecuaciones predictivas de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley, según el tipo de azúcar utilizado, fueron calculadas en función del % de pectina, obteniéndose un buen ajuste a un modelo exponencial.

- ↻ Los ensayos reológicos oscilatorios revelaron un comportamiento típico de un gel débil para todos los untables de tomate, independientemente del tipo de azúcar, el método de elaboración y el porcentaje de pectina utilizados.
- ↻ Tras la modelización de las curvas G' y G'' , se pudo concluir que los untables con mayor componente elástico en su estructura (mayor firmeza) fueron aquellos elaborados con sacarosa, mediante el método S2 (vía seca/ratio fruta:disolución 70:30) y con el mayor % de pectina. Resultados análogos se obtuvieron al aplicar el modelo para la caracterización de “gel débil”.
- ↻ Los untables de tomate de 20 °Brix, no siguieron la regla originaria de Cox-Merz, pero mediante su modificación, se pudo establecer una relación no-lineal entre la viscosidad aparente y compleja de los mismos. Estos resultados confirmarían que las propiedades reológicas de los untables de tomate de 20 °Brix podrían ser obtenidas tanto a través de ensayos oscilatorios como estacionarios y relacionarse entre sí.

IV. 2. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN EL COLOR, TEXTURA Y REOLOGÍA DE PRODUCTOS UNTABLES DE TOMATE DE 50 °BRIX

En el procesado tradicional de las mermeladas, la concentración de azúcares tiene lugar mediante la aplicación de un prolongado tratamiento térmico. Durante este proceso, las enzimas son inactivadas y se producen una serie de reacciones que hacen que la fruta alcance las características típicas de esta clase de productos (textura, color, etc.).

El problema de este tipo de procesado es que, al someter a la fruta a altas temperaturas, acaba perdiendo parte de su valor funcional (Kim & Padilla-Zakour, 2004; Rababah *et al.*, 2011). En este sentido, la elaboración, mediante deshidratación osmótica, de untables de fruta con una concentración de azúcares análoga a las mermeladas convencionales (50 °Brix), podría resultar una alternativa interesante. Al tratarse de un proceso eficaz a temperatura ambiente, la deshidratación osmótica produce un daño mínimo sobre la calidad de los alimentos, consiguiendo la retención de nutrientes, y la mejora del sabor y textura (Mandala *et al.*, 2004). Al mismo tiempo, durante el proceso de deshidratación osmótica, la formulación directa de un producto es posible mediante la introducción en el tejido de los alimentos, de la cantidad deseada de un principio activo, un agente conservante, cualquier soluto de interés nutricional o un mejorador de la calidad sensorial (Ponting, 1973 y Raoult-Wack, 1994 en Tortoe, 2010). En este caso, el uso de azúcares más saludables y de bajo índice glicémico, como la isomaltulosa, aumentaría el valor funcional de los untables de fruta.

Por tanto, el objetivo específico de este capítulo sería evaluar la influencia de las variables de proceso (tipo de azúcar, método de

elaboración y porcentaje de pectina) sobre las propiedades ópticas, mecánicas y reológicas de untables de tomate de 50 °Brix.

En la figura IV.12, se resume el plan experimental llevado a cabo para elaborar los untables de tomate de 50 °Brix y se detallan las distintas variables de proceso.

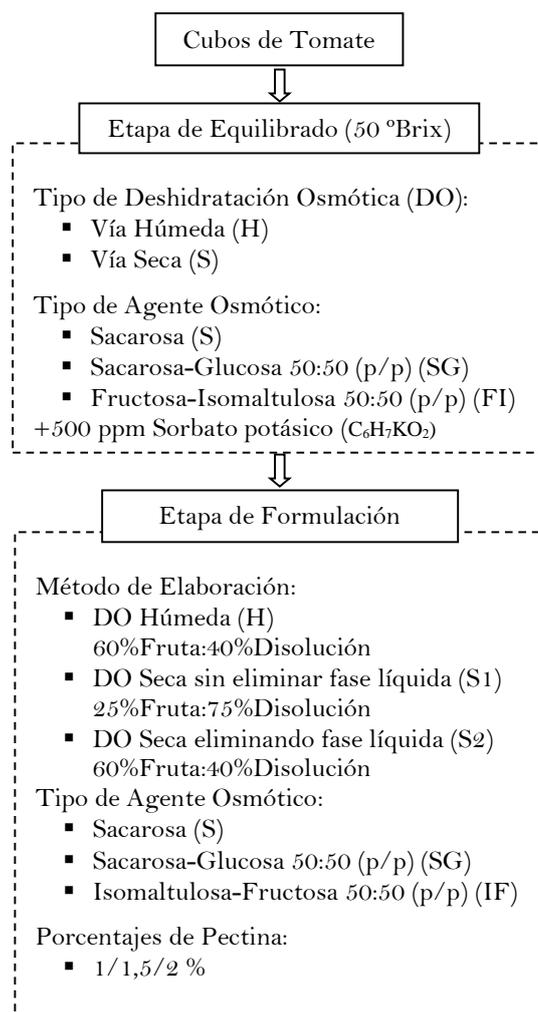


Figura IV.12. Esquema del plan experimental llevado a cabo para la realización del estudio de la influencia de las variables de proceso en el color, textura y reología de productos untables de tomate de 50 °Brix.

El contenido en agua, sólidos solubles, actividad de agua y pH de los distintos untables obtenidos, se encuentran recogidos en la tabla IV.13.

Tabla IV.13. Composición fisicoquímica de los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) y porcentaje de pectina (P) (n = 3).

	E	P	x ^w	x ^{ss}	a _w	pH
Fresco			0,946 (0,006)	0,047 (0,003)	0,991 (0,004)	4,29 (0,06)
Sacarosa						
1		1	0,462 (0,002)	0,4894 (0,0012)	0,8900 (0,0012)	4,100 (0,002)
2	H	1,5	0,484 (0,002)	0,507 (0,005)	0,8930 (0,0012)	3,9467 (0,0115)
3		2	0,481 (0,002)	0,495 (0,014)	0,8860 (0,0012)	3,830 (0,002)
4		1	0,461 (0,004)	0,5231 (0,0015)	0,894 (0,005)	4,027 (0,006)
5	S1	1,5	0,4791 (0,0003)	0,541 (0,005)	0,8827 (0,0012)	3,930 (0,002)
6		2	0,466 (0,003)	0,515 (0,009)	0,8850 (0,0012)	3,823 (0,006)
7		1	0,4639 (0,0014)	0,501 (0,008)	0,8857 (0,0006)	4,453 (0,006)
8	S2	1,5	0,4626 (0,0005)	0,488 (0,008)	0,8840 (0,0012)	3,817 (0,006)
9		2	0,48 (0,02)	0,52 (0,03)	0,897 (0,003)	3,800 (0,002)
Sacarosa-Glucosa						
10		1	0,480 (0,003)	0,441 (0,006)	0,9360 (0,0012)	4,143 (0,006)
11	H	1,5	0,485 (0,002)	0,462 (0,006)	0,9333 (0,0006)	3,950 (0,002)
12		2	0,4983 (0,0016)	0,486 (0,003)	0,9297 (0,0015)	3,8233 (0,0115)
13		1	0,485 (0,002)	0,489 (0,007)	0,9307 (0,0015)	4,123 (0,015)
14	S1	1,5	0,4791 (0,0017)	0,523 (0,013)	0,9237 (0,0006)	3,920 (0,002)
15		2	0,473 (0,002)	0,523 (0,007)	0,9260 (0,0012)	4,270 (0,012)
16		1	0,4931 (0,0016)	0,4822 (0,0103)	0,9247 (0,0006)	3,910 (0,002)
17	S2	1,5	0,495 (0,003)	0,4768 (0,0102)	0,9263 (0,0006)	3,867 (0,006)
18		2	0,4871 (0,0004)	0,468 (0,004)	0,9250 (0,0012)	3,830 (0,002)
Isomaltulosa-Fructosa						
19		1	0,468 (0,002)	0,495 (0,002)	0,9130 (0,0012)	4,1833 (0,0115)
20	H	1,5	0,485 (0,003)	0,51358 (0,01013)	0,9037 (0,0006)	4,010 (0,002)
21		2	0,4680 (0,0012)	0,493 (0,002)	0,9103 (0,0012)	3,883 (0,006)
22		1	0,507 (0,003)	0,482 (0,002)	0,9230 (0,0017)	4,087 (0,006)
23	S1	1,5	0,526 (0,002)	0,494 (0,004)	0,9217 (0,0006)	3,917 (0,006)
24		2	0,5288 (0,0008)	0,468 (0,004)	0,928 (0,002)	3,890 (0,002)
25		1	0,5184 (0,0113)	0,485 (0,012)	0,9187 (0,0006)	4,047 (0,006)
26	S2	1,5	0,5025 (0,0003)	0,473 (0,007)	0,9127 (0,0015)	3,890 (0,012)
27		2	0,516 (0,005)	0,4848 (0,0109)	0,9177 (0,0012)	3,900 (0,002)

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Al igual que en los untables de tomate de 20 °Brix, los distintos productos obtenidos son comparables en términos de contenido en humedad (x^w) y sólidos solubles (x^{ss}). Sin embargo, se establecen ciertas diferencias en la actividad de agua (a_w) que presentan los mismos, dependiendo de los azúcares utilizados en su formulación. Los untables elaborados con sacarosa son los que alcanzan una menor a_w ($0,889 \pm 0,005$), mientras que los que contienen la mezcla sacarosa-glucosa presentan los valores más elevados ($0,928 \pm 0,004$). Al comparar, las dos mezclas de azúcares (sacarosa-glucosa e isomaltulosa-fructosa), se puede apreciar, como para un mismo peso molecular, la gran solubilidad de la fructosa (tabla III.1 de “Materiales y Métodos”) o su elevada capacidad para ligar agua, aun estando unida a la isomaltulosa, consiguen una mayor depresión de la a_w ($0,917 \pm 0,007$).

Por otro lado, como ya se ha señalado en el capítulo anterior, el aumento del % de pectina se ve reflejado en el descenso del pH de los distintos untables elaborados.

IV.2.1. Influencia de las variables de proceso en las propiedades ópticas de los untables de tomate de 50 °Brix

Las coordenadas colorimétricas (L^* , a^* , b^*) de los untables de tomate de 50 °Brix, así como las diferencias globales de color respecto al tomate fresco (ΔE) y las coordenadas del mismo, se recogen en la tabla 2.1 del anexo VI.2.

Todas las variables de proceso (tipo de azúcar, método de elaboración y % de pectina) influyeron de forma significativa sobre las propiedades ópticas de los untables de 50 °Brix ($p_{valor} < 0,05$), siendo los productos

elaborados con la mezcla sacarosa-glucosa los que obtuvieron los valores más altos de las coordenadas colorimétricas (tabla IV.14).

Tabla IV.14. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros de color de los untables de tomate de 50 °Brix en función de los azúcares utilizados (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).

		Azúcar		Elaboración		% Pectina
L*	S	38,17 (0,16) ^b	H	37,71 (0,16) ^a	1	37,73 (0,16) ^a
	SG	39,71 (0,16) ^c	S1	39,72 (0,16) ^b	1,5	38,87 (0,16) ^b
	IF	37,61 (0,16) ^a	S2	38,07 (0,16) ^a	2	38,89 (0,16) ^b
a*	S	17,68 (0,18) ^b	H	18,74 (0,18) ^c	1	17,85 (0,18) ^b
	SG	18,30 (0,18) ^c	S1	15,87 (0,18) ^a	1,5	17,18 (0,18) ^a
	IF	16,46 (0,18) ^a	S2	17,83 (0,18) ^b	2	17,41 (0,18) ^{ab}
b*	S	14,0198 (0,1005) ^a	H	14,5009 (0,1005) ^a	1	14,8628 (0,1005) ^a
	SG	16,8223 (0,1005) ^b	S1	15,6573 (0,1005) ^b	1,5	14,5918 (0,1005) ^a
	IF	13,9427 (0,1005) ^a	S2	14,6266 (0,1005) ^a	2	15,3302 (0,1005) ^b
ΔE ¹	S	2,57 (0,19) ^a	H	2,77 (0,19) ^a	1	3,15 (0,19) ^a
	SG	3,91 (0,19) ^b	S1	4,03 (0,19) ^b	1,5	4,05 (0,19) ^b
	IF	3,87 (0,19) ^b	S2	3,55 (0,19) ^b	2	3,15 (0,19) ^a

¹: Diferencias de color de los untables respecto al tomate fresco.
Valores entre paréntesis: error estándar.

Los untables elaborados mediante S1 (deshidratación osmótica por vía seca sin eliminar fase líquida), fueron los que obtuvieron mayor luminosidad (L*), debido principalmente, a la mayor proporción de fase líquida en su formulación.

Respecto al % de pectina, no se pudo establecer una tendencia clara, ya que las mayores diferencias de color respecto al tomate fresco (ΔE), se dieron con el nivel intermedio de la misma. Resultados análogos fueron observados en untables de fresa procesados con las mismas variables de proceso (Peinado, 2011).

Finalmente, los untables que presentaron menores diferencias de color (ΔE) respecto al tomate fresco fueron aquellos elaborados con sacarosa mediante deshidratación osmótica por vía húmeda (H), en contraposición con los untables de 20 °Brix donde las menores diferencias de color se obtuvieron con el método S2 (deshidratación osmótica por vía seca eliminando fase líquida).

Peinado (2011), relacionó las diferencias encontradas entre los untables de fresa de 30 y 50 °Brix, con la influencia que ejercen los distintos ingredientes en el sistema alimentario, no dependiendo ésta únicamente, de su concentración, de su distribución o del reparto entre las diferentes fases del sistema, sino también, del resultado de las distintas interacciones entre los componentes. Este enfoque podría explicar también las diferencias observadas entre el método de elaboración y el % de pectina de los untables de tomate de 20 y 50 °Brix.

Los resultados estadísticos se ven reflejados en la figura IV.13, donde se han representado en los planos cromáticos b^*-a^* y L^*-a^* , las coordenadas colorimétricas de los untables de tomate de 50 °Brix formulados con 1,5 % de pectina, así como las del tomate fresco.

Como se ha comentado anteriormente, los untables elaborados con la mezcla sacarosa-glucosa muestran mayores valores de L^* , a^* y b^* que el tomate fresco, repercutiendo en un mayor tono (h^*) de estas muestras (plano b^*-a^*). A su vez, el croma (C^*) no parece verse muy afectado por las variables de proceso, situándose la mayoría de las muestras, a la misma distancia del centro de coordenadas que el fresco.

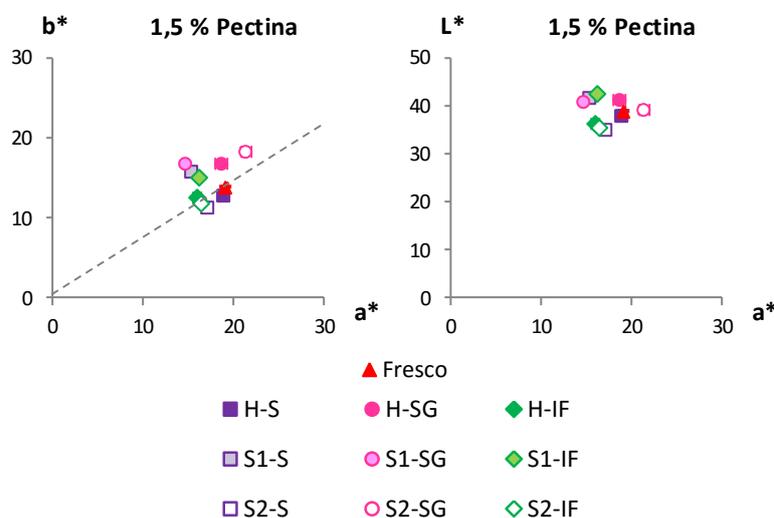


Figura IV.13. Situación de las muestras de tomate fresco y de los untables de 50 °Brix elaborados con 1,5 % de pectina en los planos cromáticos b^*-a^* y L^*-a^* , según los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los azúcares utilizados (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p))).

Por otra parte, los cambios producidos en la luminosidad (L^*) de los untables, tampoco son muy notables, situándose todas las muestras alrededor del tomate fresco, muy próximas entre sí.

Estos resultados se hacen visibles en las bajas diferencias de color respecto al fresco (ΔE), obtenidas para los untables de 50 °Brix (tabla 2.1 del anexo VI.2.), poniendo de manifiesto la mayor estabilidad de los compuestos responsables del color en el tomate, en comparación con otras frutas como la fresa, donde los valores de ΔE oscilaron entre 4,8 y 8,7 (Peinado, 2011).

IV.2.2. Influencia de las variables de proceso en las propiedades mecánicas de los untables de tomate de 50 °Brix

La consistencia, así como otras propiedades mecánicas relacionadas con la estructura de los alimentos, es uno de los atributos más valorados en la aceptación de productos como las mermeladas, las compotas o los untables de fruta. En este sentido, su textura tiene que proporcionar un equilibrio entre la estabilidad mecánica deseada (para el almacenamiento y la manipulación) y la inestabilidad deseada (para obtener una textura específica durante la extensión sobre el pan o durante la masticación) (Basu *et al.*, 2011).

Los valores de consistencia y adhesividad obtenidos para los distintos untables de tomate de 50 °Brix pueden ser consultados en la tabla 2.2 del anexo VI.2. El análisis estadístico del ANOVA factorial (tabla IV.15) reveló diferencias significativas entre todos los niveles de las variables de proceso (tipo de azúcar, método de elaboración y % de pectina).

Tabla IV.15. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros de textura de los untables de tomate de 50 °Brix en función de los azúcares utilizados (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), los distintos métodos de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).

		Azúcar		Elaboración		% Pectina
Consistencia	S	17,0 (0,2) ^b	H	18,6 (0,2) ^b	1	12,3 (0,2) ^a
	SG	20,2 (0,2) ^c	S1	8,6 (0,2) ^a	1,5	16,4 (0,2) ^b
	IF	12,2 (0,2) ^a	S2	22,2 (0,2) ^c	2	20,6 (0,2) ^c
Adhesividad	S	3,16 (0,03) ^b	H	3,65 (0,03) ^b	1	2,05 (0,03) ^a
	SG	3,97 (0,03) ^c	S1	1,65 (0,03) ^a	1,5	3,10 (0,03) ^b
	IF	2,25 (0,03) ^a	S2	4,08 (0,03) ^c	2	4,22 (0,03) ^c

Valores entre paréntesis: error estándar.

En primer lugar, cabe señalar que las variables de proceso influyeron de igual modo sobre la consistencia y la adhesividad de los untables de 50 °Brix, pudiéndose establecer los mismos grupos homogéneos para cada una de ellas.

Por otra parte, a diferencia de los untables de 20 °Brix, en este caso la influencia de los azúcares se hace más notable, encontrándose que aquellos formulados sólo con sacarosa (S) obtienen una consistencia y adhesividad intermedias, mientras que los formulados con sacarosa-glucosa (SG) presentan los valores más altos de los parámetros de textura. Este resultado despertaría especial interés, ya que los untables elaborados con sacarosa-glucosa son los que presentan los mayores valores de actividad de agua (mayor proporción de agua libre en el sistema), por lo que cabría esperar que fueran los que exhibieran una menor consistencia. Sin embargo, idénticos resultados fueron obtenidos en untables de fresa elaborados con los mismos azúcares (Peinado, 2011), por lo que este efecto podría deberse, a la formación de nuevas fuerzas de atracción, que globalmente le conferirían una mayor firmeza/solidez al conjunto.

En cuanto al método de elaboración, también en estos untables el S1 (vía seca sin eliminar fase líquida) presenta la menor consistencia y adhesividad, pero a diferencia de los untables de 20 °Brix, en los de 50 °Brix se establecen diferencias significativas entre H y S2, métodos con la misma proporción de fruta:disolución pero equilibrados de forma diferente, vía húmeda en el caso de H y vía seca en S2. En un estudio anterior, donde se compararon las dos vías de deshidratación osmótica en fresa (Rosa *et al.*, 2008), se observó que en los procesos de deshidratación por vía seca (añadiendo el azúcar sólido directamente sobre la fruta) se favorecía la salida de agua y se limitaba la entrada de solutos en la fruta,

lo cual repercutiría en la cantidad de fase líquida del producto final y por tanto, en su textura.

Finalmente y como era de esperar, según aumentó el % de pectina aumentaron también la consistencia y la adhesividad de los untables de 50 °Brix.

El método de elaboración fue la variable que influyó en mayor medida sobre los parámetros de textura de los untables de 50 °Brix (tabla IV.16), no obstante, el tipo de azúcar y el % de pectina también obtuvieron un Cociente-F relevante, por lo que la modelización de los parámetros de consistencia y adhesividad se va a realizar en base a las tres variables de proceso.

Tabla IV.16. Valores del cociente-F obtenidos a partir del análisis de la varianza factorial (ANOVA) para los parámetros de textura de los untables de tomate de 50 °Brix en función de las variables de proceso.

Variables	Cociente-F	
	Consistencia	Adhesividad
A: Azúcar	376,59***	672,90***
B: Elaboración	1158,40***	1520,87***
C: % Pectina	400,99***	1062,88***
AxB	85,96***	123,01***
AxC	5,67***	6,95***
BxC	23,44***	39,81***

NS: diferencias no significativas estadísticamente (p-valor \geq 0,05).

*p-valor < 0,05; ** p-valor < 0,01; ***p-valor < 0,001.

En la figura IV.14 se han representado los valores de consistencia obtenidos para los distintos untables de 50 °Brix, según las variables de proceso, junto a sus modelos predictivos.

Los resultados mostraron una clara superioridad de la consistencia de los untables elaborados con los métodos de elaboración H y S2, y con la mezcla sacarosa-glucosa (SG), siendo este efecto más evidente para el nivel más alto de pectina (2 %).

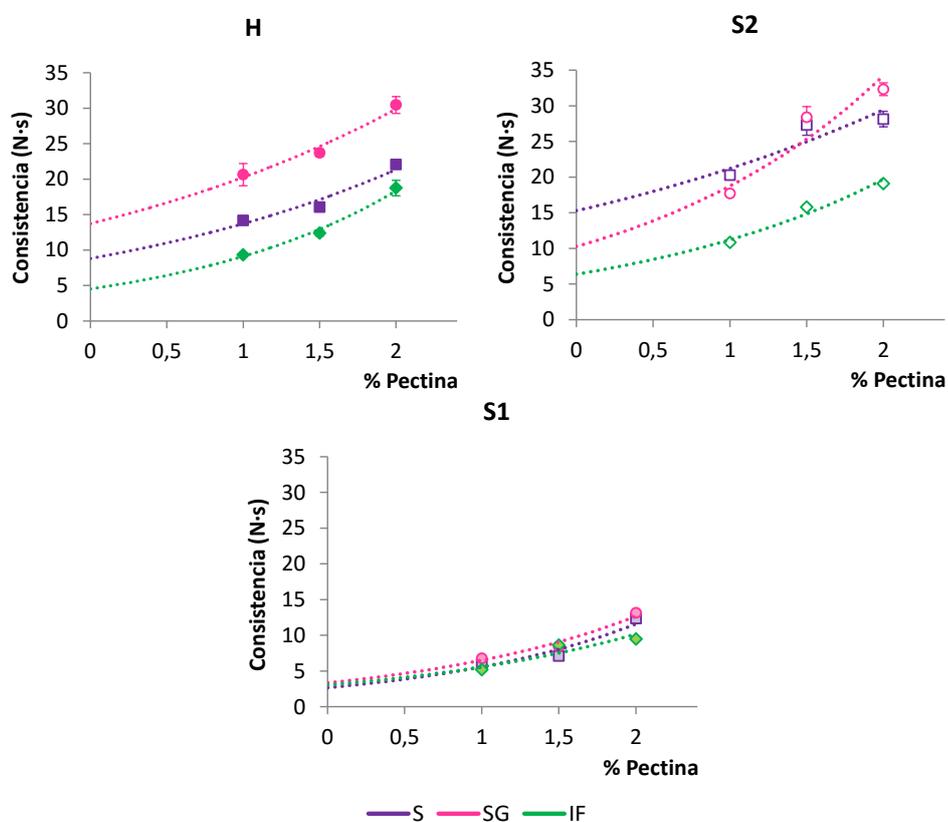


Figura IV.14. Valores experimentales de la consistencia (N·s) de los untables de tomate de 50 °Brix, según el tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y el porcentaje de pectina (1, 1,5, 2 %), junto a sus modelos predictivos.

Los valores experimentales se ajustaron a una ecuación exponencial, considerando su predicción frente al porcentaje de pectina (ecuación IV.2). Los parámetros del modelo se encuentran recogidos en la tabla IV.17, agrupados en función del tipo de azúcar y del método de elaboración.

Tabla IV.17. Valores de los parámetros del modelo predictivo de la consistencia de los untables de tomate de 50 °Brix (C_0 y α), en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)) y del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).

	$C=C_0 e^{\alpha P}$		
	S	SG	IF
H (Ratio 60:40)	$C_0= 8,8120$	$C_0= 13,7229$	$C_0= 4,5245$
	$\alpha= 0,4425$	$\alpha= 0,3892$	$\alpha= 0,6997$
	$R^2= 0,941$	$R^2= 0,973$	$R^2= 0,989$
S1 (Ratio 25:75)	$C_0= 2,6859$	$C_0= 3,3483$	$C_0= 3,0504$
	$\alpha= 0,7314$	$\alpha= 0,6650$	$\alpha= 0,6018$
	$R^2= 0,919$	$R^2= 0,962$	$R^2= 0,865$
S2 (Ratio 60:40)	$C_0= 15,2766$	$C_0= 10,2659$	$C_0= 6,3751$
	$\alpha= 0,3280$	$\alpha= 0,6022$	$\alpha= 0,5639$
	$R^2= 0,819$	$R^2= 0,903$	$R^2= 0,966$

Ratio (Tomate deshidratado:Disolución osmótica).

P: % de pectina.

En líneas generales y al igual que en los untables de 20 °Brix, se observa que cuanto mayor es la proporción de tomate en la formulación del untable, mayor es el valor de la consistencia del mismo sin pectina (C_0) y a su vez, menor es el efecto que la pectina tiene sobre el aumento de la consistencia (α).

La adhesividad de los untables, también presentó una relación exponencial con el porcentaje de pectina (ecuación IV.3), dependiendo del tipo de azúcar y el método de elaboración (figura IV.15).

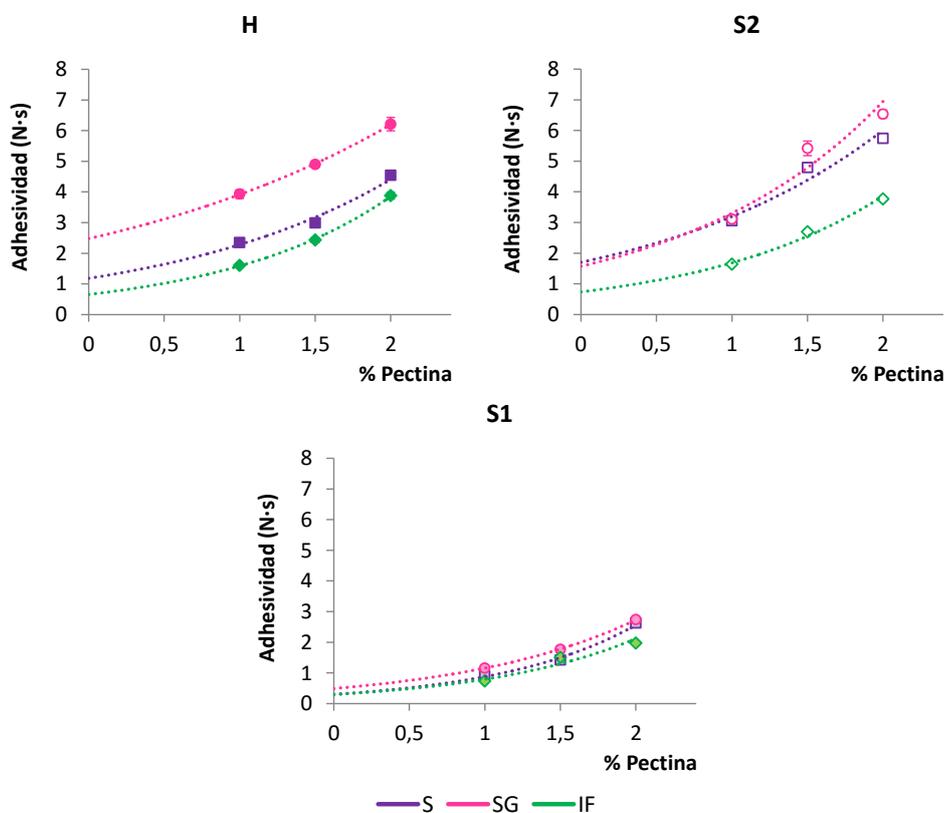


Figura IV.15. Valores experimentales de la adhesividad (N·s) de los untables de tomate de 50 °Brix, según el tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y el porcentaje de pectina (1, 1,5, 2 %), junto a sus modelos predictivos.

Como ya se ha comentado con anterioridad la consistencia y adhesividad siguieron la misma tendencia, obteniéndose los mayores valores de adhesividad con la mezcla sacarosa-glucosa (SG), y los métodos de elaboración H y S2.

Tabla IV.18. Valores de los parámetros del modelo predictivo de la adhesividad de los untables de tomate de 50 °Brix (A_0 y β), en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)) y del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).

	$A=A_0 e^{\beta P}$		
	S	SG	IF
H (Ratio 60:40)	$A_0= 1,1797$	$A_0= 2,4756$	$A_0= 0,6533$
	$\beta= 0,6593$	$\beta= 0,4586$	$\beta= 0,8868$
	$R^2= 0,976$	$R^2= 1,000$	$R^2= 0,999$
S1 (Ratio 25:75)	$A_0= 0,3003$	$A_0= 0,4893$	$A_0= 0,2953$
	$\beta= 1,0716$	$\beta= 0,8598$	$\beta= 0,9856$
	$R^2= 0,993$	$R^2= 1,000$	$R^2= 0,937$
S2 (Ratio 60:40)	$A_0= 1,6992$	$A_0= 1,5711$	$A_0= 0,7338$
	$\beta= 0,6314$	$\beta= 0,7433$	$\beta= 0,8310$
	$R^2= 0,943$	$R^2= 0,924$	$R^2= 0,988$

Ratio (Tomate deshidratado:Disolución osmótica).

P: % de pectina.

Los parámetros del modelo muestran una clara influencia del tipo de azúcar sobre la adhesividad de los untables, obteniéndose los menores valores sin pectina añadida (A_0) en los untables elaborados con la mezcla isomaltulosa-fructosa (IF). Asimismo, los untables elaborados mediante S1, son los que presentan los mayores valores del parámetro β , es decir, mayor es el aumento de la adhesividad con la adición de pectina. Este hecho, se relacionaría principalmente con la mayor proporción de fase líquida en el sistema y confirmaría el efecto análogo de las variables de proceso sobre los dos parámetros de textura estudiados (consistencia y adhesividad).

IV.2.3. Influencia de las variables de proceso en las propiedades reológicas de los untables de tomate de 50 °Brix

IV.2.3.1. Ensayos estacionarios

Al igual que los untables de tomate de 20 °Brix, los resultados del comportamiento reológico de los productos de 50 °Brix obtuvieron el mejor ajuste con el modelo Herschel-Bulkley (ecuación IV.4), pudiéndose clasificar como fluidos pseudoplásticos (disminución de la viscosidad conforme aumenta la velocidad de deformación) (tabla 2.3 del anexo VI.2).

El análisis estadístico (ANOVA multifactorial) reveló la influencia significativa de todas las variables de proceso (tipo de azúcar, método de elaboración y % de pectina) sobre los parámetros reológicos (τ_0 , k, n) (tabla IV.19).

Tabla IV.19. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros reológicos de los untables de tomate de 50 °Brix en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y de los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).

		Azúcar		Elaboración		% Pectina
τ_0	S	14,7 (0,6) ^b	H	22,3 (0,6) ^b	1	14,0 (0,6) ^a
	SG	26,6 (0,6) ^c	S1	4,2 (0,6) ^a	1,5	16,9 (0,6) ^b
	IF	11,2 (0,6) ^a	S2	26,0 (0,6) ^c	2	21,7 (0,6) ^c
k	S	21,0 (0,9) ^b	H	25,6 (0,9) ^b	1	10,1 (0,9) ^a
	SG	23,9 (0,9) ^c	S1	11,5 (0,9) ^a	1,5	20,7 (0,9) ^b
	IF	17,3 (0,9) ^a	S2	25,2 (0,9) ^b	2	31,5 (0,9) ^c
n	S	0,391 (0,012) ^b	H	0,359 (0,012) ^a	1	0,447 (0,012) ^b
	SG	0,362 (0,012) ^a	S1	0,513 (0,012) ^b	1,5	0,393 (0,012) ^a
	IF	0,457 (0,012) ^c	S2	0,337 (0,012) ^a	2	0,370 (0,012) ^a

Valores entre paréntesis: error estándar.

Coherentemente con los resultados de las propiedades mecánicas, los untables elaborados con la mezcla sacarosa-glucosa (SG), fueron los que alcanzaron mayores valores de esfuerzo umbral (τ_0) e índice de consistencia (k), mientras que aquellos elaborados con la mezcla isomaltulosa-fructosa (IF), obtuvieron los menores valores de estos parámetros y a su vez, los mayores índices de fluidez (n).

Por otra parte, H y S2 (ratio tomate deshidratado:disolución osmótica 60:40) fueron los métodos de elaboración que confirieron mayor firmeza al producto final, siendo además S2, el que obtuvo mayor esfuerzo umbral (τ_0).

Por último, mencionar el papel de la adición de pectina en las propiedades reológicas de los untables, aumentando los parámetros relacionados con la consistencia (τ_0 , k) y disminuyendo su fluidez (n).

En la tabla IV.20 se recogen los valores del cociente-F para los parámetros del modelo Herschel-Bulkley (τ_0 , k, n) obtenidos en el análisis estadístico.

Tabla IV.20. Valores del cociente-F obtenidos a partir del análisis de la varianza factorial (ANOVA) para los parámetros del modelo Herschel-Bulkley obtenidos para los untables de tomate de 50 °Brix en función de las variables de proceso.

Variables	Cociente-F		
	τ_0	k	n
A: Azúcar	156,98***	11,38***	24,39***
B: Elaboración	326,41***	66,47***	95,15***
C: % Pectina	36,28***	117,37***	16,46***
AxB	48,24***	4,52**	10,94***
AxC	1,11 ^{NS}	2,49 ^{NS}	2,33 ^{NS}
BxC	3,99**	4,64**	0,84 ^{NS}

NS: diferencias no significativas estadísticamente (p-valor \geq 0,05).

*p-valor < 0,05; ** p-valor < 0,01; ***p-valor < 0,001.

Las 3 variables de proceso (tipo de azúcar, método de elaboración y % de pectina) influyeron de forma significativa sobre los parámetros

reológicos. Sin embargo, se pueden establecer diferencias en cuanto a la importancia de cada variable sobre el resultado final. El método de elaboración fue la variable con mayor influencia sobre el esfuerzo umbral y el índice de fluidez, mientras que el porcentaje de pectina, fue la que influyó en mayor medida sobre el índice de consistencia.

Como en el caso de los untables de 20 °Brix, los parámetros reológicos obtenidos para los productos de 50 °Brix, fueron ajustados a una función exponencial con dos parámetros (ecuaciones IV.5, IV.6 y IV.7). En este caso, los resultados fueron modelizados de acuerdo a las tres variables de proceso (figuras IV.16, IV.17 y IV.18).

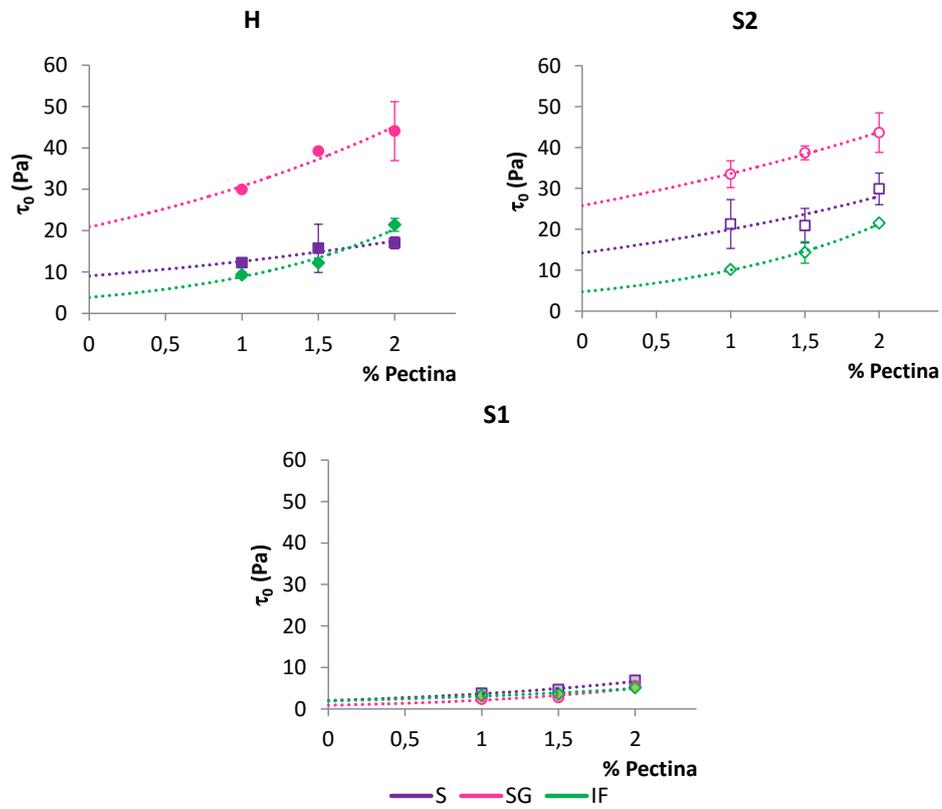


Figura IV.16. Valores experimentales del esfuerzo umbral (τ_0) del modelo Herschel-Bulkley para los untables de tomate de 50 °Brix, en función de las variables de proceso, junto a sus modelos predictivos.

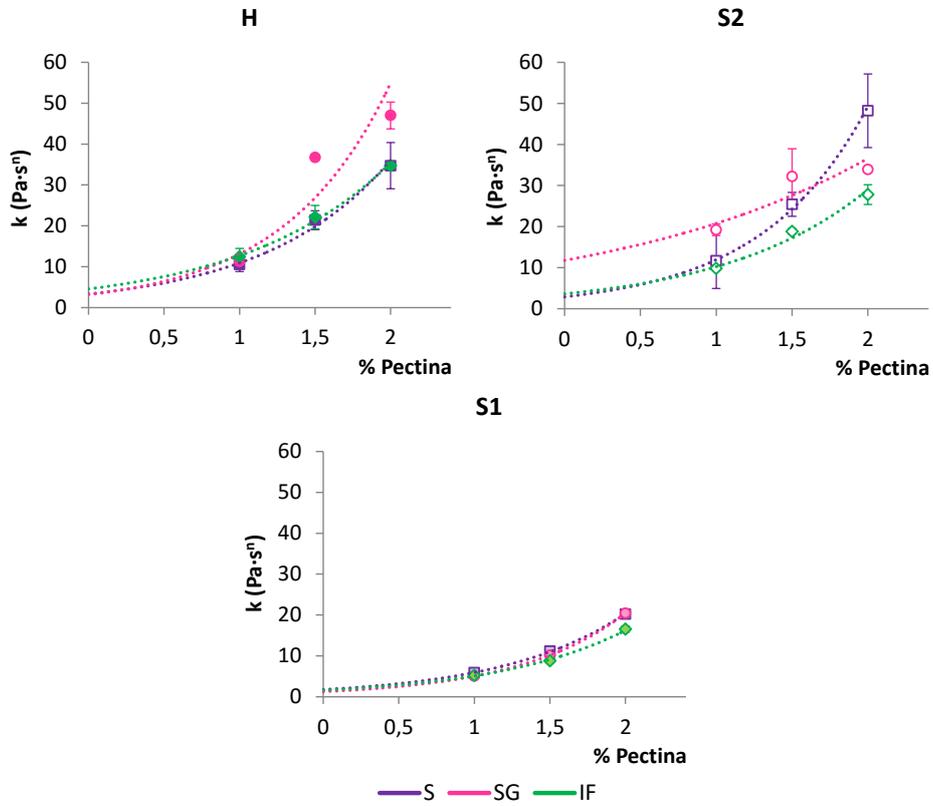


Figura IV.17. Valores experimentales del índice de consistencia (k) del modelo Herschel-Bulkley para los untables de tomate de 50 °Brix, en función de las variables de proceso, junto a sus modelos predictivos.

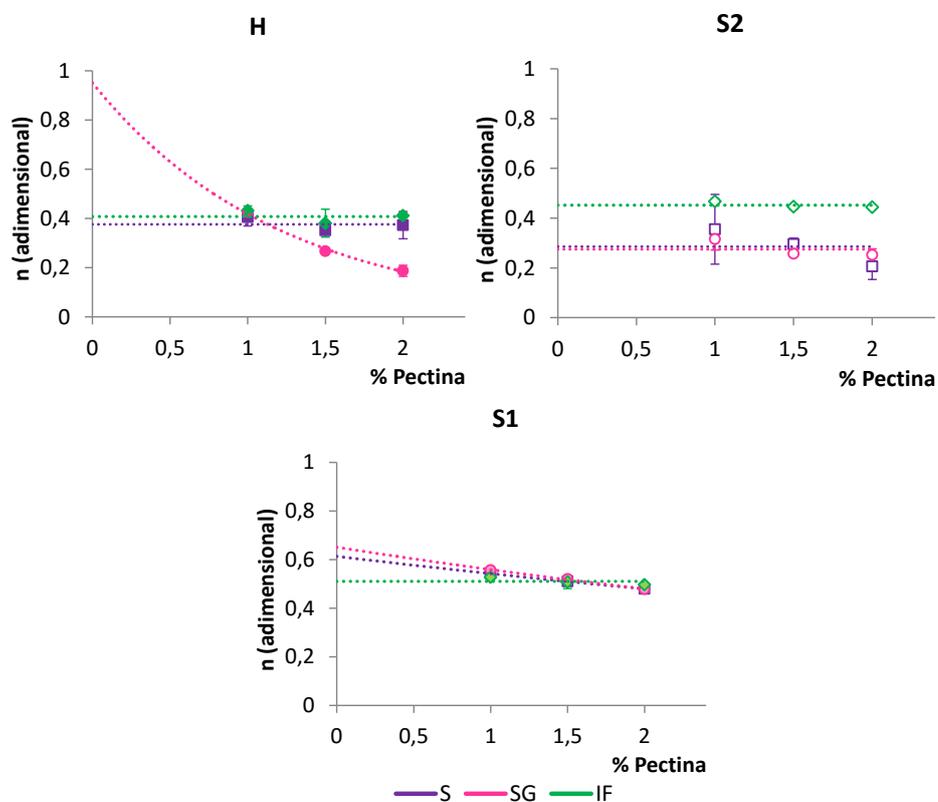


Figura IV.18. Valores experimentales del índice de comportamiento al flujo (n) del modelo Herschel-Bulkley para los untables de tomate de 50 °Brix, en función de las variables de proceso, junto a sus modelos predictivos.

En líneas generales, se observa como al aumentar el porcentaje de pectina, aumentan también los valores del umbral de fluencia y del índice de consistencia para todos los azúcares y métodos de elaboración. Sin embargo, aunque la tendencia del índice de comportamiento del flujo es a disminuir con el aumento del porcentaje de pectina (tabla IV.21), se establecen diferencias dependiendo del azúcar y del método de elaboración utilizados. Como es el caso de la isomaltulosa-fructosa, donde “ n ” se mantiene constante para todo el rango del porcentaje de pectina.

Tabla IV.21. Valores de los parámetros de los modelos predictivos para los parámetros del modelo reológico Herschel-Bulkley (τ_o , k , n) de los untables de tomate de 50 °Brix, en función de las distintas variables de proceso.

H			
(deshidratación por vía húmeda, ratio fruta:disolución 60:40)			
	Sacarosa	Sacarosa-Glucosa	Isomaltulosa-Fructosa
$\tau_o = \tau'_o e^{\rho P}$	$\tau'_o = 9,0279$	$\tau'_o = 20,8855$	$\tau'_o = 3,8456$
	$\rho = 0,3311$	$\rho = 0,3860$	$\rho = 0,8336$
	$R^2 = 0,917$	$R^2 = 0,950$	$R^2 = 0,961$
$k = k_o e^{\pi P}$	$k_o = 3,3087$	$k_o = 3,1402$	$k_o = 4,5360$
	$\pi = 1,1939$	$\pi = 1,4311$	$\pi = 1,0278$
	$R^2 = 0,989$	$R^2 = 0,875$	$R^2 = 0,995$
$n = n_o e^{\mu P}$	$n = 0,38 \pm 0,02$	$n_o = 0,9512$	$n = 0,41 \pm 0,03$
		$\mu = -0,8220$	
		$R^2 = 0,994$	
S1			
(deshidratación por vía seca, ratio fruta:disolución 25:75)			
	Sacarosa	Sacarosa-Glucosa	Isomaltulosa-Fructosa
$\tau_o = \tau'_o e^{\rho P}$	$\tau'_o = 2,0064$	$\tau'_o = 0,8801$	$\tau'_o = 1,9384$
	$\rho = 0,5981$	$\rho = 0,8748$	$\rho = 0,4631$
	$R^2 = 0,970$	$R^2 = 0,8840$	$R^2 = 0,907$
$k = k_o e^{\pi P}$	$k_o = 1,7346$	$k_o = 1,2425$	$k_o = 1,6015$
	$\pi = 1,2315$	$\pi = 1,4000$	$\pi = 1,1586$
	$R^2 = 1,000$	$R^2 = 1,000$	$R^2 = 0,997$
$n = n_o e^{\mu P}$	$n_o = 0,6132$	$n_o = 0,6506$	$n = 0,511 \pm 0,015$
	$\mu = -0,1230$	$\mu = -0,1524$	
	$R^2 = 1,000$	$R^2 = 0,995$	
S2			
(deshidratación por vía seca, ratio fruta:disolución 60:40)			
	Sacarosa	Sacarosa-Glucosa	Isomaltulosa-Fructosa
$\tau_o = \tau'_o e^{\rho P}$	$\tau'_o = 14,2213$	$\tau'_o = 25,7937$	$\tau'_o = 4,7082$
	$\rho = 0,3396$	$\rho = 0,2646$	$\rho = 0,7545$
	$R^2 = 0,708$	$R^2 = 0,997$	$R^2 = 0,998$
$k = k_o e^{\pi P}$	$k_o = 2,8857$	$k_o = 11,7753$	$k_o = 3,5963$
	$\pi = 1,4192$	$\pi = 0,5673$	$\pi = 1,0439$
	$R^2 = 0,997$	$R^2 = 0,817$	$R^2 = 0,979$
$n = n_o e^{\mu P}$	$n = 0,29 \pm 0,08$	$n = 0,27 \pm 0,04$	$n = 0,452 \pm 0,013$

P: % de pectina.

La figura IV.19 permite analizar gráficamente la bondad del ajuste de los modelos establecidos, a través de la distribución de los valores predichos frente a los observados.

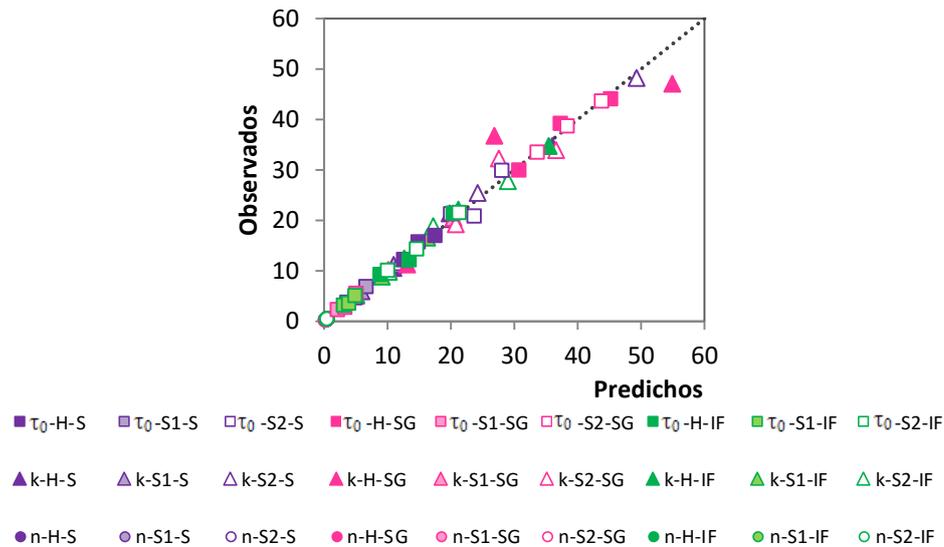


Figura IV.19. Comprobación de los modelos propuestos para la predicción de los parámetros del modelo reológico Herschel-Bulkley (τ_0 , k, n) de los untables de tomate de 50 °Brix.

IV.2.3.2. Ensayos oscilatorios

Los valores del módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdidas (G'') obtenidos en las pruebas oscilatorias para los untables de tomate de 50 °Brix, fueron ajustados, al igual que los untables de 20 °Brix, a modelos potenciales en función de la frecuencia ensayada (ecuaciones IV.8 y IV.9). Los parámetros de dichos modelos, así como la bondad del ajuste (R^2), se pueden consultar en las tablas 2.4a y 2.4b del anexo VI.2.

Las constantes de los modelos, k' y k'' , relacionadas principalmente con la magnitud de G' y G'' respectivamente, se ven fuertemente influenciadas por todas las variables de proceso (tabla IV.22). En este sentido, los mayores valores de estos parámetros se obtienen con la mezcla de

azúcares sacarosa-glucosa, los métodos de elaboración H y S2 (ratio fruta:disolución 60:40), siendo mayor k' para el método S2 (vía seca), y con los mayores porcentajes de pectina. La variable con mayor influencia sobre n' y n'' fue el método de elaboración, obteniéndose como cabía esperar, mayores valores para S1 (vía seca/ratio fruta:disolución 25:75).

Tabla IV.22. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros del modelo potencial (G' y G'') de los untables de tomate de 50 °Brix en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y de los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).

	Azúcar	Elaboración	% Pectina
k'	S	H	1060 (53) ^a
	SG	S1	1111 (53) ^a
	IF	S2	1582 (53) ^b
n'	S	H	0,327 (0,008) ^a
	SG	S1	0,348 (0,008) ^{ab}
	IF	S2	0,356 (0,008) ^b
k''	S	H	464 (18) ^a
	SG	S1	518 (18) ^b
	IF	S2	677 (18) ^c
n''	S	H	0,323 (0,006) ^a
	SG	S1	0,339 (0,006) ^a
	IF	S2	0,326 (0,006) ^a

Valores entre paréntesis: error estándar.

En la figura IV.20 se ha representado la dependencia de los valores de G' y G'' con la frecuencia de ensayo (w), para los untables de tomate elaborados con 2 % de pectina.

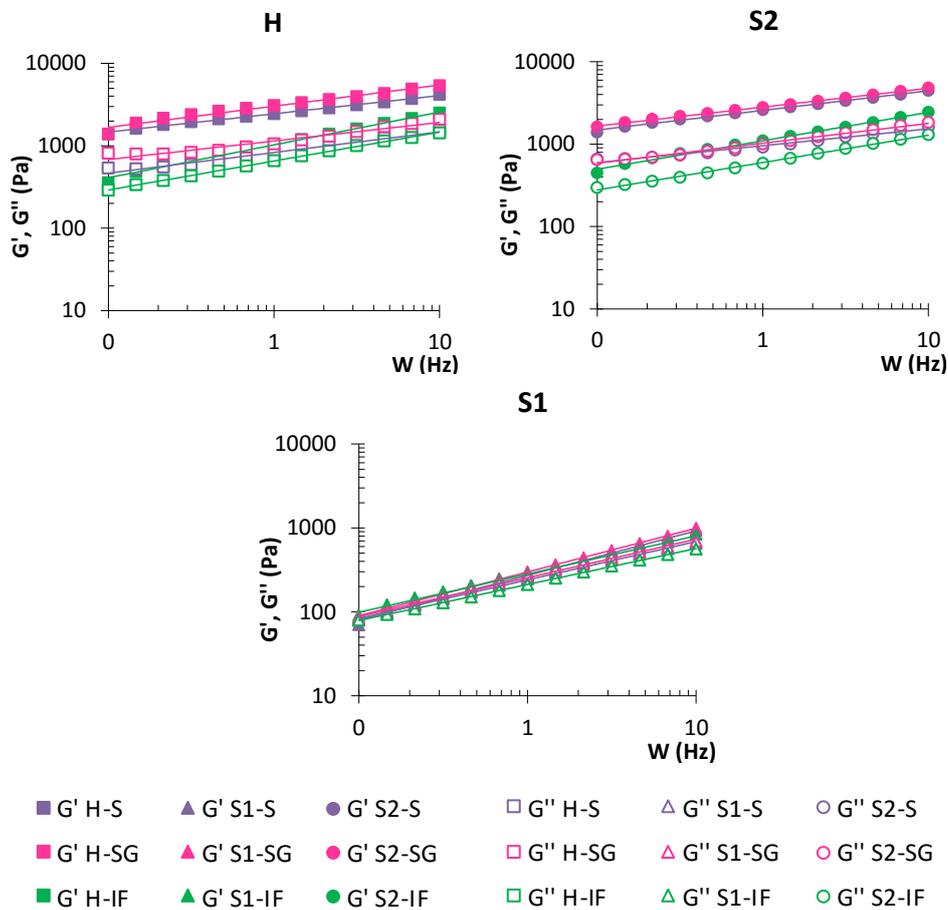


Figura IV.20. Barridos de frecuencia de G' y G'' para los untables de tomate de 50 °Brix con 2 % de pectina, según el tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)) y el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).

En primer lugar, cabe destacar la diferencia existente entre los diferentes métodos de elaboración. En el caso de H y S2, el material exhibe un comportamiento típico de un gel, con mayor componente elástico que viscoso ($G' > G''$); mientras que en el caso de S1, estos dos componentes son prácticamente iguales, comportándose el alimento, como una disolución concentrada ($G' = G''$). Este hecho se ve reflejado también, en la mayor dependencia de los módulos G' y G'' con la frecuencia, en los

untables elaborados con S1 (mayor pendiente). Estos resultados se corresponden principalmente con la menor proporción fruta:disolución de S1 (25:75) respecto H y S2 (60:40), no siendo suficientes los niveles de pectina utilizados para su gelificación.

Por otra parte, y como ya se ha comentado en los resultados estadísticos, los mayores valores de G' y G'' se obtuvieron con la mezcla sacarosa-glucosa, relacionándose con una muestra más estructurada y elástica (Igual *et al.*, 2010).

Como en el caso de los untables de 20 °Brix, los untables de 50 °Brix elaborados mediante H y S2 también presentaron un cociente $G'/G'' < 10$, pudiéndose clasificar como geles débiles. En la tabla 2.5 del anexo VI.2 se recogen los parámetros obtenidos para estos untables del modelo de caracterización de un gel débil (ecuación IV.10).

El análisis estadístico (tabla IV.23) señaló diferencias significativas entre los azúcares utilizados, siendo IF la mezcla con los menores valores de “A” (resistencia a la deformación) y “z” (número de coordinación), relacionándose con una estructura más débil.

En cuanto al método de elaboración, S2 fue el proceso que obtuvo los mayores valores de “A” y “z”, confirmando las diferencias existentes entre la vía seca y la vía húmeda a la hora de formular los untables.

Por último, los mayores valores de “A”, se alcanzaron con el nivel más alto del porcentaje de pectina (2 %). Sin embargo, esta variable no afectó de forma significativa al valor de “z”.

Estos resultados estarían en concordancia con los obtenidos en el resto de los ensayos de reología y textura.

Tabla IV.23. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros del modelo “gel débil” (A y z) de los untables de tomate de 50 °Brix en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y de los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).

		Azúcar		Elaboración		% Pectina
A	S	2129 (73) ^b	H	1729 (60) ^a	1	1637 (73) ^a
	SG	2469 (73) ^c			1,5	1693 (73) ^a
	IF	1137 (73) ^a	S2	2094 (60) ^b	2	2406 (73) ^b
z	S	3,87 (0,09) ^b	H	3,16 (0,08) ^a	1	3,67 (0,09) ^a
	SG	3,86 (0,09) ^b			1,5	3,49 (0,09) ^a
	IF	3,18 (0,09) ^a	S2	4,11 (0,08) ^b	2	3,74 (0,09) ^a

Valores entre paréntesis: error estándar.

Resultados similares fueron obtenidos en untables de fresa de 50 °Brix con las mismas variables de proceso, a excepción del método de elaboración; en este caso, H fue el proceso que alcanzó los mayores valores de “A” y “z” (Peinado *et al.*, 2012).

En la figura IV.21 se ha representado la dependencia del módulo complejo (G^*) a la frecuencia aplicada (w), de los untables elaborados mediante H y S2, representados en la figura IV.20 (2 % de pectina).

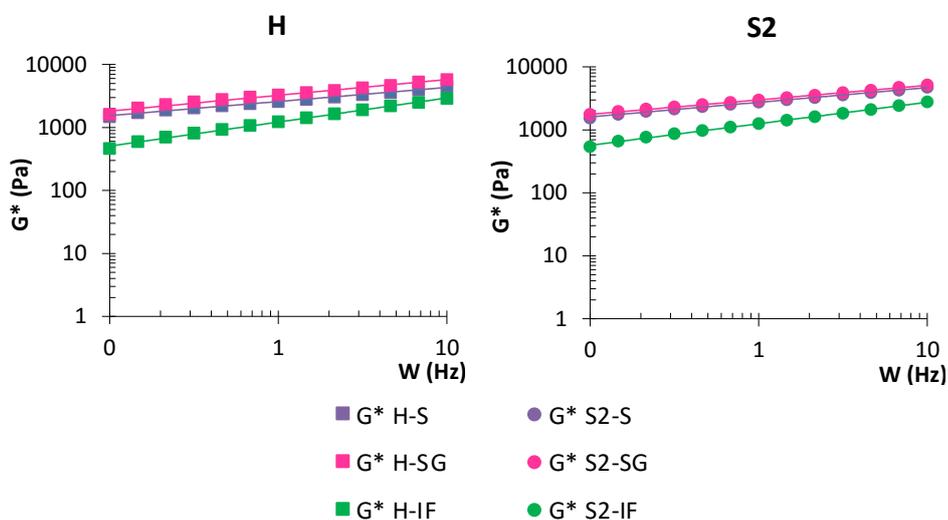


Figura IV.21. Barridos de frecuencia de G^* para los untables de tomate de 50 °Brix con 2 % de pectina, según el tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)) y el método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida).

IV.2.3.3. La regla de Cox-Merz

La figura IV.22 muestra el gráfico de la aplicación de la regla de Cox-Merz (ecuación IV.11) en los untables de tomate de 50 °Brix.

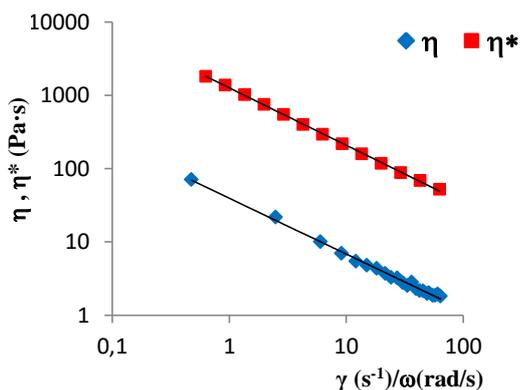


Figura IV.22. Aplicación de la regla de Cox-Merz a los untables de tomate de 50 °Brix, siendo η : viscosidad en estado estacionario y η^* : viscosidad compleja.

Como en el caso de los untables de tomate de 20 °Brix, los untables de 50 °Brix tampoco cumplen la regla originaria de Cox-Merz, por lo que se va a aplicar tanto su modificación lineal (ecuación IV.12), como no-lineal (ecuación IV.13) para ver qué modelo se ajusta mejor a los datos experimentales (ecuación IV.14).

Finalmente, el modelo no-lineal fue el que obtuvo el mejor ajuste. Como ya se ha comentado de forma extensa en el capítulo IV.1 de la tesis, la aplicación de esta modificación de la regla, se ha llevado a cabo con éxito en numerosos estudios de alimentos. Los valores de los parámetros del modelo y su ajuste, pueden ser consultados en las tablas 2.6 y 2.7 del anexo VI.2, respectivamente.

En la tabla IV.24 se recogen los diferentes grupos homogéneos establecidos por el análisis estadístico (ANOVA multifactorial), para los parámetros C y α del modelo no-lineal de Cox-Merz, en función de las distintas variables de proceso.

Tabla IV.24. Grupos homogéneos identificados a partir del análisis de la varianza factorial (nivel de confianza del 95 %) para los parámetros de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz obtenidos para los untables de tomate de 50 °Brix en función del tipo de azúcar (S: sacarosa; SG: sacarosa-glucosa (50:50 (p/p)); IF: isomaltulosa-fructosa (50:50 (p/p)), del método de elaboración (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; ; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y de los diferentes porcentajes de pectina (1, 1,5 y 2 %).

	Azúcar		Elaboración		% Pectina	
C	S	25,1 (1,8) ^b	H	27,3 (1,8) ^b	1	30,0 (1,8) ^b
	SG	24,9 (1,8) ^b	S1	8,5 (1,8) ^a	1,5	19,1 (1,8) ^a
	IF	14,2 (1,8) ^a	S2	28,5 (1,8) ^b	2	15,1 (1,8) ^a
α	S	1,16 (0,04) ^{ab}	H	1,07 (0,04) ^a	1	1,10 (0,04) ^a
	SG	1,09 (0,04) ^a	S1	1,29 (0,04) ^b	1,5	1,16 (0,04) ^a
	IF	1,25 (0,04) ^b	S2	1,13 (0,04) ^a	2	1,24 (0,04) ^a

Valores entre paréntesis: error estándar.

La regla originaria de Cox-Merz no suele cumplirse en sistemas muy estructurados, por lo que puede constituir un criterio para distinguir entre disoluciones poliméricas o agregados de tamaño similar y sistemas estructurados (Fernández, 2008). Asimismo, Augusto *et al.* (2012) señaló que el no-ajuste de la regla de Cox-Merz para dispersiones complejas se atribuía a la ruptura estructural debida a la gran deformación aplicada (Ahmed & Ramaswamy, 2006b), a la presencia de entrecruzamientos de alta densidad o al desarrollo de una estructura y agregación intermolecular en disolución (Da Silva & Rao, 1992). Esto podría explicar porque los untables de tomate “más estructurados”, es decir, aquellos elaborados con sacarosa y sacarosa-glucosa, presentarían mayores valores del parámetro “C”, ya que una vez se consigue romper su estructura durante los ensayos estacionarios, la diferencia entre la viscosidad aparente y compleja se acentúa. Por el mismo motivo, el método S1, donde no se ha llegado a gelatinizar el producto (comportamiento de disolución concentrada), presentaría los menores valores para dicho parámetro.

Por otra parte, y como ya se señaló en los untables de 20 °Brix, un menor porcentaje de pectina conlleva una estructura más débil y por tanto, una mayor ruptura de los enlaces cuando la muestra es sometida a una determinada deformación, lo cual se ve reflejado en los mayores valores de “C”, para el nivel más bajo de pectina (1 %).

El parámetro “ α ”, en cambio, no estaría tan influenciado por las variables de proceso como “C” y sólo se podrían establecer diferencias significativas para el método de elaboración, donde los mayores valores de “ α ” se dan para S1.

En la figura IV.23 se muestran de nuevo la viscosidad aparente (η) y la viscosidad compleja (η^*) representadas en la figura IV.22 aplicando, en

este caso, la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz. Se puede comprobar el buen ajuste entre ambas viscosidades confirmándose que las propiedades reológicas de los untables de tomate de 50 °Brix se podrían predecir unas, a partir de las otras. Este hecho, permitiría la estimación de la viscosidad aparente, en aquellos productos en los que su medida inmediata resultase dificultosa, siendo de gran interés para las industrias de proceso y desarrollo de productos alimentarios (Fernández, 2008).

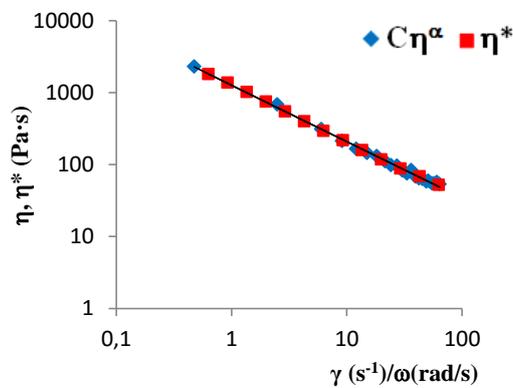


Figura IV.23. Aplicación de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz a los untables de tomate de 50 °Brix, siendo η : viscosidad en estado estacionario y η^* viscosidad compleja.

IV.2.4. Conclusiones relacionadas con el color, la textura y la reología de los productos untables de tomate de 50 °Brix

- ~ Los menores valores de a_w , se obtuvieron en aquellos productos formulados únicamente con sacarosa. A su vez, al comparar las dos mezclas de azúcares estudiadas (sacarosa-glucosa e isomaltulosa-fructosa), los productos formulados con la mezcla isomaltulosa-fructosa fueron los que consiguieron una mayor depresión de la a_w .
- ~ En relación a las propiedades ópticas, en general, no se aprecian grandes diferencias de color (ΔE) de los productos elaborados, respecto al tomate fresco. Los untables que presentaron menores diferencias de color, fueron aquellos elaborados con sacarosa mediante deshidratación osmótica por vía húmeda (H). Sin embargo, los untables elaborados mediante vía seca sin eliminar fase líquida (S1), fueron los que obtuvieron mayor luminosidad, independientemente del azúcar utilizado.
- ~ Respecto a las propiedades mecánicas, los productos elaborados con la mezcla sacarosa-glucosa, fueron los que obtuvieron los mayores valores de consistencia y adhesividad, mientras que aquellos elaborados con isomaltulosa-fructosa, presentaron los valores más bajos. Asimismo y como cabía esperar, los untables elaborados mediante S1, donde se utiliza en su totalidad la disolución osmótica generada en el proceso de deshidratación, es el método que obtuvo los menores valores de estos parámetros.
- ~ Las curvas de los parámetros de textura fueron modelizadas satisfactoriamente mediante ecuaciones de tipo exponencial, en función de las variables de proceso: azúcar utilizado, método de elaboración y % de pectina.
- ~ De acuerdo a los resultados de los ensayos reológicos estacionarios, los untables de tomate de 50 °Brix siguen el modelo Herschel-Bulkley, siendo necesario un esfuerzo mínimo de fluencia (τ_0) y pudiéndose clasificar como fluidos pseudoplásticos ($n < 1$).
- ~ Coherentemente con los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos (consistencia y adhesividad), los untables obtenidos con la mezcla isomaltulosa-fructosa y el método de elaboración S1, fueron los que presentaron los menores valores del índice de consistencia (k) y mayores grados de fluencia (n). Asimismo y

como cabía esperar, según aumentó el % de pectina, aumentaron los valores de esfuerzo umbral y consistencia, y disminuyó el índice de fluencia.

- ↻ Ecuaciones predictivas de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley, fueron calculadas en función de las variables de proceso: tipo de azúcar, método de elaboración y % de pectina, obteniéndose un buen ajuste a un modelo exponencial. En determinados casos, para el grado de fluidez “n”, dependiendo del tipo de azúcar y el método de elaboración, se pudieron establecer valores fijos, independientemente del % de pectina.
- ↻ Los ensayos reológicos oscilatorios revelaron un comportamiento típico de un gel débil ($G' > G''$) para los untables de tomate elaborados mediante H y S2 (ratio fruta:disolución 60:40). Sin embargo, los productos elaborados mediante S1, se comportaron como una disolución concentrada ($G' = G''$).
- ↻ Tras la modelización de las curvas G' y G'' , y en concordancia con los resultados obtenidos en los ensayos estacionarios y de textura, se pudo concluir, que los untables con una red más estructurada y elástica fueron aquellos elaborados con la mezcla sacarosa-glucosa, mediante el método de elaboración S2 (vía seca/ratio fruta:disolución 60:40) y con el mayor % de pectina en su formulación.
- ↻ La mezcla isomaltulosa-fructosa es la que obtiene los productos con menor consistencia. Sin embargo, una vez establecidos los valores de textura deseados por el consumidor, el % de pectina, junto con otras variables importantes en el procesado de esta clase de productos, podrían ser optimizadas con el fin de elaborar un producto saludable, de bajo índice glicémico, mediante el método de elaboración más ventajoso, S1 (menores tiempos de preparación y menores residuos originados).
- ↻ Los untables de tomate de 50 °Brix, siguieron la regla modificada de Cox-Merz, pudiéndose establecer una relación no-lineal entre la viscosidad aparente y compleja de los mismos.

IV.3. OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN POR VÍA SECA DE PRODUCTOS UNTABLES DE TOMATE DE 50 °BRIX

En paralelo a esta tesis, se llevaron a cabo otros trabajos de investigación con los productos untables de 50 °Brix evaluados en el capítulo IV.2. De estos estudios cabe destacar el trabajo de Alcarria (2010), donde se concluye que el procedimiento de deshidratación osmótica por vía seca sin eliminar fase líquida (S1), permite obtener valores significativamente mayores de ácidos fenólicos y de licopeno, que mediante los otros dos métodos de elaboración (vía húmeda (H) y vía seca eliminando fase líquida (S2)). Los valores alcanzados para S1, fueron incluso, superiores a los del tomate fresco. Este resultado se explicaría porque durante la deshidratación por vía húmeda (H) tendría lugar la extracción de un mayor porcentaje de compuestos hidrosolubles, debido al gran volumen de agua añadido en la disolución inicial. Además, para la elaboración del untable, se elimina parte de esta disolución, por lo que se excluirían estos compuestos del producto final. Respecto a los compuestos liposolubles, podría ocurrir que como consecuencia de la ruptura de la membrana plasmática y las paredes celulares, los carotenoides, junto con el material celular, sean liberados fuera del citoplasma pasando a ocupar los espacios intercelulares (Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003; Heredia, 2008). De esta forma, parte de estos compuestos serían liberados y arrastrados a la disolución, que en el caso del método S1, es utilizada en su totalidad en la elaboración del untable.

Con respecto a la influencia del agente osmótico sobre los compuestos antioxidantes, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas sobre los ácidos fenólicos identificados en este trabajo (ácido cafeico, ácido p-cumárico y ácido ferúlico). A pesar de esto, cabría

destacar, que los mayores valores de estos compuestos se obtuvieron con la mezcla isomaltulosa-fructosa. Asimismo, los mayores valores para el licopeno se obtuvieron con la mezcla sacarosa-glucosa, así como con isomaltulosa-fructosa. En otro estudio donde se evaluó la influencia del tipo de azúcar (sacarosa e isomaltulosa-fructosa) sobre el contenido de licopeno y β -caroteno en la elaboración de los productos untables (Agustí, 2010), se observaron menores pérdidas durante el tratamiento térmico en aquellos productos formulados con la mezcla isomaltulosa-fructosa, tanto en licopeno, como en β -caroteno. Este hecho destacaría el papel protector de la combinación de la isomaltulosa con la fructosa, en comparación con las muestras elaboradas con sacarosa (Agustí, 2010).

Estos resultados, junto con los alcanzados en los capítulos anteriores de esta tesis (capítulos IV.1 y IV.2), han llevado a elegir el proceso de vía seca sin eliminación de fase líquida y la combinación isomaltulosa-fructosa para la optimización de un producto untable de tomate de 50 °Brix. Dada la limitada solubilidad de la isomaltulosa a temperatura ambiente (Kaga & Mizutani, 1985; Schiweck *et al.*, 1990), no es posible elaborar untables de 50 °Brix únicamente con este azúcar. Por este motivo, el máximo porcentaje de isomaltulosa empleado será de un 50 % con respecto al total de azúcares presentes en la formulación, siendo el resto fructosa.

Además del % de isomaltulosa, también se han tenido en cuenta, como variables de proceso, ingredientes habituales en esta clase de productos como son el % de pectina, el % de ácido cítrico y la concentración de sorbato potásico (ppm), así como el tiempo de tratamiento térmico. En la figura IV.24, se resume el plan experimental llevado a cabo para la optimización de la elaboración de los untables de tomate de 50 °Brix y se detallan las distintas variables de proceso.

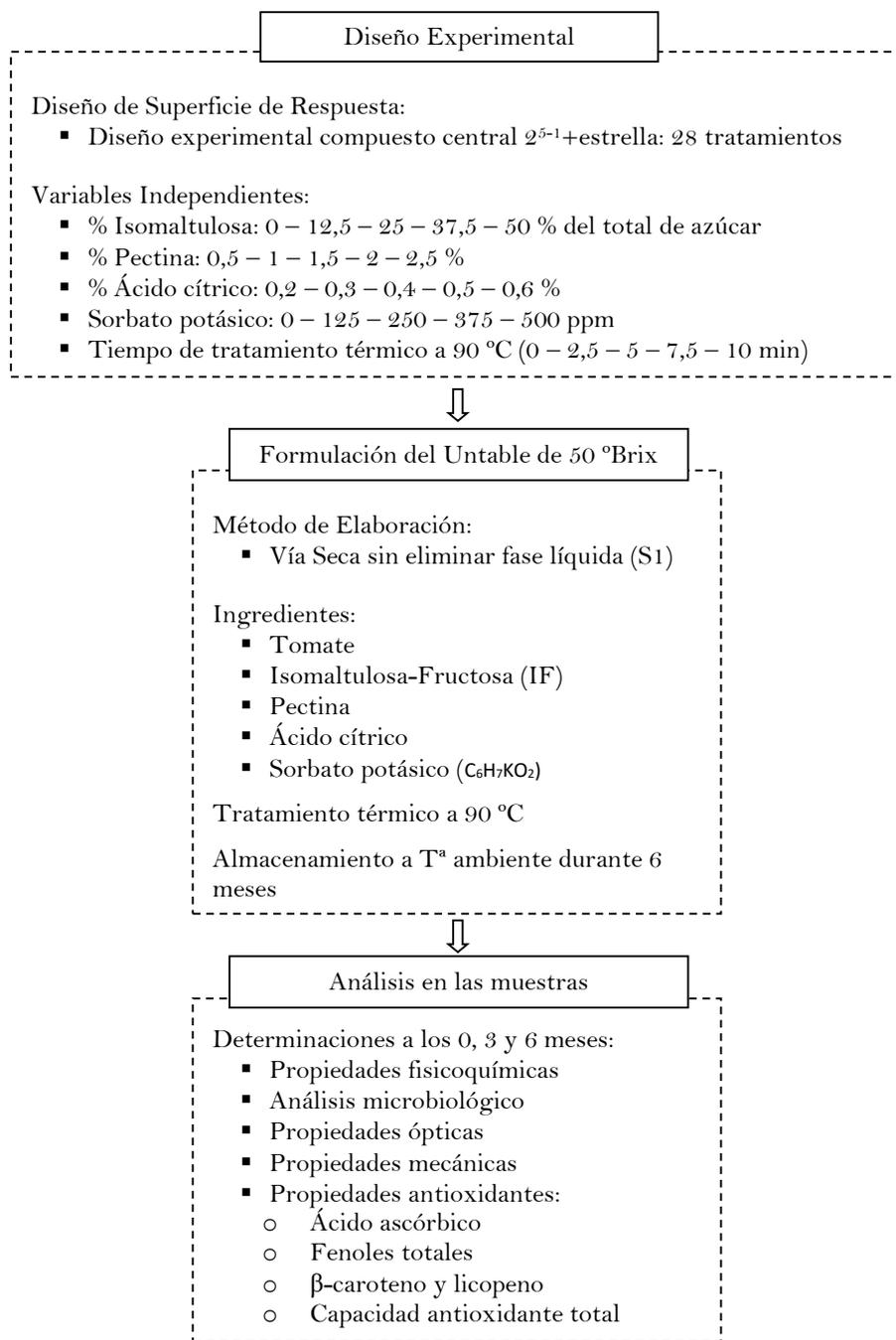


Figura IV.24 Esquema del plan experimental llevado a cabo para la optimización de productos untables de tomate de 50 °Brix.

IV.3.1. Caracterización de la materia prima

Para comprobar la homogeneidad de los lotes de partida, se determinó la actividad de agua (a_w), humedad (x_w), contenido en sólidos solubles (x^{ss}) y pH de la materia prima (tabla IV. 25).

Tabla IV.25. Composición fisicoquímica de los distintos lotes de tomate utilizados para la elaboración de los untables ($n = 3$).

Lotes	a_w	x^w	x^{ss}	pH
A	0,989 (0,002) ^{ab}	0,922 (0,002) ^a	0,0640 (0,0012) ^c	4,093 (0,012) ^c
B	0,988 (0,002) ^a	0,931 (0,002) ^{bc}	0,0650 (0,0006) ^{cd}	4,087 (0,006) ^{bc}
C	0,989 (0,002) ^{ab}	0,933 (0,002) ^c	0,0603 (0,0012) ^b	4,053 (0,012) ^a
D	0,992 (0,002) ^{bcd}	0,928 (0,005) ^b	0,0599 (0,0006) ^b	4,073 (0,006) ^b
E	0,990 (0,002) ^{abc}	0,9350 (0,0003) ^c	0,0597 (0,0012) ^b	4,183 (0,012) ^e
F	0,9947 (0,0006) ^d	0,921 (0,003) ^a	0,0658 (0,0006) ^d	4,167 (0,006) ^d
G	0,993 (0,003) ^{cd}	0,941 (0,004) ^d	0,0471 (0,0006) ^a	4,173 (0,006) ^{de}
Promedio	0,991 (0,003)	0,930 (0,007)	0,060 (0,006)	4,12 (0,05)

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas (nivel de confianza del 95 %).

El análisis estadístico de la varianza (ANOVA simple) reveló diferencias significativas ($p_{valor} < 0,05$) en los valores de actividad de agua (a_w), humedad (x^w), contenido en sólidos solubles (x^{ss}) y pH para los diferentes lotes, debido probablemente, a diferencias en el grado de madurez de los mismos. Estas diferencias se tuvieron en cuenta a la hora de ajustar las cantidades de los ingredientes para formular los productos.

Además de los parámetros fisicoquímicos de la materia prima, también se analizó su contenido en compuestos antioxidantes.

En la tabla IV.26 se recogen los valores obtenidos para el ácido ascórbico, los compuestos fenólicos, el licopeno, el β -caroteno y la capacidad antioxidante de los diferentes lotes de tomate fresco. El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($p_{valor} < 0,05$) entre los

diferentes lotes para el contenido de ácido ascórbico, fenoles totales, licopeno y la capacidad antioxidante. Sin embargo, no se establecieron diferencias significativas en el contenido de β -caroteno. Numerosos estudios demuestran que el contenido en compuestos antioxidantes varía significativamente dependiendo del estado de maduración, de la región, del tipo de cultivo, incluso de la época del año de la recolección del fruto (Martínez-Valverde *et al.*, 2002; Kozukue & Friedman, 2003; Helyes *et al.*, 2006; Raffo *et al.*, 2006; Zapata *et al.*, 2007; Heredia, 2008). A pesar de esta variabilidad, los valores obtenidos para los principales compuestos antioxidantes del tomate (licopeno, ácido ascórbico y compuestos fenólicos) están en concordancia con los reportados por otros autores (Ordoñez *et al.*, 2009; Pérez-Conesa *et al.*, 2009).

Tabla IV.26. Valores de ácido ascórbico, fenoles totales, licopeno, β -caroteno y capacidad antioxidante para los diferentes lotes de tomate fresco (n = 3).

Lotes	Ácido ascórbico ¹	Fenoles totales ²	Licopeno ³	β -Caroteno ⁴	Capacidad antioxidante ⁵
A	17,3 (1,5) ^d	26,8 (0,5) ^c	7,9 (0,6) ^a	3,4 (0,4) ^a	44,9 (0,6) ^f
B	16,6 (1,3) ^d	30,388 (1,105) ^e	11,0 (0,5) ^b	3,8 (0,2) ^a	33,7 (0,8) ^c
C	11,5 (0,2) ^b	21,6 (1,2) ^b	8,3 (1,3) ^a	3,8 (0,4) ^a	30,2 (0,6) ^b
D	12,2 (0,8) ^b	21,9 (0,5) ^b	9,2 (1,8) ^{ab}	4,3 (0,3) ^a	32,9 (0,8) ^c
E	13,8 (0,5) ^c	28,4 (0,2) ^d	13,8 (0,9) ^c	3,1 (1,2) ^a	40,3 (1,2) ^e
F	14,1 (0,5) ^c	26,8 (1,2) ^c	9,8 (0,9) ^{ab}	3,5614 (1,1119) ^a	38,9 (0,8) ^d
G	9,8 (0,7) ^a	19,4 (0,5) ^a	-	-	27,1 (0,8) ^a
Promedio	14 (3)	25 (3)	10 (2)	3,6 (0,7)	35 (6)

¹mg ácido ascórbico/100 g tomate fresco; ²mg GAE/100 g tomate fresco; ³mg licopeno/100 g tomate fresco; ⁴mg β -caroteno/100 g tomate fresco; ⁵% de inhibición del DPPH.

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas (nivel de confianza del 95 %).

IV.3.2. Análisis de las propiedades fisicoquímicas de los productos untables

Las tablas 3.1a, 3.1b y 3.1c del anexo VI.3 recogen los datos de los parámetros fisicoquímicos obtenidos para los productos recién elaborados, que fueron analizados a las 24 horas de su formulación (tiempo 0), a los 3 meses de almacenamiento (tiempo 3) y tras 6 meses de almacenamiento (tiempo 6). Los datos de composición de los productos en términos de humedad (x^w) y contenido en sólidos solubles (x^{ss}) fueron similares entre los distintos productos con independencia de las variables de proceso, ya que fueron formulados para alcanzar una concentración final de 50 °Brix. En cambio, los valores de actividad de agua (a_w) y pH mostraron diferencias significativas ($p_{valor} < 0,05$) en función de las distintas variables de proceso, tal y como recoge la tabla 3.2 del anexo VI.3 en la que se resume el resultado del ANOVA.

Las variables que presentaron un efecto significativo sobre la a_w de los untables fueron el % de isomaltulosa y el % de pectina cuando los productos estaban recién elaborados, mientras que después de 3 y 6 meses de almacenamiento, la a_w sólo se vio influenciada por el % de isomaltulosa. La pectina está directamente relacionada con la red de gel que se forma al interaccionar con el agua y los azúcares del medio (Pagan, 1996), obteniéndose menores valores de a_w en aquellos productos con un mayor % de pectina. Sin embargo, la influencia de esta variable no persiste durante el almacenamiento, donde se observó que a mayor % de isomaltulosa, los productos presentaron mayor a_w . Este hecho se debería a que la fructosa, al ser un monosacárido con mayor solubilidad y penetrar mejor en la estructura del alimento, deprime más la a_w . Estos resultados coinciden con un trabajo anterior sobre untables de fresa donde se compararon productos elaborados con fructosa-isomaltulosa y sacarosa-

isomaltulosa, encontrándose los valores más bajos de a_w en aquellos donde se había utilizado fructosa en su formulación, en comparación con los untables formulados con sacarosa (Peinado, 2011).

Por otra parte, las variables que influyeron de forma significativa sobre el valor del pH de los untables fueron el % de ácido cítrico y el % de pectina, tanto de forma independiente como su interacción, siendo como cabía esperar, el % de ácido cítrico la de mayor peso en todos los casos.

Las diferencias de pH entre los distintos productos elaborados deberán tenerse en cuenta en el desarrollo final del producto, puesto que se trata de un parámetro directamente relacionado con la estabilidad y aceptación del producto por el consumidor.

IV.3.3. Análisis microbiológico de los productos untables

Actualmente no existe legislación referente a este tipo de productos untables, aunque en un primer momento se tomó como guía la legislación para confituras, jaleas, “marmalades” de frutas y crema de castañas (R.D. 863/03 del BOE 5-7-03). Sin embargo, esta legislación no recoge normas microbiológicas. Esto podría estar relacionado con las condiciones del propio producto, que no favorecen el desarrollo de patógeno tales como *Lysteria monocytogenes*, por presentar valores de a_w inferiores a 0,94 y pH inferior a 4,4. En el caso de los untables elaborados, todos los productos se encuentran por debajo de estos valores (tablas 3.1a, 3.1b y 3.1c del anexo VI.3).

Teniendo en cuenta que algunos de los productos untables de tomate no fueron sometidos a tratamiento térmico y por ser el tiempo de tratamiento térmico una de las variables a analizar en el diseño experimental, se consideró apropiado tomar como referencia la legislación referente a comidas preparadas y preparados alimenticios registrada en el

BOE 12/01/01 (R.D. 3484/2000). Este reglamento especifica que las comidas preparadas sin tratamiento térmico o con tratamiento térmico que lleven ingredientes no sometidos a tratamiento térmico, no superarán 1×10^5 ufc/g, aunque el resultado se considerará no satisfactorio si una o varias unidades que componen la muestra tienen un número de bacterias igual o mayor que 1×10^6 ufc/g. Sin embargo, este reglamento, aunque concreta los límites para aerobios mesófilos, no los proporciona para hongos y levaduras, los cuales, debido a su crecimiento lento y a su baja competitividad, se manifiestan en los alimentos donde el crecimiento bacteriano es menos favorable. Estas condiciones pueden ser, entre otras, bajos niveles de pH, baja humedad y un alto contenido en sales o carbohidratos (Camacho *et al.*, 2009). Por este motivo, se decidió también realizar la determinación de hongos y levaduras, además del recuento de aerobios mesófilos.

En ninguno de los tratamientos estudiados durante los 6 meses de almacenamiento se detectaron colonias de aerobios mesófilos, ni de hongos y levaduras. Esto podría deberse a varios factores que contribuirían a la estabilidad microbiológica. Uno de ellos es el elevado contenido en sólidos solubles, que permitió disminuir los valores de a_w con respecto a los del tomate fresco. Otros son el conservante añadido (sorbato potásico) y la incorporación de ácido cítrico en la formulación del producto para disminuir el pH, impidiendo la proliferación de microorganismos.

Dado que los productos elaborados sin tratamiento térmico, tampoco presentaron crecimiento de microorganismos, esto indicaría que los untables de tomate son estables desde el punto de vista microbiológico. Por tanto, no sería necesario someter al producto a un tratamiento térmico adicional a su envasado en caliente, ni conservarlo en

refrigeración para asegurar su estabilidad microbiológica dentro del periodo de almacenamiento estudiado.

IV.3.4. Análisis de las propiedades ópticas de los productos untables

Uno de los atributos principales en la aceptación de un producto es el color, siendo el aspecto externo, la primera característica en la que va a basar el consumidor su elección. En este sentido, la calidad del producto se relaciona con un color lo más parecido posible al producto fresco. Dependiendo de la cantidad de azúcares, ácidos (pH) y aminoácidos presentes en la materia prima, así como de las condiciones de procesado, se pueden dar una serie de cambios en el color de los productos procesados (Gould, 1992), por lo que es importante poder cuantificar estos cambios, y determinar las variables que pueden ayudar a preservarlo. Los valores de las coordenadas colorimétricas L^* , a^* y b^* obtenidos para los distintos productos untables, así como las diferencias de color respecto al tomate fresco (ΔE) se recogen en las tablas 3.3a, 3.3b y 3.3c del anexo VI.3.

Para identificar las diferencias significativas entre los tratamientos y evaluar la influencia de las variables de proceso sobre estas diferencias, se llevó a cabo el análisis estadístico (tabla 3.4 del anexo VI.3).

En los productos recién elaborados aparecen como significativas prácticamente todas las variables de proceso y algunas de sus interacciones ($p_{\text{valor}} < 0,05$). Sin embargo, debe entenderse que el producto se encuentra aún en plena evolución y no es fácil identificar la contribución de las distintas variables a los cambios de color. Por este motivo, parece más acertado profundizar en el análisis de las variables que influyen significativamente en las coordenadas colorimétricas de los productos almacenados. Después de 3 meses de almacenamiento únicamente la interacción del % de pectina con el % de ácido cítrico influyó

de forma significativa sobre la luminosidad de los productos untables (figura IV.25).

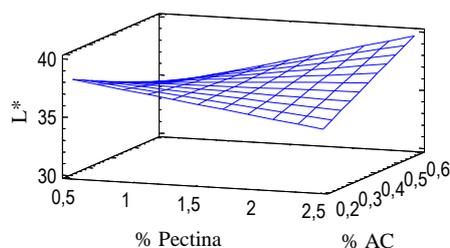


Figura IV.25. Gráfico de superficie para la coordenada colorimétrica L* de los untables de tomate almacenados durante 3 meses, en función de los % de pectina y ácido cítrico. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.

Tras 6 meses de almacenamiento, la única coordenada colorimétrica que se vio influenciada por las variables de proceso fue la coordenada a*, siendo el % de isomaltulosa la única variable de proceso que presentó un papel relevante. De forma que al aumentar el % de este azúcar en la formulación aumentó el valor de a*.

Además del tiempo de almacenamiento y las variables de proceso, los cambios en el color rojo de los productos procesados de tomate también se pueden deber a otras causas como, la degradación del licopeno (Candelas-Cadillo *et al.*, 2005), la oxidación del ácido ascórbico y a reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático (Gould, 1992).

Para comparar globalmente los cambios observados en el color de las muestras, también se evaluó la diferencia de color respecto del tomate fresco (ΔE) de los productos untables recién elaborados y almacenados durante 3 y 6 meses. En este sentido, los resultados reflejan, como cabía esperar, mayores diferencias de color respecto al tomate fresco en los productos almacenados, que en los productos recién elaborados (tablas 3.3a, 3.3b y 3.3c del anexo VI.3). Las reacciones que tienen lugar durante

este periodo de tiempo, entre los diferentes componentes del producto y entre el producto y su entorno, justifican esta tendencia en la mayoría de productos almacenados.

El ANOVA realizado reveló que las variables de proceso que más afectaron a los cambios en el color de los untables fueron, el tiempo de tratamiento térmico y la interacción del % de pectina con el % de ácido cítrico (tabla 3.5 del anexo VI.3). De acuerdo con el análisis estadístico, un nivel alto de esta interacción (% de pectina - % de ácido cítrico), contribuyó a una mayor preservación del color en comparación con el tomate fresco. Nuevamente, cabe resaltar la importancia de estas variables en la estructura del gel cuya fuerza aumenta con la interacción % de pectina - % de ácido cítrico, disminuyendo la movilidad molecular en el sistema y por tanto, las reacciones de degradación.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en productos untables de fresa (Peinado, 2011), donde el % de pectina y el % de ácido cítrico fueron los parámetros que marcaron las diferencias estadísticamente significativas entre los valores de las coordenadas colorimétricas. Asimismo, este efecto también desapareció al final del periodo de almacenamiento (6 meses), dando lugar a productos más oscuros, pero con mayor homogeneidad entre ellos.

Las figuras IV.26, IV.27 y IV.28 muestran la situación en los mapas cromáticos b^*-a^* y L^*-a^* de los productos untables ordenados en función del % de pectina, el % de ácido cítrico y el tiempo de tratamiento térmico. Se ha considerado de interés representar los valores obtenidos para cada nivel de estas tres variables (menor, intermedio y mayor), por ser las que presentaron mayor impacto sobre las coordenadas colorimétricas de acuerdo al análisis estadístico. En líneas generales y tal y como ya ha sido comentando anteriormente durante el análisis estadístico, los gráficos

muestran como los valores de las coordenadas colorimétricas de los productos recién elaborados, se encuentran más próximos al tomate fresco, que los mismos tratamientos tras el periodo de almacenamiento. Además, los productos almacenados durante más tiempo (6 meses), presentaron un mayor oscurecimiento de las muestras (menores valores de L^*). Esta disminución en la coordenada L^* , se puede observar también en los productos recién elaborados, debido en parte al aumento de la opacidad de la fase líquida por el aumento en el contenido de sólidos solubles respecto al tomate fresco (Peinado, 2011).

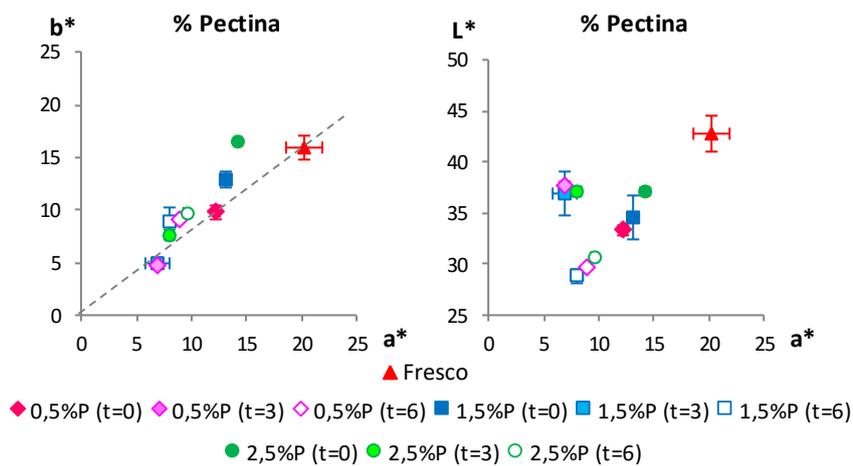


Figura IV.26. Situación de las muestras de tomate fresco y de los productos untables en los planos cromáticos b^*a^* y L^*a^* . Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

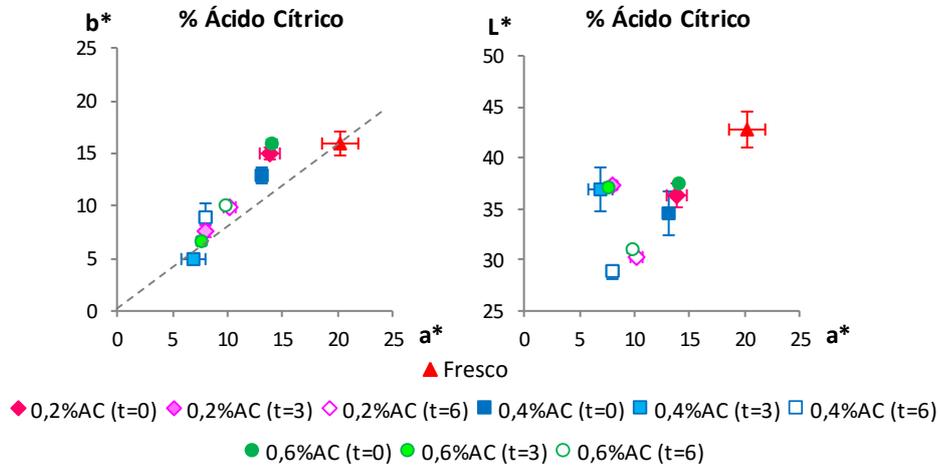


Figura IV.27. Situación de las muestras de tomate fresco y de los productos untables en los planos cromáticos b^*a^* y L^*a^* . Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

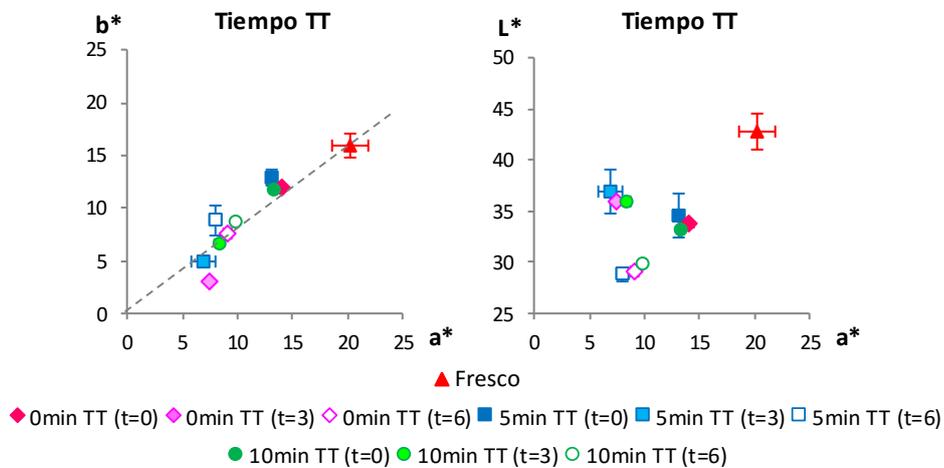


Figura IV.28. Situación de las muestras de tomate fresco y de los productos untables en los planos cromáticos b^*a^* y L^*a^* . Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo de tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

IV.3.5. Análisis de las propiedades mecánicas de los productos untables

La textura es uno de los principales parámetros de calidad en los productos untables de fruta. Sobre su valor influyen tanto los ingredientes que componen el producto, como la interacción entre ellos. Costell *et al.* (1993) observaron que las variaciones encontradas en la estructura de diferentes mermeladas, dependían principalmente, de las interacciones entre la fruta, los sólidos solubles y la pectina que llevaban en su formulación.

Los valores de consistencia y adhesividad obtenidos para los productos untables de tomate recién elaborados y almacenados durante 3 y 6 meses, se recogen en las tablas 3.6 y 3.7 del anexo VI.3. La tabla 3.8 del anexo VI.3 muestra el resumen del análisis de la varianza factorial realizado para los valores de consistencia y adhesividad de las muestras a los distintos tiempos de almacenamiento.

El ANOVA remarca que las variables más influyentes sobre los parámetros de textura de los productos untables son el % de pectina, el % de ácido cítrico y el tiempo de tratamiento térmico, siendo la interacción del % de pectina con el % de ácido cítrico, la de mayor peso en el resultado final.

Las figuras IV.29 y IV.30 muestran los gráficos de las interacciones con efecto significativo ($p_{\text{valor}} < 0,05$) sobre el valor de la consistencia y la adhesividad de los untables de tomate, respectivamente. Cómo se puede observar, la interacción de estas variables juega un papel fundamental en la formación del gel.

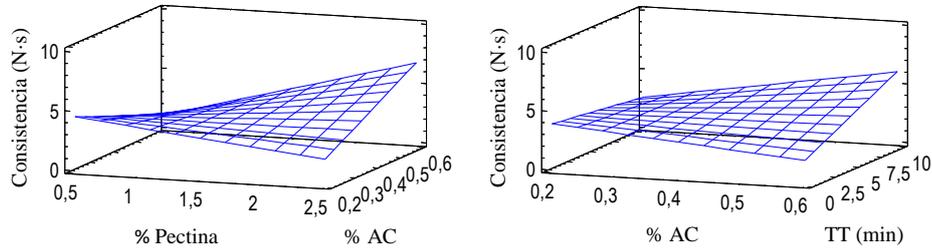


Figura IV.29. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la consistencia de los untables de tomate almacenados durante 6 meses, en función de las interacciones significativas. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.

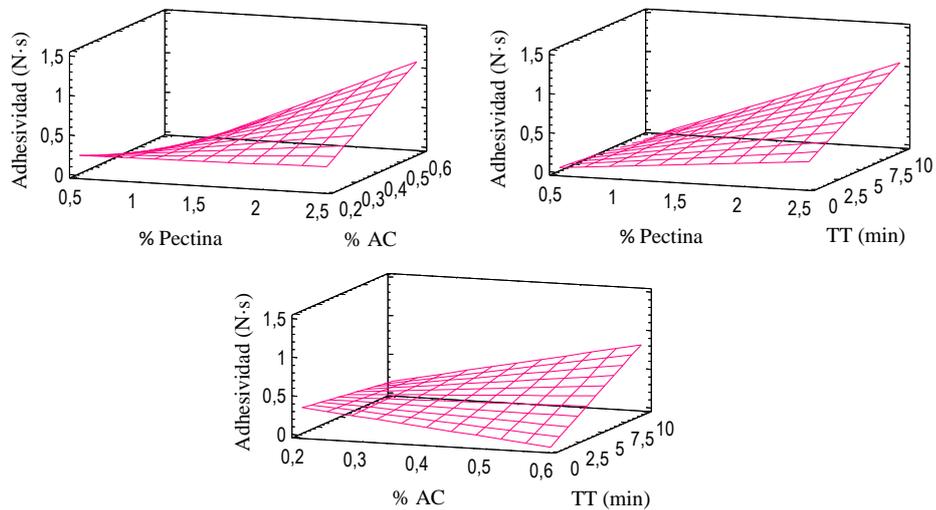


Figura IV.30. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la adhesividad de los untables de tomate almacenados durante 6 meses, en función de las interacciones significativas. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.

Las figuras IV.31, IV.32 y IV.33 muestran los valores de consistencia y adhesividad de los productos untables ordenados en función del % de pectina, el % de ácido cítrico y el tiempo de tratamiento térmico, por ser estas variables, las de mayor peso sobre los parámetros de textura estudiados.

En líneas generales, los gráficos muestran menores valores de consistencia y adhesividad tras el almacenamiento. En este sentido, las mayores diferencias entre los productos recién elaborados y los productos almacenados durante 6 meses, se encontraron en los untables elaborados con el mayor porcentaje de pectina (2,5 %) (figura IV.31). A su vez, el efecto del % de pectina se manifestó claramente en los productos recién elaborados, donde se observó un fuerte aumento de los valores de la consistencia y la adhesividad según aumentó el % de pectina. Sin embargo, en los productos almacenados 3 y 6 meses, este efecto no fue tan marcado, obteniéndose valores más próximos entre sí.

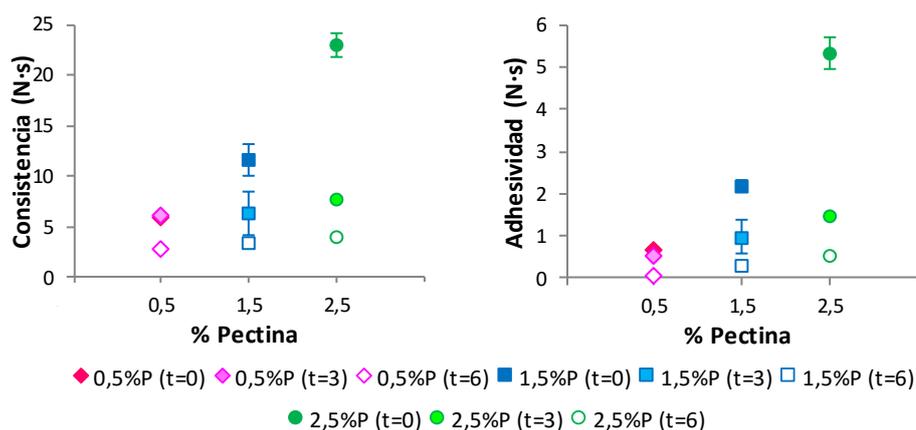


Figura IV.31. Valores de consistencia y adhesividad de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

En el caso del ácido cítrico (figura IV.32), los resultados muestran que cantidades elevadas del ácido en la muestra (0,6 %), provocaron una disminución tanto en el valor de la consistencia, como en la adhesividad del producto. Esto podría deberse a que la fuerte bajada de pH que se

produjo en el medio, provocara la hidrólisis del gel, afectando a su estructura (Díaz, 2003).

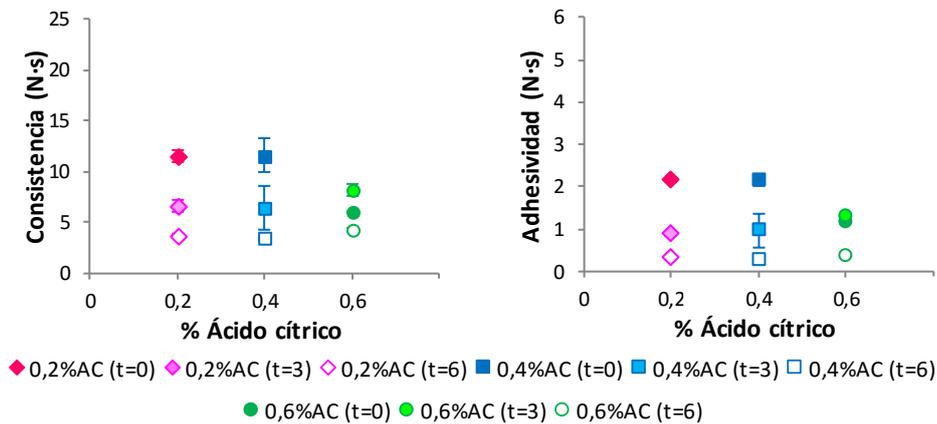


Figura IV.32. Valores de consistencia y adhesividad de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

En cuanto al efecto del tratamiento térmico (figura IV.33), se observa que al aumentar el tiempo del tratamiento, aumentaron los valores de consistencia y adhesividad del producto, debido probablemente a una mayor homogenización de los ingredientes, que favoreció la formación del gel. Sin embargo, cuando el tratamiento térmico al que se sometió el untable fue demasiado agresivo (10 min), se obtuvieron menores valores de estos parámetros debido, probablemente, a la ruptura de las cadenas poliméricas.

Las pectinas disueltas se descomponen espontáneamente por desesterificación, así como por despolimerización. La velocidad de esta descomposición depende del pH, de la actividad de agua y de la temperatura. La presencia de azúcar en la disolución de pectina tiene un cierto efecto protector, mientras que las elevadas temperaturas, aumentan

la velocidad de degradación. A valores de pH bajos y temperaturas elevadas, se observa una degradación de las pectinas debida a la hidrólisis de los enlaces glucosídicos (Sriamornsak, 2003).

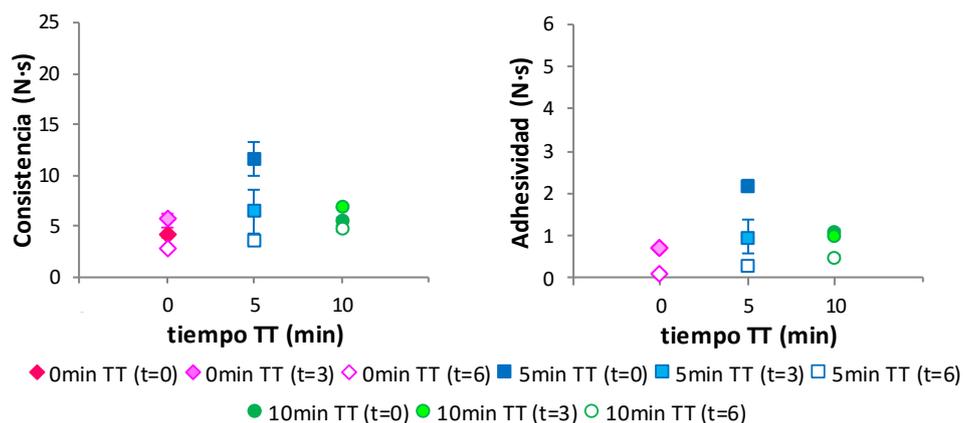


Figura IV.33. Valores de consistencia y adhesividad de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo de tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

IV.3.6. Análisis de las propiedades antioxidantes de los productos untables

Los tomates son uno de los componentes principales de la dieta mediterránea tradicional, la cual se asocia con una baja tasa de mortalidad por enfermedad cardiovascular (Dumas *et al.*, 2003).

A su vez, los tomates frescos y sus productos son la mayor fuente de licopeno disponible, considerándose un importante contribuyente de carotenoides a la dieta humana. Este carotenoide no posee actividad provitamínica A, pero es capaz de funcionar como un antioxidante y disminuir la concentración de oxígeno singlete *in vitro* (Shi *et al.*, 1999).

Además, los tomates son también una abundante fuente de micronutrientes antioxidantes, tales como β -caroteno, luteína, fitoeno,

fitoflueno, γ -caroteno, vitamina C, vitamina E y compuestos fenólicos. Varios de estos componentes pueden, por lo tanto, contribuir a las propiedades medicinales de los tomates (Dumas *et al.*, 2003).

Existen numerosos estudios acerca de cómo el procesado del tomate y el posterior periodo de almacenamiento de los mismos repercuten en el contenido de compuestos antioxidantes, aumentando o disminuyendo su valor (Shi & Le Maguer, 2000; Dewanto *et al.*, 2002; Candelas-Cadillo *et al.*, 2005; Odriozola-Serrano *et al.*, 2008; Ordoñez *et al.*, 2009). Por tanto, es importante evaluar los cambios en las propiedades antioxidantes del tomate fresco como consecuencia del procesado y almacenamiento, ya que ello repercutirá en el contenido final de compuestos antioxidantes del producto untable.

IV.3.6.1. Contenido en ácido ascórbico de los productos untables

El ácido ascórbico es una de las vitaminas presentes en frutas y hortalizas de mayor sensibilidad a la temperatura, pH y exposición a la luz. De hecho, operaciones como el pelado, cortado o triturado de frutas y hortalizas, incluso sin aplicación de calor, implican pérdidas considerables (Heredia, 2008).

La tabla IV.27 recoge el valor del contenido en ácido ascórbico de los distintos productos untables obtenidos, recién elaborados y almacenados durante 3 y 6 meses.

En general, los resultados no muestran un descenso importante en el contenido en ácido ascórbico por el procesado. Ya que si comparamos los valores de los productos recién elaborados con el tomate fresco (tabla IV.26), estos son muy similares teniendo en cuenta que 100 gramos de untable contienen alrededor de 50 g de tomate, es decir el 50 %. Sin embargo, sí se observa una bajada de los valores durante el

almacenamiento de los productos. Estos resultados están en concordancia con otros autores que también observaron la influencia del tiempo de almacenamiento sobre el contenido en ácido ascórbico de zumos y mermeladas de frutas (Hussain *et al.*, 2008; Khan *et al.*, 2014).

Para determinar el efecto significativo de las variables de proceso en el contenido de ácido ascórbico de los untables, se llevó a cabo el análisis estadístico (tabla 3.9 del anexo VI.3).

Los resultados revelaron que las variables de proceso con mayor influencia sobre el contenido en ácido ascórbico fueron el % de ácido cítrico, el contenido en sorbato potásico y el tiempo de tratamiento térmico.

El estudio de la incorporación de aditivos tales como ácido cítrico o sorbato potásico en la calidad de zumos y mermeladas de frutas durante el almacenamiento, ha sido estudiado por diferentes autores, que también han observado el efecto significativo de estas variables de proceso, además del tiempo de almacenamiento, sobre el contenido de ácido ascórbico de las muestras (Hussain *et al.*, 2008; Khan *et al.*, 2014; Wisal *et al.*, 2014).

Tabla IV.27. Contenido en ácido ascórbico (mg/100 g producto) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) (n=3).

F	% I	% P	% AC	S (ppm)	TT (min)	Tiempo 0	Tiempo 3	Tiempo 6
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	7,8 (0,9)	5,8 (0,5)	5,0 (0,7)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	6,7 (0,3)	6,3 (0,3)	4,3 (0,4)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	6,3 (0,7)	6,2 (0,9)	6,1 (0,4)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	7,3 (0,3)	5,5 (0,4)	5,5 (0,3)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	7,6 (0,2)	6,4 (0,9)	5,4 (0,7)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	7,9 (0,4)	6,25 (0,02)	6,3 (0,4)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	7,5 (0,5)	7,1 (0,8)	6,4 (0,7)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	7,4 (0,8)	7,0 (0,4)	6,62 (0,19)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	6,2 (0,4)	6,2 (0,3)	6,2 (0,3)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	8,03 (0,02)	7,0 (0,7)	5,2 (0,9)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	7,2 (0,3)	7,24 (0,18)	6,17 (0,02)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	7,8 (1,7)	6,8 (0,3)	6,5 (0,3)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	7,8 (0,3)	7,04 (0,17)	6,61 (0,17)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	7,67 (1,05)	7,24 (0,18)	7,3 (0,4)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	7,35 (0,18)	7,4 (0,3)	7,3 (0,5)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	9,6 (1,2)	7,1 (0,3)	6,7 (0,4)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	7,583 (1,102)	6,1 (0,8)	3,9 (0,2)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	9,2 (0,9)	8,10 (0,18)	3,79 (0,19)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	7,6 (1,2)	7,1 (0,5)	4,0 (0,6)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	6,5 (0,7)	6,4 (0,7)	3,4 (0,8)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	7,6 (1,2)	6,7 (0,4)	5,3 (0,3)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	6,2 (0,3)	6,15 (0,14)	5,18 (0,17)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	9,0 (0,4)	6,6 (0,3)	6,5 (0,5)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	5,9 (0,3)	5,678 (0,004)	5,7 (0,3)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	6,3 (0,2)	6,46 (0,14)	6,2 (0,5)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	7,2 (0,5)	6,45 (0,17)	6,52 (0,15)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	5,94 (0,12)	5,84 (0,18)	5,85 (0,16)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	8,38 (0,18)	7,36 (0,17)	7,1 (0,5)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm);

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Para poder evaluar mejor su efecto, las figuras IV.34, IV.35 y IV.36 representan los valores del contenido en ácido ascórbico de los untables de tomate, a lo largo del almacenamiento, en función del % de ácido cítrico, el contenido en sorbato potásico y el tiempo de tratamiento térmico.

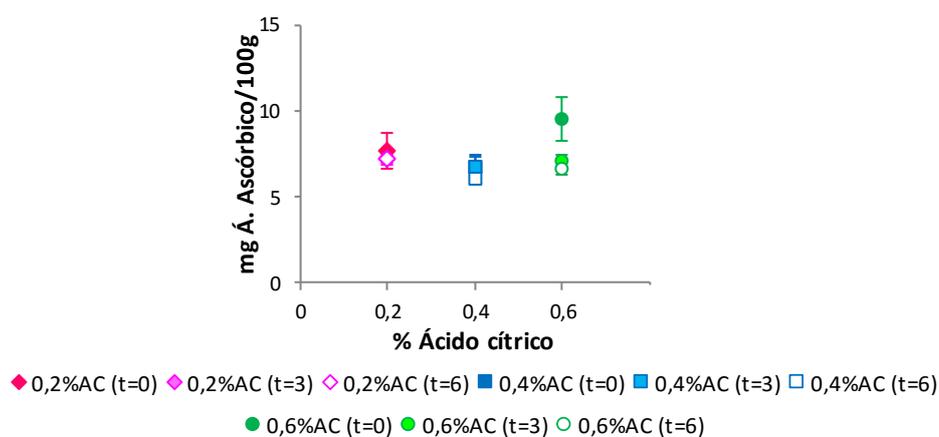


Figura IV.34. Valores del contenido en ácido ascórbico de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

De acuerdo a Emese & Nagymate (2008) en Oyetade *et al.* (2012), la estabilidad del ácido ascórbico decrece con el incremento de la temperatura y el pH. De esta forma, al añadir un mayor % de ácido cítrico en la formulación, el pH del medio disminuiría y esto llevaría a obtener mayores valores de ácido ascórbico en el producto. Este efecto se ve reflejado cuando los untables están recién elaborados. Sin embargo, no se aprecia esta tendencia en los productos, tras el periodo de almacenamiento (figura IV.34). Por otra parte, también hay que tener en cuenta que en esta clase de productos, un correcto ajuste de pH llevado a cabo por la

adición de ácido cítrico, permite una mejor gelificación de la pectina, protegiendo a los compuestos hidrosolubles en su estructura.

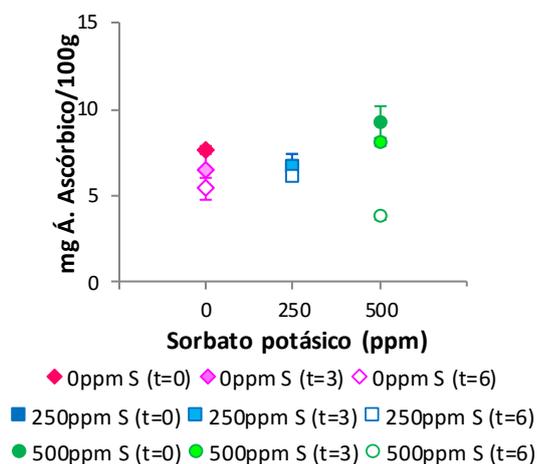


Figura IV.35. Valores del contenido en ácido ascórbico de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del contenido en sorbato potásico (0, 250 y 500 ppm), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

La selección del conservante adecuado, así como la determinación de su concentración óptima, es de suma importancia para mantener la calidad de los alimentos durante el almacenamiento (Khan *et al.*, 2014). Por este motivo, como ya se ha comentado anteriormente, hay numerosos estudios donde se evalúa la influencia del tipo de conservante y la cantidad añadida del mismo, sobre la calidad, estabilidad y vida útil de los productos alimentarios durante el almacenamiento (Hussain *et al.*, 2008; Khan *et al.*, 2014; Wisal *et al.*, 2014). En todos ellos, se observó el efecto significativo de esta variable, sobre las diferencias encontradas en el contenido en ácido ascórbico.

En este sentido, cabría esperar que un mayor contenido en sorbato potásico, ayudara a preservar el contenido de ácido ascórbico durante el

almacenamiento. Sin embargo, este efecto sólo se distingue en los productos recién elaborados (figura IV. 35).

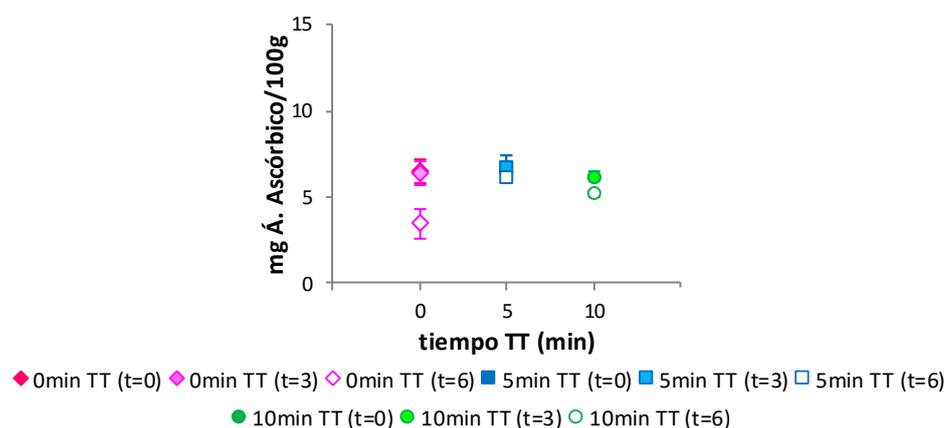


Figura IV.36. Valores del contenido en ácido ascórbico de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo de tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

El ácido ascórbico es un bioactivo sensible al calor en presencia de oxígeno. Por eso, las altas temperaturas alcanzadas durante el procesado pueden tener un gran efecto en su degradación por vía aeróbica (Odrizola-Serrano *et al.*, 2009).

Si bien tras 6 meses de almacenamiento, no se distingue una tendencia clara. Los productos recién elaborados y después de 3 meses de almacenamiento sometidos al tratamiento térmico más agresivo (10 minutos a 90 °C), presentaron menor contenido en ácido ascórbico (figura IV.36).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores que han estudiado la influencia del procesado en el contenido en ácido ascórbico en tomate y confirman la tendencia de este compuesto a sufrir pérdidas, tanto con el tratamiento térmico, como durante el

almacenamiento (Sánchez-Moreno *et al.*, 2006; Hsu, 2008; Patras *et al.*, 2009; Pérez-Conesa *et al.*, 2009; Mertz *et al.*, 2010).

IV.3.6.2. Contenido en fenoles totales de los productos untables

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas con reconocido poder antioxidante y capacidad para secuestrar radicales libres. En Rodríguez-Mateo *et al.* (2014), se hace una extensa revisión sobre las evidencias clínicas de los beneficios de estos compuestos sobre la salud humana, como la reducción del riesgo de sufrir enfermedades neurodegenerativas, algunos tipos de cáncer o enfermedades cardiovasculares.

La tabla IV.28 resume los valores obtenidos para el contenido en fenoles totales de los untables de tomate. Cabe señalar el aumento de estos compuestos tras el procesado (comparación de los productos recién elaborados con el fresco (tabla IV.26), teniendo en cuenta que el 50 % del untable corresponde a tomate fresco). Estos resultados coincidirían con los obtenidos por Gahler *et al.* (2003) donde se observó un aumento en los compuestos fenólicos tras el tratamiento térmico de varios productos de tomate, posiblemente debido a la liberación de los compuestos fenólicos desde la matriz.

IV. Resultados y discusión: Optimización de la elaboración de untables de tomate

Tabla IV.28. Contenido en fenoles totales (mg GAE/100 g producto) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) (n=3).

F	% I	% P	% AC	S (ppm)	TT (min)	Tiempo 0	Tiempo 3	Tiempo 6
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	21,70 (1,09)	19,6 (1,3)	16,3 (0,9)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	17,7 (0,2)	13,97 (0,02)	15 (2)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	16,9 (0,2)	13,9 (0,7)	13,4 (0,8)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	19,7 (0,3)	15,7 (0,8)	14,6 (0,8)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	18,9 (0,6)	14,9 (0,8)	12,3 (1,3)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	17,0 (1,3)	14,9 (0,7)	14 (2)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	18,1 (1,8)	14,9 (0,5)	12,8 (0,4)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	19,3 (1,2)	15 (0,7)	14,83 (1,19)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	17,0 (0,2)	14,70 (0,06)	13,4 (0,3)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	16,4 (0,2)	17,4 (0,3)	14 (2)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	17,8 (0,2)	14,9 (0,4)	15,253 (0,012)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	11,9 (0,3)	14,2 (0,6)	11,4 (1,2)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	20,7 (0,3)	19,9 (0,7)	13,9 (0,3)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	9,7 (0,4)	15,4 (0,4)	13 (2)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	14,3 (0,2)	13,7 (0,9)	13,9 (0,9)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	13,7 (0,7)	16,34 (1,07)	13 (3)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	15,1 (0,2)	12,08 (1,15)	11,5 (0,6)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	14,5 (0,8)	12,5 (0,7)	11,8 (0,9)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	14,5 (0,12)	12,6 (0,5)	13,0 (0,7)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	14,0 (0,5)	13,706 (1,103)	11,2 (0,9)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	15,8 (0,5)	11,14 (0,07)	9,4 (0,5)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	16,4 (0,8)	11,1 (0,9)	12,0 (0,8)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	12,9 (0,4)	10,8 (0,7)	13,1 (0,9)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	17,0 (0,8)	14,5 (0,9)	11,3 (0,6)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	21,4 (0,2)	18,29 (0,05)	15 (2)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	15,04 (0,07)	11,3 (0,7)	9,935 (0,012)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	19,25 (1,19)	14,3 (0,9)	12,3 (0,2)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	17,8 (0,9)	12,9 (0,5)	13,3 (1,2)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm);

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Por otra parte y a diferencia de los resultados obtenidos para el ácido ascórbico, no se vio una degradación importante de los compuestos fenólicos durante el almacenamiento. Este hecho, pondría de manifiesto una mayor estabilidad de estos compuestos, frente al ácido ascórbico. Esta tendencia coincide con los resultados de otros autores, en estudios sobre procesado de tomate (Patras *et al.*, 2009; Pérez-Conesa *et al.*, 2009).

La tabla 3.10 del anexo VI.3 recoge el resumen del ANOVA, realizado para el contenido de los compuestos fenólicos totales en los untables de tomate, a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses). El análisis reveló que las variables de proceso con mayor influencia sobre estos compuestos antioxidantes fueron el % de pectina, el % de ácido cítrico y el tiempo de tratamiento térmico.

La figura IV.37 muestra los gráficos de superficie de respuesta de las interacciones con efecto significativo ($p_{\text{valor}} < 0,05$) sobre el contenido de fenoles de los untables. Cabe señalar que estas interacciones son las que mayor efecto tienen en la formación y fuerza del gel, consiguiendo, de esta forma, una mejor retención y/o protección de los compuestos antioxidantes en la matriz del alimento.

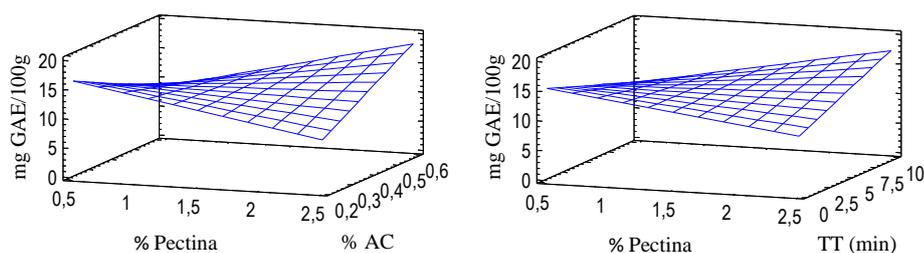


Figura IV.37. Gráfico de superficie de respuesta estimada para el contenido en fenoles totales de los untables de tomate almacenados durante 6 meses, en función de las interacciones significativas. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.

Los valores del contenido en compuestos fenólicos en función de las distintas variables de proceso con influencia significativa, se ilustran en las figuras IV.38, IV.39 y IV.40.

Cómo se observa en la figura IV.38, un aumento del % de pectina en la formulación del untable, conllevó un mayor contenido en fenoles. Sin embargo, trascurridos 6 meses, los valores de estos compuestos disminuyeron de forma considerable, probablemente a causa de la rotura del gel durante el periodo de almacenamiento.

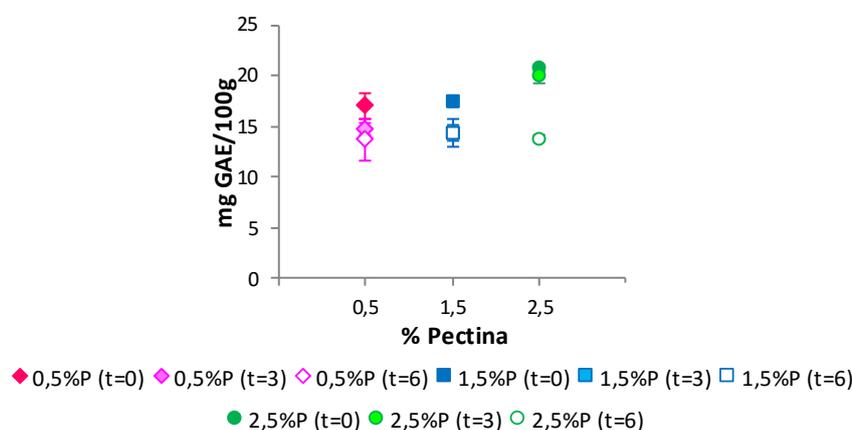


Figura IV.38. Valores del contenido en fenoles totales de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

Al igual que en el caso del contenido en ácido ascórbico, se observa que un mayor % de ácido cítrico aumentó la retención de compuestos fenólicos. Sin embargo, cuando se alcanzó un nivel demasiado alto (0,6 %), el valor del contenido en fenoles disminuyó. Esta tendencia puede verse tanto en los productos recién elaborados, como durante el almacenamiento (figura IV.39). Como ya se ha comentado anteriormente, el pH del medio tiene un efecto esencial en la formación del gel. De forma

que a pH muy alto la pectina tiene dificultades para gelificar, pero un pH demasiado bajo puede provocar la ruptura de la estructura (Pagan, 1996). De esta forma, los compuestos estarían más expuestos a los factores de degradación, pudiendo afectar a su contenido final en el producto.

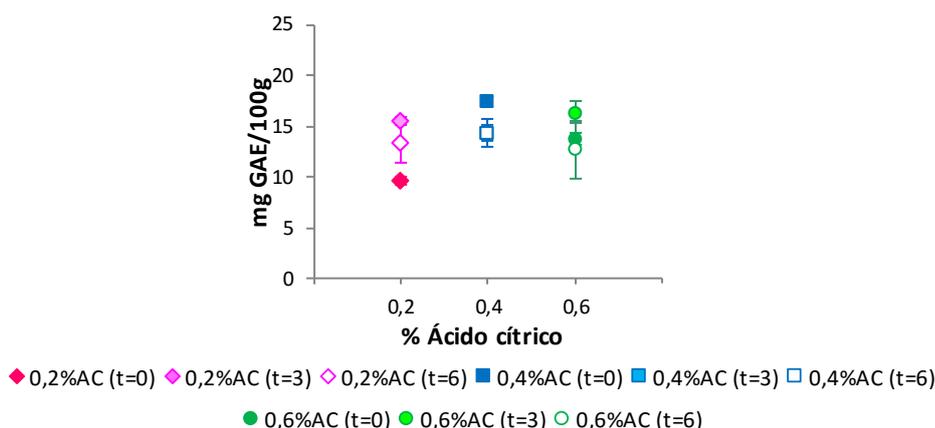


Figura IV.39. Valores del contenido en fenoles totales de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

En el caso de la influencia del tiempo de tratamiento térmico (figura IV.40), se podría decir que la aplicación de un tratamiento térmico con una duración moderada, es positiva para la preservación de compuestos fenólicos, ya que a partir de los 5 minutos de tratamiento, se observa una bajada de los valores.

Los resultados obtenidos concuerdan con otros estudios sobre productos procesados de tomate, donde se pone de manifiesto la resistencia de los compuestos fenólicos tanto al tratamiento térmico, como durante el almacenamiento (Odriozola-Serrano *et al.*, 2009; Ordoñez-Santos *et al.*, 2009; Pérez-Conesa *et al.*, 2009).

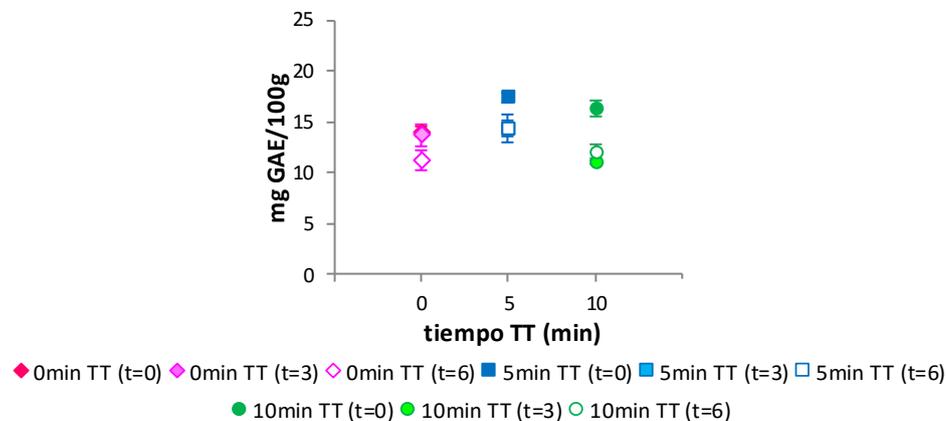


Figura IV.40. Valores del contenido en fenoles totales de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo del tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

IV.3.6.3. Contenido en β -caroteno y licopeno de los productos untables

Los pigmentos carotenoides son compuestos responsables de la coloración de gran número de alimentos vegetales y animales, como zanahorias, zumo de naranja, tomates, salmón y yema de huevo. Desde hace muchos años, se sabe que algunos de estos compuestos, como el α y β -caroteno, así como la β -criptoxantina, son provitaminas A (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004). No obstante, aunque el licopeno, carotenoide característico del color rojo del tomate, no tiene actividad provitamínica A, muestra una capacidad antioxidante dos veces más alta que el β -caroteno, por lo que su presencia en la dieta se considera de gran interés (Shi & Le Maguer, 2000).

Este estudio se ha centrado en la determinación del contenido en licopeno y β -caroteno, por ser los carotenoides mayoritarios en el tomate

maduro, aproximadamente el 83 % el licopeno y del 3 al 7 % el β -caroteno (Nguyen & Schwartz, 1999 en Ordoñez *et al.*, 2009).

Las tablas IV.29 y IV.30 muestran los valores obtenidos para el contenido en β -caroteno y licopeno de los productos untables de tomate, respectivamente.

En los resultados obtenidos se puede observar cómo, en la mayoría de los tratamientos se produce un aumento en el contenido de ambos carotenoides tras el procesado (productos recién elaborados), respecto al tomate fresco (tabla IV.26). Al igual que en el resto de compuestos antioxidantes determinados, para poder evaluar el efecto del procesado, hay que tener en cuenta que 100 g de untable contienen alrededor de 50 g de tomate fresco.

Por otra parte, y a diferencia del ácido ascórbico y los compuestos fenólicos, durante los 3 primeros meses de almacenamiento se produce un importante aumento tanto en el contenido de β -caroteno, como de licopeno. A su vez, este valor se mantiene, sin grandes cambios, tras los 6 meses de almacenamiento.

Esta tendencia también ha sido expuesta por otros autores, que observaron un efecto positivo del tratamiento térmico sobre el contenido en licopeno de productos de tomate (Dewanto *et al.*, 2002; Ordoñez *et al.*, 2009). Además, los resultados de Ordoñez *et al.* (2009) confirmaron la estabilidad de este compuesto en el producto durante su almacenamiento.

IV. Resultados y discusión: Optimización de la elaboración de untables de tomate

Tabla IV.29. Contenido en β -caroteno (mg/100 g producto) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) (n=3).

F	% I	% P	%AC	S (ppm)	TT (min)	Tiempo 0	Tiempo 3	Tiempo 6
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	2,2 (0,3)	5,7 (0,4)	3,8 (1,7)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	2,3 (0,8)	5,1 (0,2)	4,6 (0,4)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	2,8 (0,2)	5,22 (0,19)	4,0 (0,6)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	1,5 (0,8)	5,3 (1,4)	5,25 (0,05)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	3,0 (0,6)	5,8 (0,2)	5,0 (0,8)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	4,03 (0,09)	6,1 (0,4)	3,85 (1,18)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	3,09 (0,05)	5,4 (0,5)	3,0 (0,6)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	3,0 (0,3)	5,0 (0,4)	2,8 (0,4)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	2,6 (0,6)	4,8 (0,3)	2,9 (0,6)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	2,7 (0,6)	4,74 (0,15)	3,7 (0,3)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	3,06 (0,14)	5,523 (0,118)	5,7 (0,4)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	3,02 (0,19)	6,1 (0,7)	4,9 (0,3)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	2,6 (0,9)	5,4 (0,7)	5,6 (0,5)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	3,3 (0,6)	4,6 (0,2)	4,02 (1,19)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	3,0 (0,2)	4,8 (0,3)	3,2 (0,2)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	2,56 (0,04)	3,3 (0,6)	4,74 (0,02)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	3,4 (0,6)	3,88 (0,02)	3,1 (0,2)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	3,2 (0,6)	3,1 (0,7)	2,69 (0,16)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	1,81 (0,12)	3,5 (0,3)	4,62 (1,18)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	2,9 (0,6)	3,5 (0,3)	3,34 (1,15)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	2,6 (0,8)	6,1 (0,2)	5,2 (0,9)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	2,4 (0,3)	5,52 (0,18)	5,6 (0,2)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	2,44 (0,04)	4,7 (1,5)	4,50 (0,09)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	1,8 (0,3)	7,8 (0,4)	6 (2)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	1,5 (0,4)	5,6 (0,3)	6,3 (0,3)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	1,15 (0,09)	5,1 (0,6)	4,9 (0,4)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	0,8 (0,3)	5,2 (0,3)	4,7 (0,4)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	0,8 (0,3)	6,6 (0,5)	4,9 (0,3)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm);

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla IV.30. Contenido en licopeno (mg/ 100 g producto) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) (n=3).

F	% I	% P	% AC	S (ppm)	TT (min)	Tiempo 0	Tiempo 3	Tiempo 6
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	6,6 (0,4)	16 (2)	15,5 (0,9)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	9,5 (0,6)	19,2 (0,9)	18,5 (1,6)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	11 (3)	13,16 (1,06)	16 (2)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	6,2 (1,4)	15 (4)	16,1 (0,9)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	11 (2)	16,8 (0,4)	16,7 (0,6)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	11,8 (0,5)	18,0 (1,8)	18,2 (1,7)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	7,7 (0,3)	15,67 (1,09)	15,0 (0,7)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	8,6 (0,5)	14,7 (0,9)	15,0 (0,4)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	9,6 (1,3)	13,8 (0,3)	14,7 (0,6)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	13,9 (1,5)	19 (2)	22,9 (1,5)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	16 (2)	18,53 (1,12)	21,20 (1,08)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	13,9 (1,5)	18,9 (0,8)	16,6 (1,3)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	9,18 (1,07)	16 (2)	16,71 (1,18)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	12,4 (0,9)	16 (3)	15,3 (1,4)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	10,6 (0,2)	17 (2)	16,7 (1,8)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	8,0 (1,4)	11,1 (0,4)	13,44 (0,09)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	10,9 (0,8)	12,75 (0,17)	16,0 (0,3)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	11,1 (1,7)	12,10 (1,03)	17,4 (0,7)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	12,4 (0,9)	21,3 (0,6)	25,083 (1,003)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	15 (2)	21,1 (1,3)	21,1 (0,5)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	11 (3)	20,1 (0,9)	18 (2)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	13,5 (1,4)	19,3 (0,5)	23,5 (0,9)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	14 (3)	21,9 (0,6)	16,0 (1,4)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	11,7 (1,7)	31,7 (1,8)	18,1 (0,5)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	8,3 (0,8)	19 (2)	24,6 (1,6)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	7,8 (1,7)	19 (3)	18,8 (1,4)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	9 (2)	19,4 (0,7)	23 (3)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	5,0 (0,8)	20,8 (1,3)	16,9 (0,8)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm);

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

En la tabla 3.11 del anexo VI.3 se recoge el resumen del análisis estadístico para el contenido en β -caroteno de los untables de tomate. Como se puede apreciar, tras el almacenamiento, ninguna variable de proceso resultó significativa. Mientras que para los productos recién elaborados, las que tuvieron un mayor efecto fueron el % de isomaltulosa, el % de pectina y el tiempo de tratamiento térmico.

Para poder evaluar mejor los resultados del análisis estadístico, la figura IV.41 muestra el efecto de las interacciones significativas sobre el contenido en β -caroteno. En ella se pone de manifiesto la importancia del tratamiento térmico sobre la estabilidad de la estructura del untable. Ya que, según aumentó la interacción entre el tiempo de tratamiento térmico y el % de isomaltulosa, lo hizo también el valor de este carotenoide, probablemente debido a que el mayor tiempo del tratamiento, ayudó a disolver mejor el azúcar.

Por otra parte, también se pudo ver como un tratamiento térmico demasiado agresivo junto al aumento del % de pectina, afectó de forma negativa a la formación del gel. Es importante controlar el tiempo del tratamiento térmico en esta clase de productos, ya que las uniones glicosídicas se hidrolizan en presencia de calor y ácido. Por tanto, si el tiempo es demasiado largo, se producirá la despolimerización del gel, dando como resultado una pérdida del poder gelificante (Vaclavik, 2002).

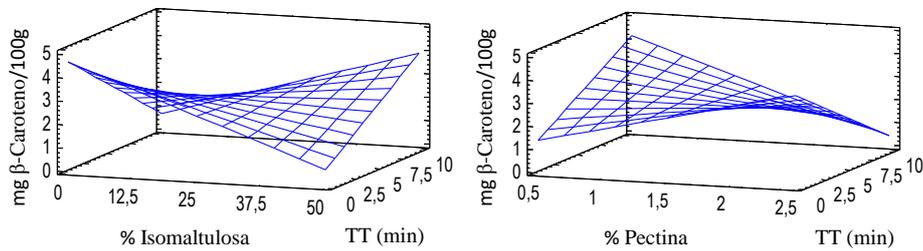


Figura IV.41. Gráfico de superficie de respuesta estimada para el contenido en β -caroteno de los untables de tomate recién elaborados, en función de las interacciones significativas. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.

Las figuras IV.42, IV.43 y IV.44 reflejan la influencia del % de isomaltulosa, el % de pectina y el tiempo de tratamiento térmico, sobre el valor de β -caroteno en los untables elaborados, por ser las variables con mayor peso en los resultados de este parámetro.

En el gráfico de la influencia del % de pectina, se pudo apreciar una tendencia en los productos almacenados durante 6 meses, de forma que un aumento en el % de pectina comportó una mayor retención de este carotenoide, debido principalmente a una mayor fuerza en el gel desarrollado (figura IV.42).

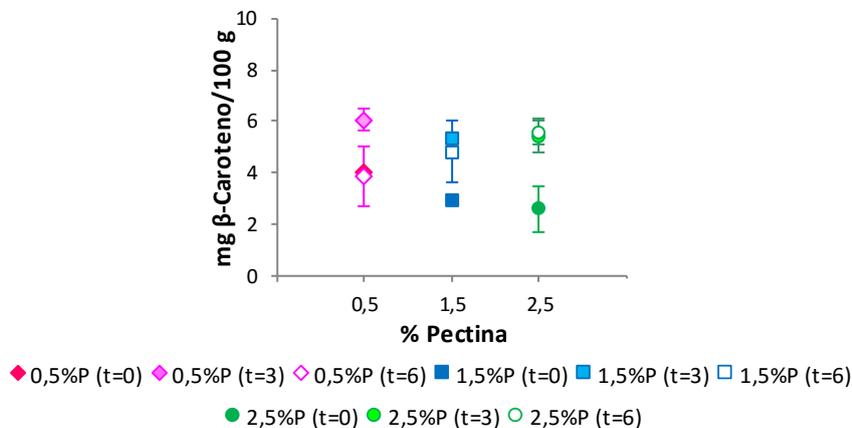


Figura IV.42. Valores del contenido en β -caroteno de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

La figura IV.43 refleja el efecto del % de isomaltulosa. Cabe resaltar como, en los productos recién elaborados, se produjo una brusca bajada del valor de β -caroteno, cuando el nivel del % de isomaltulosa fue el más alto utilizado (50 %). Este hecho podría estar relacionado con la menor solubilidad de este azúcar, respecto a la fructosa, confirmando el efecto positivo de la interacción % isomaltulosa-tiempo de tratamiento térmico, visto anteriormente. Asimismo, este efecto no sería tan relevante durante el periodo de almacenamiento, debido a que con el tiempo, el producto se asienta y se endurece la red formada.

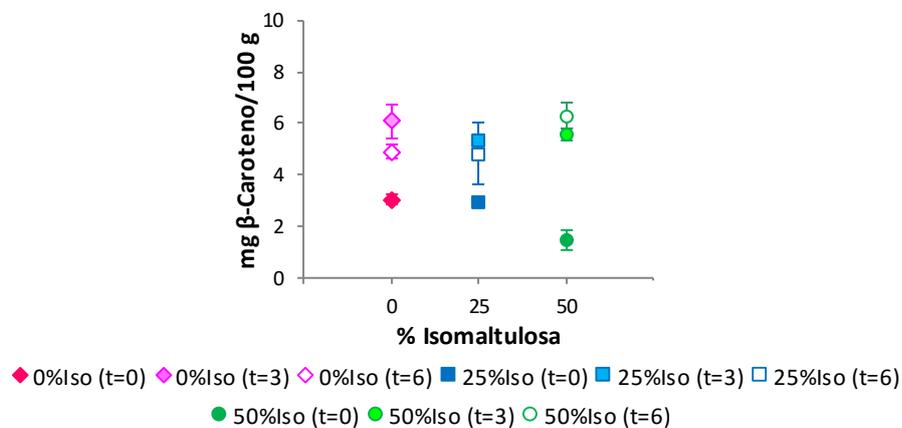


Figura IV.43. Valores del contenido en β -caroteno de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de isomaltulosa (0, 25 y 50 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

En el caso de la influencia del tiempo de tratamiento térmico (figura IV.44), el valor de β -caroteno aumentó en los productos almacenados de acuerdo al tiempo de tratamiento térmico. Probablemente debido a una mejor homogenización del producto, que se vio confirmada durante el almacenamiento.

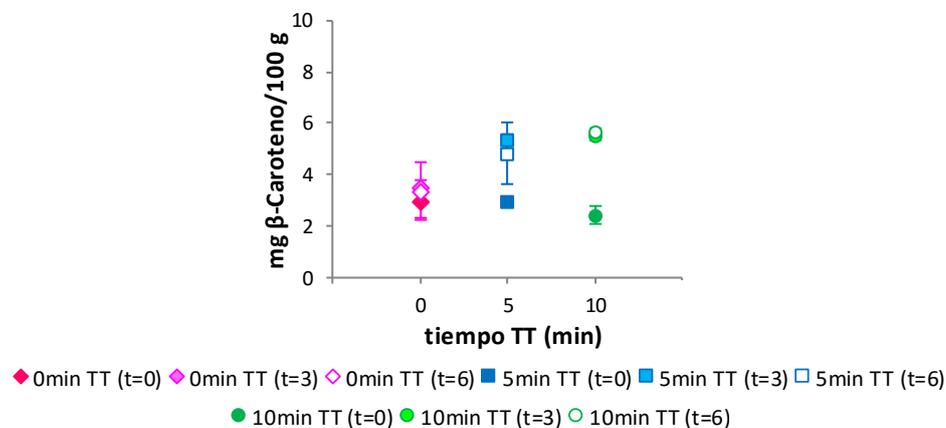


Figura IV.44. Valores del contenido en β -caroteno de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo del tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

En cuanto al contenido en licopeno, el análisis estadístico reveló que únicamente los productos almacenados durante 3 meses, se vieron influenciados por las variables de proceso (tabla 3.12 del anexo VI.3). Estas variables fueron el % de pectina, el % de ácido cítrico y su interacción.

El importante efecto que tiene una bajada brusca de pH sobre la concentración de pectina en el medio, se vuelve a confirmar en el gráfico de la interacción % de pectina-% de ácido cítrico en los productos almacenados durante 3 meses (figura IV.45). Donde puede verse que los mayores valores para estas dos variables juntas, provocarían los valores más bajos en el contenido en licopeno de los productos.

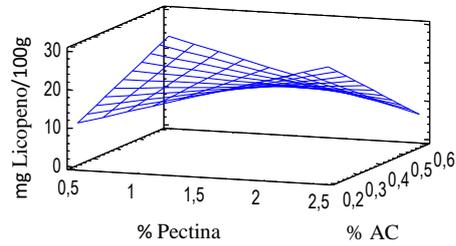


Figura IV.45. Gráfico de superficie de respuesta estimada para el contenido en licopeno de los untables de tomate almacenados durante 3 meses, en función de los % de pectina y ácido cítrico. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.

La figura IV.46 expone la influencia del % de pectina sobre el contenido en licopeno de los untables de tomate. En los productos representados, no se puede observar una tendencia clara, aunque de acuerdo a los resultados del análisis estadístico, que tiene en cuenta la totalidad de los datos obtenidos, el efecto del % de pectina fue positivo. De forma que según aumentó la concentración de pectina, lo hizo también el valor del licopeno en el producto.

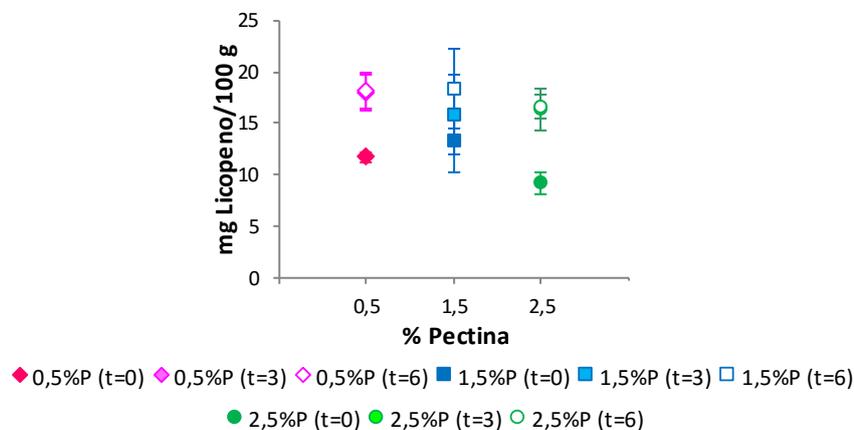


Figura IV.46. Valores del contenido en licopeno de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

La figura IV.47 muestra la influencia del % de ácido cítrico en el contenido de licopeno de los untables. Se puede apreciar como, cuando se alcanzó el mayor % de ácido cítrico, se produjo una fuerte disminución en el valor del licopeno, producida por la bajada brusca del pH en el medio. Estos resultados coincidirían con los obtenidos por Boon *et al.* (2009). Quienes observaron un impacto significativo del pH en la estabilidad del licopeno, encontrando la degradación más rápida en aquellos sistemas con pH igual o menor a 4.

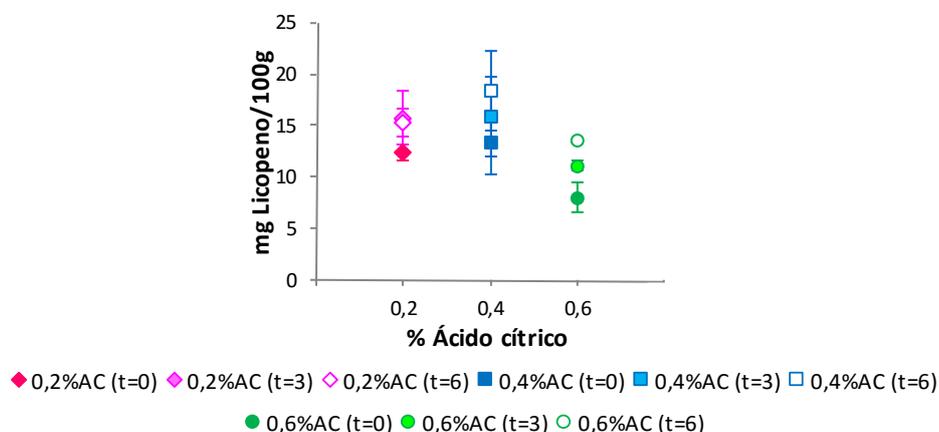


Figura IV.47. Valores del contenido en licopeno de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

IV.3.6.4 Capacidad antioxidante de los productos untables

Alonso *et al.* (1999) estudiaron la capacidad antioxidante de diferentes alimentos y el potencial de interacción de los principales constituyentes antioxidantes de los mismos. En el estudio se observó tanto antagonismo, como sinergismo entre los compuestos, concluyendo así, que la actividad antioxidante de un alimento depende tanto de la naturaleza de los antioxidantes naturales presentes en él, como de su concentración.

A su vez, los resultados obtenidos por Gardner *et al.* (2000) señalaron, que aunque todos los zumos que evaluaron, presentaron compuestos fenólicos, la mayor actividad antioxidante se encontró en aquellos que contenían las mayores concentraciones en vitamina C. Además, en el caso de los zumos de cítricos, el aporte de vitamina C al total de la actividad antioxidante, fue de un 65-100 %, siendo menor al 5 % en zumo de manzana, piña y vegetales. Por otra parte, la contribución de los carotenoides al potencial antioxidante de los zumos estudiados, fue

despreciable. Mientras que en los zumos no-cítricos, el mayor aporte a su poder antioxidante, fue de los compuestos fenólicos.

Teniendo en cuenta el efecto que pueden tener los distintos compuestos antioxidantes y su interacción, sobre la actividad antioxidante de un producto, resulta fundamental, además de la determinación del contenido de los principales compuestos antioxidantes, determinar su capacidad antioxidante total.

En la tabla IV.31, se recogen los valores obtenidos para el % de inhibición del DPPH. Como cabía esperar, por los resultados alcanzados en la determinación de los principales compuestos antioxidantes del tomate (ácido ascórbico, fenoles totales, β -caroteno y licopeno), se observa un aumento en la actividad antioxidante de los productos untables tras el procesado, respecto al tomate fresco (tabla IV.26). Siempre teniendo en cuenta para esta comparación que 100 g de producto contienen aproximadamente 50 g de tomate fresco. Estos resultados estarían de acuerdo con otros autores, que observaron un aumento de la actividad antioxidante tras el procesado del tomate (Dewanto *et al.*, 2002; Gahler *et al.*, 2003). A su vez, los datos revelan un importante efecto del tiempo de almacenamiento sobre la actividad antioxidante, encontrándose una fuerte disminución a partir del tercer mes de almacenamiento.

Tabla IV.31. Capacidad antioxidante, expresada como % de inhibición del DPPH, de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) (n=3).

F	% I	% P	% C	S (ppm)	TT (min)	Tiempo 0	Tiempo 3	Tiempo 6
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	17,9 (0,7)	19,80 (1,04)	13,3 (0,4)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	22,4 (0,8)	17,9 (0,8)	13,19 (1,07)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	18,33 (0,09)	24,57 (1,12)	8,8 (1,5)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	20,5 (0,2)	22,6 (0,6)	9,9 (0,7)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	19,6 (0,2)	29,8 (0,6)	12,1 (0,3)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	27,6 (0,4)	30,8 (0,4)	11,2 (0,6)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	27,8 (1,7)	19,7 (0,4)	12,3 (0,8)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	24,5 (0,2)	23,0 (0,9)	10,4 (1,2)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	26,55 (0,03)	17,5 (0,3)	13 (2)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	22,3 (0,2)	19,9 (0,7)	11,7 (0,6)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	28,3 (0,6)	31,7 (0,2)	17,1 (0,5)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	21,83 (0,02)	21,1 (0,6)	11,5 (0,4)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	17,3 (0,2)	13,9 (0,8)	13,87 (1,13)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	29,2 (0,2)	12,2 (1,6)	12,8 (0,7)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	26,6 (1,9)	17,75 (1,09)	12,9 (0,4)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	26,9 (1,5)	16,6 (1,3)	10,7 (0,9)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	24,5 (1,3)	17,1 (0,2)	12,9 (0,4)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	26,4 (0,5)	15,8 (0,2)	11,5 (0,4)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	24,6 (1,3)	16,5 (0,9)	12,1 (0,7)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	24,4 (0,7)	15,18 (1,19)	11,9 (0,4)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	27,6 (0,6)	11,3 (0,9)	12,9 (0,3)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	28,318 (1,012)	16,9 (0,7)	12,8 (1,5)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	26,2 (1,5)	10,9 (0,6)	11,0 (1,3)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	26,3 (0,2)	14,93 (1,15)	10 (2)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	27,9 (0,5)	15,44 (1,18)	14,3 (0,9)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	29,1 (0,5)	11,68 (1,06)	11,1 (0,4)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	24,9 (0,9)	14,5 (0,5)	13,6 (0,7)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	28,3 (0,6)	14,7 (1,4)	13,538 (1,012)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm);

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

La tabla 3.13 del anexo VI.3 muestra el resumen del ANOVA realizado para la actividad antioxidante de los productos recién elaborados y almacenados durante 3 y 6 meses.

Según el análisis estadístico, la única variable de proceso que influyó de forma significativa sobre los valores de la actividad antioxidante de los productos recién elaborados, fue el % de pectina. A los 3 meses de almacenamiento, la influencia de esta variable siguió siendo relevante y además, se hizo patente el papel de otras variables de proceso que tuvieron efecto significativo en el contenido de los compuestos antioxidantes determinados, como son el % de ácido cítrico y el tiempo de tratamiento térmico. No obstante, la influencia de estas variables, no se hizo patente en el último periodo de almacenamiento (tiempo total 6 meses), donde los valores obtenidos para las distintas formulaciones, además de bajos, fueron también, muy próximos entre sí.

La figura IV. 48 muestra el gráfico de superficie de respuesta de la interacción % de pectina-% de ácido cítrico para los productos almacenados durante 3 meses. En él se vuelve a poner de manifiesto la importancia de la adición de ácido cítrico a un sistema con pectina.

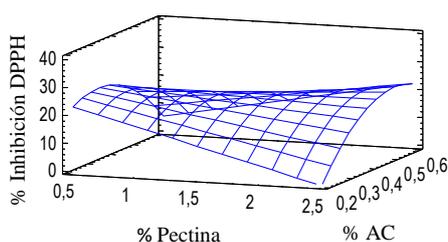


Figura IV.48. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la capacidad antioxidante de los untables de tomate almacenados durante 3 meses, en función de los % de pectina y ácido cítrico. El resto de las variables de proceso se mantuvieron en el valor medio del diseño.

Cómo no se han encontrado diferencias significativas entre los distintos tratamientos tras 6 meses de almacenamiento, el estudio de la influencia de las variables de proceso sobre la actividad antioxidante de los untables, se va a basar en las variables de proceso que han marcado este valor, durante los 3 primeros meses de almacenamiento. Es decir, el % de pectina, el % de ácido cítrico y el tiempo de tratamiento térmico.

La figura IV.49 muestra la influencia del % de pectina sobre la actividad antioxidantes de los productos. Como se observa, el efecto de esta variable sobre el valor de la capacidad antioxidante de los productos recién elaborados y después de 3 meses de almacenamiento, fue negativo, disminuyendo su valor según aumentó el % de pectina.

Aunque se requerirían pruebas adicionales que lo confirmaran, estos resultados podrían estar relacionados con el método seguido para la extracción y cuantificación de la actividad antioxidante, el cual, podría no ser el más indicado para esta clase de productos gelificados. Este problema se vería agudizado, además, a mayores % de pectina. Por otra parte, la influencia negativa de la pectina, también podría afectar a otros compuestos antioxidantes distintos a los estudiados en esta tesis, los cuales podrían presentar un elevado poder de inhibición del DPPH, llevando a los resultados obtenidos.

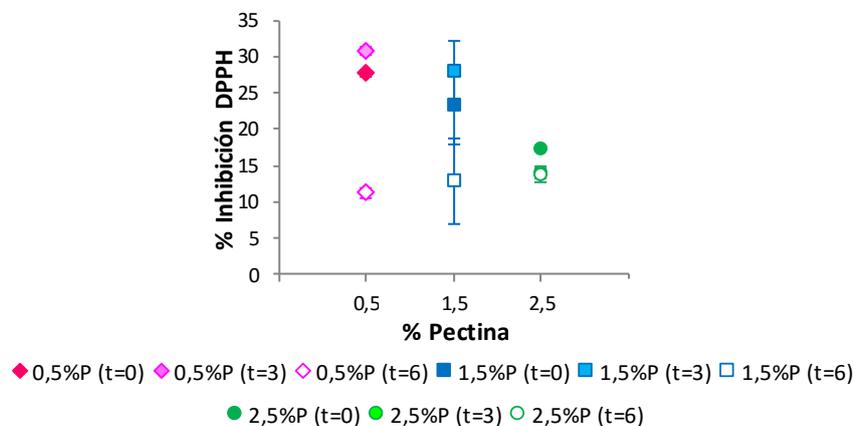


Figura IV.49. Valores de la capacidad antioxidante de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de pectina (0,5, 1,5 y 2,5 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

La figura IV.50 refleja el valor de la actividad antioxidante en función del % de ácido cítrico. Dejando aparte los productos recién elaborados y almacenados durante 6 meses, donde no se aprecian grandes diferencias entre los valores obtenidos. En los productos almacenados durante 3 meses se observa cómo, según aumentó el % de ácido cítrico en la formulación, disminuyó la inhibición del DPPH. Esta tendencia también se apreció en los resultados del contenido en compuestos fenólicos, relacionándose con la rotura del gel debido al bajo pH alcanzado.

En cualquier caso, no hay que olvidar que la fuerza de la estructura generada viene supeditada, no sólo a la adición de ácido cítrico, sino también a su interacción con la pectina. De tal forma, que cuanto más fuerte sea la red que se forme, más limitadas serán las reacciones de degradación de los compuestos antioxidantes.

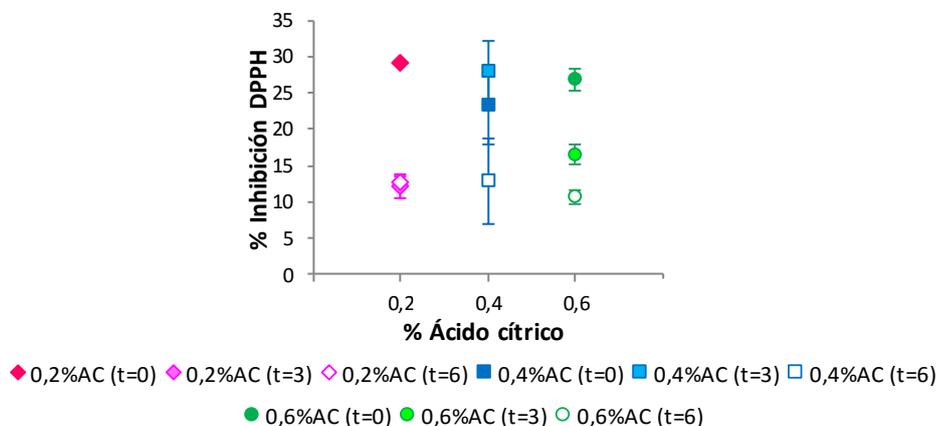


Figura IV.50. Valores de la capacidad antioxidante de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del % de ácido cítrico (0,2, 0,4 y 0,6 %), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

En la figura IV.51 se muestra el efecto del tiempo de tratamiento térmico sobre la capacidad antioxidante de los untables. Al igual que en el ácido ascórbico y los fenoles totales, la actividad antioxidante aumentó según lo hizo el tiempo del tratamiento térmico, pero cuando el tiempo fue demasiado elevado, su valor disminuyó bruscamente. Como ya se ha comentado anteriormente, este hecho podría estar relacionado con una mejor homogenización de los ingredientes y una óptima disolución de las pectinas, gracias a la temperatura, favoreciéndose así, la formación del gel. No obstante, un tratamiento térmico demasiado agresivo, produciría una disminución notable de los compuestos más termolábiles y ello influiría en la capacidad antioxidante total.

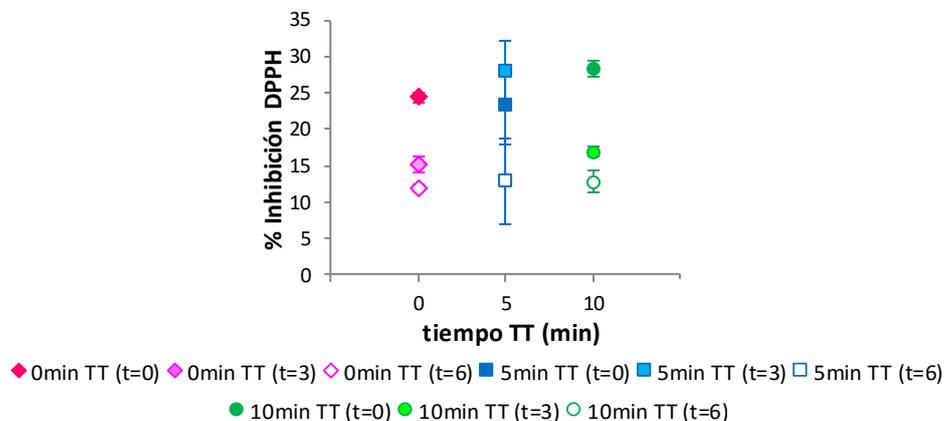


Figura IV.51. Valores de la capacidad antioxidante de los untables de tomate. Los productos representados corresponden a las formulaciones con un nivel bajo, medio y alto del tiempo del tratamiento térmico (0, 5 y 10 min), manteniendo el valor medio del resto de variables de proceso.

Teniendo en cuenta la tendencia que siguen los resultados, se podría concluir que la actividad antioxidante del tomate viene principalmente definida por el contenido en los compuestos hidrosolubles, más que por los liposolubles.

Pérez-Conesa *et al.* (2009), señalan que en los tomates, la fracción hidrofílica muestra mayor actividad antioxidante que la fracción lipofílica, pero dependiendo del método de determinación utilizado, la actividad hidrófila puede representar un menor o mayor % de la actividad antioxidante total.

Además, hay que tener en cuenta que debido a la naturaleza lipofílica de los compuestos carotenoides determinados y a la estructura del propio producto, puede que el método utilizado para la determinación de la capacidad antioxidante total, no fuera el más adecuado. En este sentido, métodos de análisis con separación de fases (hidrofílica y lipofílica), serían recomendables para conseguir una correcta extracción de los distintos compuestos antioxidantes.

IV.3.7. Optimización de la formulación de los productos untables

Una vez realizado el estudio, por separado, de la influencia de las variables de proceso, sobre los parámetros de calidad de los productos elaborados, se llevó a cabo la optimización de dichas variables de proceso, con el fin de formular un producto untable de tomate, con las características deseadas.

Para ello, se marcaron los siguientes objetivos:

- Conseguir la menor degradación posible de los parámetros de color, por lo que se tomaron como valores deseados, las coordenadas colorimétricas del tomate fresco.
- Alcanzar el máximo contenido en compuestos antioxidantes en el producto final, por lo que se marcó como meta del análisis, maximizar los valores de dichos compuestos.
- Por último, como durante el almacenamiento se vio una importante bajada en la consistencia y la adhesividad de los productos, se optó también por maximizar los valores de estos parámetros.

La tabla IV.32 muestra los resultados de los valores óptimos de las variables de proceso, para alcanzar los objetivos establecidos. Se puede observar, como coherentemente con los resultados de la tesis, estos valores coincidirían con tiempos moderados del tratamiento térmico, valores medios del % de ácido cítrico y valores medios del conservante (sorbato potásico). Además, cabe resaltar el hecho de que los valores óptimos para el % de isomaltulosa y el % de pectina, son los máximos del diseño. Estos resultados constatarían la importancia de las variables de proceso, en la adecuada formación de la matriz del producto.

Tabla IV.32. Resumen de los valores óptimos de las variables de proceso, obtenidos mediante la optimización de múltiples respuestas del diseño experimental.

Variables	Valores Óptimos
% Isomaltulosa	50,0
% Pectina	2,5
% Ácido cítrico	0,475275
Sorbato Potásico (ppm)	253,385
Tiempo de tratamiento térmico (min)	7,64499

En la tabla IV.33 se recoge el resumen de los valores objetivo y los valores óptimos alcanzados para las variables respuesta, de acuerdo a la optimización de las variables de proceso.

Tabla IV.33. Resumen de los valores óptimos de las variables de proceso, obtenidos mediante la optimización de múltiples respuestas del diseño experimental.

Respuesta	Valores Objetivo	Valores Óptimos
L*	43	31,27
a*	20	10,34
b*	16	11,56
Consistencia	maximizar	6,00
Adhesividad	maximizar	1,08
Ácido ascórbico	maximizar	5,88
Fenoles totales	maximizar	17,36
β-caroteno	maximizar	5,36
Licopeno	maximizar	19,99
% Inhibición DPPH	maximizar	13,36

IV.3.8. Conclusiones relacionadas con la optimización del proceso de elaboración de productos untables de tomate de 50 °Brix

- La a_w y el pH de los untables de tomate, fueron los parámetros fisicoquímicos más influenciados por las variables de proceso. El % de isomaltulosa y el % de pectina, fueron las variables que tuvieron un efecto significativo sobre la a_w de los productos, siendo el % de isomaltulosa la variable con mayor peso sobre este valor. En el caso del pH, el % de ácido cítrico y el % de pectina, fueron las variables más influyentes, siendo como cabría esperar, el % de ácido cítrico el factor más relevante.
- A nivel microbiológico, todos los productos elaborados permanecieron estables a lo largo del almacenamiento, no presentando crecimiento microbiano (aerobios mesófilos, y hongos y levaduras), en ninguna de las formulaciones estudiadas. Por tanto, no sería necesario un tratamiento térmico extra al envasado en caliente, ni una conservación en refrigeración, para asegurar su estabilidad microbiológica a lo largo del periodo de almacenamiento estudiado.
- En cuanto a las propiedades ópticas, los productos untables presentaron mayores diferencias de color, respecto al tomate fresco, después del almacenamiento, que recién elaborados, observándose un oscurecimiento de las muestras tras 6 meses de almacenamiento. Las variables de proceso que más influyeron en la diferencia de color de los productos fueron, el tiempo de tratamiento térmico y la interacción % de pectina-% de ácido cítrico.
- Los parámetros de textura (consistencia y adhesividad) de los productos untables se vieron, principalmente, influenciados por el

% de pectina, el % de ácido cítrico y el tiempo de tratamiento térmico, siendo la interacción % de pectina-% de ácido cítrico, la de mayor peso en el resultado final. Cantidades elevadas de ácido cítrico, dieron como resultado menores valores de estos parámetros, debido probablemente, a la hidrólisis del gel por la bajada del pH. Asimismo, se observó cómo un aumento en el tiempo del tratamiento térmico favoreció la formación del gel.

- ↻ En relación al contenido en ácido ascórbico y fenoles totales, el procesado consiguió preservar o incluso aumentar el contenido en estos compuestos, produciéndose sin embargo, una degradación sustancial durante el almacenamiento. El % de pectina, el % de ácido cítrico y el tiempo de tratamiento térmico, fueron las variables de proceso con mayor influencia sobre el contenido de estos compuestos en los untables.
- ↻ Tanto el procesado como el almacenamiento dieron lugar a un aumento del contenido en β -caroteno y licopeno en los untables de tomate. En el caso del β -caroteno, las variables de proceso con mayor efecto sobre su contenido fueron, el % de isomaltulosa, el % de pectina y el tiempo de tratamiento térmico y para el licopeno, el % de pectina y la interacción % de pectina-% de ácido cítrico.
- ↻ La capacidad antioxidante total de los productos untables aumentó con el procesado de los mismos. Los resultados revelaron un importante efecto del tiempo de almacenamiento sobre su valor, disminuyendo de forma notable después de 3 meses de almacenamiento. Las variables de proceso que influyeron en mayor medida sobre este parámetro fueron, el % de pectina, el % de ácido cítrico y el tiempo de tratamiento térmico.

- Las variables de proceso con mayor influencia sobre el contenido en los compuestos antioxidantes, están fuertemente relacionadas con la formación y la estructura del gel que se origina durante la elaboración de los untables. De esta forma, se consigue una mejor retención y/o protección de estos compuestos en la matriz del producto, cuanto mayor es la fuerza del gel. En este sentido, cabe resaltar la influencia de la interacción % de pectina-% de ácido cítrico y el tiempo de tratamiento térmico. En general, un aumento en el % de ácido cítrico resultó en valores más altos del contenido en compuestos antioxidantes de los productos elaborados, pero cuando el nivel de ácido utilizado fue demasiado elevado (0,6 %), su valor disminuyó de forma considerable. En el caso del tiempo de tratamiento térmico se observó cómo, los untables elaborados con un tratamiento térmico suave, presentaron mayores valores de antioxidantes que aquellos elaborados con el tratamiento más agresivo (10 minutos a 90 °C) debido probablemente a una posible degradación térmica en este último caso.
- Finalmente, los valores óptimos de las variables de proceso para elaborar un producto untable de tomate de 50 °Brix de bajo índice glicémico por deshidratación osmótica por vía seca, que conserve al máximo el color del tomate fresco y sus compuestos antioxidantes, después de 6 meses de almacenamiento, serían las siguientes: 50 % de isomaltulosa, 2,5 % de pectina, 0,5 % de ácido cítrico, 253,4 ppm de sorbato potásico y 7,6 minutos a 90 °C.

V. BIBLIOGRAFÍA CITADA

V. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- 5aldia (2008). España, el mayor consumidor de tomates en la unión europea. Última fecha de consulta on-line: Septiembre-2015. Dirección URL: http://www.5aldia.org/v_5aldia/informacion/informacionver.asp?cod=1896&te=701&idage=3736
- Agustí, R. (2010). Influencia de los tratamientos térmicos en la elaboración de productos untables de tomate formulados con isomaltulosa-fructosa o sacarosa. Tesina de Master. IU-IAD. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ahmed, J. & Ramaswamy, H.S. (2006a). Viscoelastic properties of sweet potato puree infant food. *Journal of Food Engineering*, 74, 376-382.
- Ahmed, J. & Ramaswamy, H.S. (2006b). Viscoelastic and thermal characteristics of vegetable puree-based baby foods. *Journal of Food Engineering*, 29, 219-233.
- Ahmed, J. & Ramaswamy, H.S. (2007). Dynamic and steady shear rheology of fruit puree based baby foods. *Journal of Food Science and Technology*, 44(6), 579-585.
- Ahmed, J., Ramaswamy, H.S. & Sashidhar, K.C. (2007) Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 225-231.
- Alcarria, T. (2010). Influencia de las variables de proceso de obtención de untables de tomate en el comportamiento de diferentes compuestos antioxidantes: ácidos fenólicos y licopeno. Proyecto Final de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia.
- Alonso, P., Salucci, M., Lázaro, R., Malani, G. & Ferro-Luzzi, A. (1999). Capacidad antioxidante y potencial de sinergismo entre los principales constituyentes antioxidantes de algunos alimentos. *Rev Cubana Alim Nutric*, 13 (2), 104-111.
- A.O.A.C. (1980). Association of Official Analytical Chemist. Official methods of analysis. 13th Edition. Washington, DC, USA.
- Augusto, P.E.D., Falguera, V., Cristianini, M. & Ibarz, A. (2011). Viscoelastic properties of tomato juice. 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11). *Procedia Food Science*, 1, 589-593.

- Augusto, P.E.D., Cristianini, M. & Ibarz, A. (2012a). Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. *Journal of Food Engineering*, 108, 283–289.
- Augusto, P.E.D., Ibarz, A. & Cristianini, M. (2012b) Effect of High Pressure Homogenization (HPH) on the Rheological Properties of Tomato Juice: Viscoelastic Properties and the Cox-Merz Rule. *Journal of Food Engineering* (Aceptado 21/07/2012).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.025>
- Barbosa-Cánovas, G. V. & Vega-Mercado, H. (1996). Dehydration of foods. Chapman & Hall. International Thomson Publishing. pp. 330.
- Basu, S., Shivhare, U.S., Singh, T.V. & Beniwal, V.S. (2011). Rheological, textural and spectral characteristics of sorbitol substituted mango jam. *Journal of Food Engineering*, 105, 503–512.
- Bayod, E., Willers, E.P. & Tornberg, E. (2008). Rheological and structural characterization of tomato paste and its influence on the quality of ketchup. *LWT-Food Science and Technology*, 41 (7), 1289-1300.
- Bayod, E. & Tornberg, E. (2011). Microstructure of highly concentrated tomato suspensions on homogenisation and subsequent shearing. *Food Research International*, 44, 755–764.
- Bistany K.L. & Kokini J.L. (1983) Dynamic Viscoelastic Properties of Foods in Texture Control. *Journal of Rheology*, 27 (6), 605-620.
- Blanco, J. (2002). Guía para la práctica. Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos. Consumir azúcar con moderación. *Revista Cubana de Aliment y Nutrición*, 16 (2), 142-145.
- Boon, C.S., McClements, D.J., Weiss, J. & Decker, E.A. (2009). Role of iron and hydroperoxides in the degradation of lycopene in oil-in-water emulsions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57 (7), 2993-2998.
- Bray, G.A., Nielsen, S. J. & Popkin, B.M. (2004). Consumption of high-fructose corn syrup in beverages may play a role in the epidemic of obesity. *The American journal of clinical nutrition*, 79 (4), 537-543.
- Castelló, M., Fito, P. & Chiralt, A. (2006). Effect of osmotic dehydration and vacuum impregnation on respiration rate of cut strawberries. *LWT - Food Science and Technology*, 39 (10), 1171–1179.

- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano B. & Velázquez, O. (2009). *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos*. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- Candelas-Cadillo, M.G., Alanís-Guzmán, M.G.J., Bautista-Justo, M., Del Río-Olague, F., García-Díaz, C. (2005). Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4, 299-307.
- Chamarro, J. (1995). Anatomía y fisiología de la planta. En: *El cultivo del tomate*. Obra coordinada y dirigida por F. Nuez. Eds: Mundi Prensa. pp 43-92.
- Costell, E., Carbonell, E. & Duran, L. (1993). Rheological indices of fruit content in jams: effect of formulation on flow plasticity of sheared strawberry and peach jams. *Journal of Texture Studies*, Vol 24 (4), 375-390.
- Cox, W.P. & Merz, E.H. (1958). Correlation of Dynamic and Steady Flow Viscosities. *Journal of Polymer Science*, 28, 619-622.
- Coy, J.F. & Franz, M. (2010). La glucosa es un veneno para las estructuras celulares En *La nueva dieta anti cáncer: como detener el gen del cáncer*. Eds: Hispano Europea. pp: 208.
- Da Silva, J.A.L. & Rao, M.A. (1992). Viscoelastic Properties of Food Hydrocolloid Dispersions. In: Rao, M.A., Steffe, J.F. (Eds.), *Viscoelastic Properties of Foods*. Elsevier Science Publishers Ltd., London.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K. & Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50 (10), 3010-3014.
- Díaz, A. (2003). Proyecto de una fábrica de mermelada. Proyecto Final de Carrera. Universidad de Castilla La Mancha.
- Díez, M.J. & Nuez, F. (2008). Tomato In: *Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae*. Eds: Jaime Prohens-Tomás, Fernando Nuez. Springer Science & Business Media. pp 249-323.
- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., & Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(5), 369-382.
- Edlin, D.J. (2009). Heirloom and hybrid tomato yield and quality in organic and conventional production systems. Masters Theses & Specialist Projects. Paper 135. Western Kentucky University.

- Elliott, S.S., Keim, N.L., Stern, J.S., Teff, K. & Havel, P.J. (2002). Fructose, weight gain, and the insulin resistance syndrome. *The American journal of clinical nutrition*, 76(5):911-22.
- Emese, J. & Nagymate, P.F. (2008). The Stability of Vitamin C in Different Beverages. *British Food Journal*, 110 (3), 296-309.
- Engelhart, M.J., Geerlings, M.I., Ruitenber, A., van Swieten, J.C., Hofman, A., Wittman, J.C. & Breteler, M.M. (2002). Dietary Intake of Antioxidants and Risk of Alzheimer Disease. *The journal of american medical association*, 287 (24), 3223-3229.
- EUFIC (2001). El origen de los tomates. Última fecha de consulta on-line: Septiembre-2015.
Dirección URL: <http://www.eufic.org/article/es/artid/tomates/>
- EUROSTAT (2014). Crops products - annual data (apro_cpp_crop). Última fecha de consulta on-line: Septiembre-2015. Dirección URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/database>
- Fachin, D., Van Loey, A. M., Nguyen, B. L., Verlent, I. & Hendrickx, M. E. (2003). Inactivation kinetics of polygalacturonase in tomato juice. *Innovative food science & emerging technologies*, 4 (2), 135-142.
- FAOSTAT (2013). Food and agriculture organization of the united nations. Última consulta on-line: Septiembre-2015. Dirección URL: <http://faostat3.fao.org/home/E>
- FEPEX (2015a). Federación Española de Asociaciones de Productores Exportadores de Frutas, Hortalizas, Flores y Plantas vivas. La exportación de frutas y hortalizas frescas crece un 12% en valor y un 6% en volumen en el primer semestre de 2015. 31/08/2015.
Última consulta on-line: Septiembre-2015. Dirección URL: <http://www.fepex.es/noticias/detalle/exportaci%C3%B3n-frutas-hortalizas-2015-tomate-lechuga-primer-semestre>
- FEPEX (2015b). Federación Española de Asociaciones de Productores Exportadores de Frutas, Hortalizas, Flores y Plantas vivas. Crece un 12,45% la importación española de frutas y hortalizas frescas en el primer semestre de 2015. Última consulta on-line: Septiembre-2015. Dirección URL: <http://www.fepex.es/noticias/detalle/Crece-imports-frutas-hortalizas-primer-semestre-2015>

- Fernández C. (2008). Caracterización reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados. Efectos del proceso y adición de crioprotectores. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Ferry, J. D. (1980). *Viscoelastic properties of polymers* (Third edition). New York: J. Wiley & Sons.
- Fito, P., Andrés, A., Albors, A. & Barat, J. (1998). Deshidratación de productos agrícolas: Secado por aire caliente. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Frusciante, L., Carli, P., Ercolano, M.R., Pernice, R., Di Matteo, A., Fogliano, V. & Pellegrini, N. (2007). Antioxidant nutritional quality of tomato. *Molecular nutrition & food research*, 51(5), 609-617.
- Gabriele, D., de Cindio, B. & D'Antona, P. (2001). A weak gel model for foods. *Rheologica Acta*, 40, 120-127.
- Gahler, S., Otto, K., & Böhm, V. (2003). Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (27), 7962-7968.
- Gann, P. H., Ma, J., Giovannucci, E., Willett, W., Sacks, F. M., Hennekens, C. H., & Stampfer, M. J. (1999). Lower prostate cancer risk in men with elevated plasma lycopene levels results of a prospective analysis. *Cancer research*, 59 (6), 1225-1230.
- García, E., Ruiz, J., Martínez, J., Camacho, M.M., Martínez, N. & Chiralt, A. (2002). Jam manufacture with osmodehydrated fruit. *Food Research International*, 35, 301-306.
- García, E. (2005). Cambios fisicoquímicos en la disolución osmótica durante la deshidratación de kiwi. Reutilización y aplicación en la elaboración de mermeladas y productos gelificados. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- García, F.J. (2003). Clasificación de los frutos: bayas. Universidad Politécnica de Valencia. Última fecha de consulta on-line: Septiembre-2015. Dirección URL: http://www.euita.upv.es/varios/biologia/web_frutos/Bayas.htm
- García-Martínez, E; Ruiz-Díaz, G.; Martínez-Monzó, J; Camacho, MM; Martínez-Navarrete, N. & Chiralt, A. (2002). Jam manufacture with osmodehydrated fruit. *Food Research International*, 35 (2-3), 301-306.

- Gardner, P.T., White, T.A., McPhail, D.B., & Duthie, G.G. (2000). The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. *Food Chemistry*, 68 (4), 471-474.
- Gärtner, C., Stahl, W., & Sies, H. (1997). Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes. *The American journal of clinical nutrition*, 66 (1), 116-122.
- Garza, S. (1998). Caracterización reológica y microbiológica, y cinéticas de deterioro en cremogenado de melocotón. Tesis Doctoral. Universitat de Lleida.
- Giovannucci, E. (1999). Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute*, 91 (4), 317-331.
- Giovannucci, E., Rimm, E. B., Liu, Y., Stampfer, M. J. & Willett, W. C. (2002). A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. *Journal of the National Cancer Institute*, 94 (5), 391-398.
- Gould, W.A. (1983). Tomato production, processing and quality evaluation. AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut.
- Gould, W.A. (1992). Tomato production, processing and technology. CTI Publications. Baltimore, USA.
- Gunasekaran S. & Ak M.M. (2000) Dynamic oscillatory shear testing of foods – selected applications. *Trends in Food Science & Technology*, 11, 115-127.
- Helyes, L., Pék, Z., & Lugasi, A. (2006). Tomato fruit quality and content depend on stage of maturity. *HortScience*, 41(6), 1400-1401.
- Heredia, A. (2008) Métodos combinados de deshidratación para la mejora de la calidad sensorial y nutricional de tomate deshidratado. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Hsu, K.C. (2008). Evaluation of processing qualities of tomato juice induced by thermal and pressure processing. *LWT-Food Science and Technology*, 41(3), 450-459.
- Hussain, I., Zeb, A., Shakir, I., & Shah, A.S. (2008). Combined effect of potassium sorbate and sodium benzoate on individual and blended juices of apricot and apple fruits grown in Azad Jammu and Kashmir. *Pak. J. Nutr*, 7(1), 181-185.

- Igual, M., Contreras, C. & Martínez-Navarrete, N. (2010). Non-conventional techniques to obtain grapefruit jam. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 335–341.
- Infoagro.com. Evolución de las últimas novedades alimentarias en hortofruticultura derivadas de las nuevas demandas de consumo, así como del i + d: los productos alimenticios de la IV y V gama. Carreres, J.E. Última fecha de consulta on-line: Septiembre-2015. Dirección URL: http://www.infoagro.com/hortalizas/productos_iv_v_gama.htm
- Kaga, T. & Mizutani, T. (1985). “Verwendung von Palatinose für Nahrungsmittel. Seito Gijutsu Kenkyukai” 34, 45-57.
- Karabulut, O.A., Lurie, S. & Droby, S. (2001). Evaluation of the use of sodium bicarbonate, potassium sorbate and yeast antagonist for decreasing postharvest decay of sweet cherries. *Postharvest Biology and Technology*, 23, 233–236.
- Kealy, T. (2006). Application of liquid and solid rheological Technologies to the textural characterization of semi-solid foods. *Food research Internacional*, 39, 265-276.
- Khan, U., Ullah, J., Saeed, B. & Ali, F. (2014). Effect of potassium sorbate and sodium benzoate on the quality and shelf-life of strawberry jam during storage. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 9 (12), 454-458.
- Kim, D.O. & Padilla-Zakour, O.I. (2004). Jam processing effect on phenolics and antioxidant capacity in anthocyanin-rich Fruits: cherry, plum, and raspberry. *Journal of Food Science*, 69 (9), 395-400.
- Kozukue, N. & Friedman, M. (2003). Tomatine, chlorophyll, β -carotene and lycopene content in tomatoes during growth and maturation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 195-20.
- Lafont, F., Rios, G., Raoult-Wack, A.L. & Guilbert, S. (1988). Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties In *Drying'88*. Eds: A.J. Mujundar & M. Roques. Hemisphere Publishing Corporation. New York, USA. pp. 487-495.
- Lenart, A & Flink, J.M. (1984). Osmotic concentration of potato II. Spatial distribution of the osmotic effect. *International Journal of Food Science & Technology*, 19 (1), 65-89.
- Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M. & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food science*, 50 (4), 1217-1226.

- Lupi, F.R., Gabriele, D., de Cindio, B., Sánchez, M.C. & Gallegos, C. (2011). A rheological analysis of structured water-in-olive oil emulsions. *Journal of Food Engineering*, 107, 296–303.
- Maceiras, R., Álvarez, E. & Cancela, M.A. (2007). Rheological properties of fruit purees: Effect of cooking. *Journal of Food Engineering*, 80 (3), 763-769.
- Madhavi D.L. & Salunkhe, D.K. (1998). Chapter 7. Tomato In: *Handbook of vegetable science and technology: production, composition, storage, and processing*. Salunkhe, D.K. & Kadam, S.S. CRC Press. pp. 742.
- Mandala, I.G., Anagnostaras, E.F. & Oikonomou, C.K. (2004). Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69, 307-316.
- Mandala, I.G., Anagnostaras, E.F. & Oikonomou, C.K. (2005). Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69, 307-315.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., Provan, G. & Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(3), 323-330.
- Mataix, J. (2005). Capítulo 3. Hidratos de carbono En *Nutrición para educadores*. Autor: José Mataix Verdú. Eds: Díaz de Santos. pp: 752.
- Mataix, J. & Sánchez, F. (2009). Capítulo 3. Hidratos de carbono En *Tratado de nutrición y alimentación humana. vol.1, Nutrientes y alimentos*. Autor: José Mataix Verdú. Nueva edición ampliada. Eds: Océano/Ergón. pp: 2032 (2 volúmenes).
- Matsukawa, R., Dubinsky, Z., Kishimoto, E., Masaki, K., Masuda, Y., Takeuchi, T., Chihara, M., Yamamoto, Y., Niki, E. & Karube, I. (1997). A comparison of screening methods for antioxidant activity in seaweeds. *J. Appl. Phycol.* 9:29-35.
- Matsuyama, J., Sato, T., & Hoshino, E. (1997). Acid production from palatinose, palatinit, erythritol and maltitol by bacteria isolated from dental plaque on human deciduous teeth. *Japanese Journal of Oral Biology*, 39 (2), 91-99.
- McClements, D.J. (2002a). Colloidal basis of emulsion color. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 7, 451–455.
- McClements, D.J. (2002b). Theoretical prediction of emulsion color. *Advances in Colloid and Interface Science*, 97, 63-89.

- Meléndez-Martínez, A.J., Vicario, I. M. & Heredia, F.J. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54 (2), 149-154.
- Mertz, C., Brat, P., Caris-Veyrat, C. & Gunata, Z. (2010). Characterization and thermal lability of carotenoids and vitamin C of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry* 119, 653-659.
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. (2012) Informe anual del sistema nacional de salud. Última fecha de consulta on-line: Septiembre-2015. Dirección URL:
<http://www.msssi.gob.es/estadEstudios/estadisticas/sisInfSanSNS/tablasEstadisticas/infSNS2012.pdf>
- Moioli, G. (2004). Diccionario dietético. Eds: De Vecchi. pp: 368.
- Moreno, J., Chiralt, A., Escriche, I. & Serra, J.A. (2000). Effect of blanching /osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*, 33, 609-616.
- Nguyen, M. & Schwart, S. (1999). Lycopene: chemical and biological properties. *Food Technology*: 58 (2), 3844.
- Nunn, N. & Qian, N. (2010). The Columbian Exchange: A History of Disease, Food, and Ideas. *Journal of Economic Perspectives*, 24 (2). pp 163-188.
- Odrizola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Hernández-Jover, T. & Martín-Belloso, O. (2009). Carotenoid and phenolic profile of tomato juices processed by high intensity pulsed electric fields compared with conventional thermal treatments. *Food Chemistry*, 112 (1), 258-266.
- Ordóñez, A.L., Balanza, M.E., Martín, F.R. & Flores, C.A. (2009). Estabilidad del Carotenoide Licopeno en Tomates en Conserva. *Información Tecnológica*, 20 (4), 31-37.
- Ordóñez-Santos, L.E., Vázquez-Odériz, L., Arbones-Macín, E. & Romero-Rodríguez, M.Á. (2009). The influence of storage time on micronutrients in bottled tomato pulp. *Food chemistry*, 112 (1), 146-149.
- Oyetade, O.A., Oyeleke, G.O., Adegoke, B.M., & Akintunde, A.O. (2012). Stability studies on ascorbic acid (vitamin C) from different sources. *Journal of Applied Chemistry*, 2 (4), 20-24.
- Pagan, J. (1996). Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida.

- Pani, P., Leva, A.A., Riva, M., Maestrelli, A. & Torreggiani, D. (2008). Influence of an osmotic pre-treatment on structure-property relationships of air-dehydrated tomato slices. *Journal of Food Engineering*, 86, 105-112.
- Pascual, M.R. & Calderón, V. (2000) *Microbiología alimentaria: Metodología analítica para alimentos y bebidas*. Cap. 30: Cereales (315-319). Cap. 34: Hortalizas y verduras (337-339). Cap. 35: Frutas y derivados (341-345). Editorial Díaz de Santos. Madrid.
- Patras, A., Brunton, N., Da Pieve, S., Butler, F. & Downey, G. (2009). Effect of thermal and high pressure processing on antioxidant activity and instrumental colour of tomato and carrot purées. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 16-22.
- Peinado, I., Rosa, E., Heredia, A. & Andrés, A. (2009). Influence of dry and wet osmotic dehydration on colour and texture of a spread strawberry product. 'New Challenges in Food Preservation' European Federation of Food Science and Technology (EFFoST). (11-13/11/09) Budapest, Hungary.
- Peinado, I. (2011). Estudio de la utilización de isomaltulosa en el desarrollo de productos untables de tomate de bajo índice glicémico. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Penagos, L. (2006). Influencia del procesado osmótico en las características de un producto gelificado formulado con la fresa deshidratada y la disolución osmótica. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Peressini D., Sensidoni A., Pollini C.M., Gabriele G., Migliori M. & de Cindio B. (2002). Filled-snacks production by co-extrusion-cooking. Part 3. A rheological-based method to compare filler processing properties. *Journal of Food Engineering*, 54, 227-240.
- Pérez-Conesa, D., García-Alonso, J., García-Valverde, V., Iniesta, M.D., Jacob, K., Sánchez-Siles, L. M., Ros, G. & Periago, M.J. (2009). Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato puree. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10 (2), 179-188.
- Periche, A., Heredia, A., Escriche, I., Andrés, A. & Castelló M.L. (2015). Potential use of isomaltulose to produce healthier marshmallows. *LWT - Food Science and Technology*, 62 (1), 605-612.
- Ponting, J.D., Walters, G.G., Forrey, R.R., Jackson, R. & Stanley, W.I. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, 20, 125-128.

- Ponting, J.D. (1973). Osmotic dehydration of fruits-recent modifications and application. *Process Biochemistry*, 8, 18-20.
- Porretta, S., Birzi, A., Ghizzoni, C. & Vicini, E. (1995). Effects of ultra-high hydrostatic pressure treatments on the quality of tomato juice. *Food Chemistry*, 52, 35-41.
- Quintáns Riveiro, L.C. (2008). Reología de productos alimentarios. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Rababah, M.T., Al-Mahasneh, M.A., Kilani, I., Yang, W., Alhamad, M.N., Ereifej, K. & Al-u'datt, M. (2011). Effect of jam processing and storage on total phenolics, antioxidant activity, and anthocyanins of different fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91 (6), 1096-1102. DOI 10.1002/jsfa.4289.
- Raffò, A., La Malfa, G., Fogliano, V., Maiani, G., & Quaglia, G. (2006). Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *Journal of Food Composition and Analysis*, 19 (1), 11-19.
- Rao, M.A. & Cooley, H.J. (1992). Rheological behavior of tomato pastes in steady and dynamic shear. *Journal of Texture Studies*, 23, 415-425.
- Rao, A. V. & Agarwal, S. (2000). Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *Journal of the American College of Nutrition*, 19 (5), 563-569.
- Raoult-Wack, A.L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5, 255-260.
- Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S. & Niranjana, K. (2014). Chapter 11. Recent developments in osmotic dehydration In *Emerging technologies for food processing*. Sun, D. W. Eds: Elsevier. pp.181-212.
- Real Decreto 670/1990. BOE nº 130 (31/05/1990). Norma de calidad para confituras, jaleas y mermelada de frutas, crema de castañas y mermelada de frutas.
- Real Decreto 863/2003. BOE nº 160 (05/07/2003). Norma de calidad para la elaboración, comercialización y venta de confituras, jaleas, «marmalades» de frutas y crema de castañas.
- Real Decreto 3484/2000. BOE nº 11 (12/01/2001). Normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas.

- Rick, C.M. (1978). The tomato. *Scientific American*, 239 (2), 67-76.
- Rodrigo, D., Cortés, C., Clynen, E., Schoofs, L., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2006). Thermal and high-pressure stability of purified polygalacturonase and pectinmethylesterase from four different tomato processing varieties. *Food Research International*, 39 (4), 440-448.
- Rodríguez-Mateos, A., Vauzour, D., Krueger, C.G., Shanmuganayagam, D., Reed, J., Calani, L., Mena, P., Del Rio, D. & Crozier, A. (2014). Bioavailability, bioactivity and impact on health of dietary flavonoids and related compounds: an update. *Archives of toxicology*, 88 (10), 1803-1853.
- Rosa, E., Peinado I., Heredia, A & Andrés, A. (2008). Deshidratación osmótica de frutas por vía seca. Una Alternativa al uso de disoluciones. II Congreso Iberoamericano sobre Seguridad Alimentaria. V Congreso Español de Ingeniería de Alimentos. 5-7/11/2008, Barcelona (España).
- Rosa, E., Peinado, I., Heredia, A. & Andrés, A. (2009). New processing methods and healthier sugars in strawberry spread fruit manufacturing. 'New Challenges in Food Preservation' European Federation of Food Science and Technology (EFFoST). (11-13/11/09) Budapest, Hungary
- Ross-Murphy, S.B. (1988). Small deformation measurements. In J. M. V. Blanshard, & J. R. Mitchell (Eds.), *Food structure-its creation and evaluation*. London: Butterworths.
- Sánchez-Moreno, C., Cano, M.P., de Ancos, B., Plaza, L., Olmedilla, B., Granado, F. & Martín, A. (2003). The american journal of clinical nutrition, 78 (3), 454-460.
- Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., De Ancos, B., & Cano, M.P. (2006). Impact of high pressure and traditional thermal processing of tomato puree on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity. *Journal of Science and Food Agriculture*, 8 (2), 171-179.
- Sato, A.C. & Cunha, R.L. (2009). Effect of particle size on rheological properties of jaboticaba pulp. *Journal of Food Engineering*, 91, 566-570.
- Schiweck, H., Munir, M., Rapp, K.M., Schneider, B. & Vogel, M. (1990). New developments in the use of sucrose as an industrial bulk chemical. *Zuckerindustrie*, 115 (7), 555-565.
- Sesmero, R., Quesada, M.A. & Mercado, J.A. (2007). Antisense inhibition of pectate lyase gene expression in strawberry fruit: Characteristics of fruits processed into jam. *Journal of food engineering*, 79(1), 194-199.

- Sharma, S.K., Le Maguer, M., Liptay A. & Poysa, V. (1996). Effect of composition on the rheological properties of tomato thin pulp. *Food Research International*, 29 (2), 115-117.
- Shi, X.Q., Chiralt, A., Fito, P., Serra, J., Escoin, C. & Gasque, L. (1996). Application of Osmotic Dehydration Technology on Jam Processing. *Drying Technology*, 14 (3):841-857.
- Shi, J., Le Maguer, M., Kakuda, Y., Liptay, A., & Niekamp, F. (1999). Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Research International*, 32 (1), 15-21.
- Shi, J. & Le Maguer, M. (2000). Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical properties affected by food processing. *Critical Reviews in Biotechnology*, 20 (4), 293-334.
- Soliva-Fortuny, R.C., & Martín-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 14(9), 341-353.
- Sriamornsak, P. (2003). Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A review. *Silpakorn University International Journal*, 3, 206-228.
- Tarrazó, J. (2005). Estudio de la transferencia de material en la deshidratación osmótica de piña (var. Cayena Lisa). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Tiziani, S. & Vodovotz, Y. (2005). Rheological effects of soy protein addition to tomato juice. *Food Hydrocolloids*, 19, 45-52.
- Tonon, R.V., Alexandre, D., Hubinger, M.D. & Cunha, R.L. (2009). Steady and dynamic shear rheological properties of açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). *Journal of Food Engineering*, 92, 425-431.
- Torregiani, D., Forni, E. & Rizzolo, A. (1987). Osmotic dehydration of fruit. Part 2: influence of the osmosis time on the stability of processed cherries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 12, 27-44.
- Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4(6), 303 - 324.
- Tucker, G., Walley, P., & Seymour, G. (2007). Tomato. In *Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol 59: Transgenic Crops IV*. Eds: E.C. Pua and M.R. Davey. Springer Berlin Heidelberg. pp. 163-180.

- USDA (2012). US Department of Agriculture. Tomatoes. 09/10/2012. Última fecha de consulta on-line: Septiembre-2015. Dirección URL: <http://www.ers.usda.gov/topics/crops/vegetables-pulses/tomatoes.aspx>
- USDA (2015). US Department of Agriculture. Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 27 (revised). Version Current: May 2015. Última fecha de consulta on-line: Septiembre-2015. Dirección URL: <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>
- Vaclavik, V.A. (2002). Fundamentos de ciencia de los alimentos. Traducción: Isabel Jaime Moreno. Editorial Acirbia, S.A. pp. 508.
- Valenzuela, M.C., Ibáñez, J.B., Talens, P. & Barat, J.M. (2001). Elaboración de mermeladas de piña por métodos no térmicos. Series de ciencia e ingeniería de alimentos. Investigación del postgrado del IAD-DTA. Ed: P. Fito, A. Chiralt, A. Andrés & N. Martínez-Navarrete. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Vallejo, F.A. & Estrada, E.I. (2004). Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira. pp. 346.
- Vilaplana, M. (2008). Hidratos de carbono simples y complejos. Recomendaciones dietéticas. OFFARM, 27 (2), 54-57.
- Vive sano (2010). Los hidratos de carbono. Vive sano, 3862. Patrocinado por el instituto Tomás Pascual Sanz.
- Weidenhagen, R. & Lorenz, S. (1957). Palatinose (6-alpha-Glucopyranosidofructofuranose), ein neues bakterielles Umwandlungsprodukt der Saccharose, Zeitschrift für die Zuckerindustrie 7, 533-534.
- Wisal, S., Sohail, M., Mashwani, M.A., Khan, Z. H., Hussain, Z., & Noor, S. (2014). Effect of benzoate, sorbate and citric acid on the storage stability of strawberry juice. Pakistan Journal of Food Sciences, 24(4), 218-225.
- Zapata, L. M., Gerard, L., Davies, C., & Schvab, M.D.C. (2007). Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. Ciencia, docencia y tecnología, (35), 175-193.

ANEXOS

Anexo 1. Untables de tomate de 20 °Brix

Tabla 1.1. Valores de las coordenadas colorimétricas (L^* , a^* , b^*) y diferencias de color respecto al fresco (ΔE) de los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).

	E	P	L^*	a^*	b^*	ΔE
Fresco			37,30 (0,19)	19,72 (0,15)	13,44 (0,16)	
Sacarosa						
1		0,5	47,7 (0,2)	25,322 (0,103)	29,39 (0,09)	13,74 (0,18)
2	H	1	43,643 (0,114)	25,9 (0,3)	20,54 (0,06)	12,399 (0,103)
3		1,5	47,3 (0,7)	24,1 (0,6)	25,0 (0,4)	16,066 (0,606)
4		0,5	47,56 (0,04)	24,8 (0,2)	23,68 (0,02)	11,777 (0,105)
5	S1	1	43,49 (0,15)	25,2 (0,2)	18,9 (0,2)	10,7 (0,3)
6		1,5	47,4 (0,2)	24,0 (0,2)	21,5 (0,3)	14,9 (0,4)
7		0,5	43,9 (0,2)	25,7 (0,7)	20,1 (0,3)	12,6 (0,7)
8	S2	1	40,0 (0,3)	25,103 (0,018)	18,8 (0,4)	9,0 (0,4)
9		1,5	41,85 (0,17)	24,8 (0,5)	18,39 (0,05)	9,18 (0,16)
Isomaltulosa						
10		0,5	45,34 (0,18)	25,03 (0,19)	19,9 (0,3)	13,0 (0,3)
11	H	1	43,82 (0,17)	25,5 (0,3)	19,744 (0,108)	12,62 (0,14)
12		1,5	46,76 (0,17)	26,08 (0,09)	22,02 (0,04)	16,339 (0,113)
13		0,5	44,72 (0,15)	26,8 (0,5)	20,77 (0,17)	14,4 (0,4)
14	S1	1	45,41 (0,02)	24,0 (0,4)	23,574 (0,103)	13,78 (0,15)
15		1,5	49,2 (0,3)	23,6 (0,5)	28,924 (0,115)	14,1 (0,2)
16		0,5	47,46 (0,07)	25,2 (0,3)	23,89 (0,05)	12,02 (0,07)
17	S2	1	42,5 (0,2)	25,7 (0,3)	19,82 (0,19)	12,3 (0,2)
18		1,5	45,54 (0,15)	25,8 (0,3)	20,42 (0,04)	13,91 (0,04)

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 1.2. Valores de la consistencia y la adhesividad para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) (n = 3).

	E	P	Consistencia	Adhesividad
Sacarosa				
1		0,5	7,47 (0,05)	0,513 (0,004)
2	H	1	23,2 (0,6)	2,24 (0,06)
3		1,5	40,6 (0,8)	3,58 (0,04)
4		0,5	6,6 (0,5)	0,40 (0,02)
5	S1	1	20 (2)	1,386 (0,113)
6		1,5	35,4 (1,6)	3,35 (0,08)
7		0,5	16,4 (0,5)	0,98 (0,03)
8	S2	1	23,1 (1,2)	1,90 (0,14)
9		1,5	45,3 (1,4)	3,3 (0,6)
Isomaltulosa				
10		0,5	13,5 (0,5)	0,66 (0,05)
11	H	1	22,8 (0,6)	2,16 (0,05)
12		1,5	52,1 (4)	4,3 (0,2)
13		0,5	8,6 (0,4)	0,73 (0,05)
14	S1	1	14,8 (0,5)	1,26 (0,05)
15		1,5	31,7 (1,9)	3,13 (0,17)
16		0,5	11,4 (0,6)	0,73 (0,05)
17	S2	1	33 (2)	2,68 (0,13)
18		1,5	42 (3)	3,5 (0,2)

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 1.3. Valores de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley (τ_0 , k , n) para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 2$).

	E	P	τ_0	k	n	R^2
Sacarosa						
1		0,5	8,3 (0,6)	4,38 (0,05)	0,3757 (0,0007)	0,996
2	H	1	29,6 (1,2)	13,2 (0,3)	0,354 (0,005)	0,997
3		1,5	54 (15)	26 (5)	0,306 (0,009)	0,981
4		0,5	4,5 (1,9)	2,308 (1,015)	0,38 (0,03)	0,994
5	S1	1	15,5 (1,5)	4,0 (0,8)	0,39 (0,04)	0,974
6		1,5	53,030 (-)	19,070 (-)	0,3500 (-)	0,996
7		0,5	7,2 (0,2)	2 (2)	0,3169 (-)	0,499
8	S2	1	23 (4)	3,1 (0,3)	0,449 (0,004)	0,868
9		1,5	64,970 (-)	20,980 (-)	0,3575 (-)	0,995
Isomaltulosa						
10		0,5	8,0 (0,6)	1,784 (1,119)	0,4263 (-)	0,918
11	H	1	32,4 (0,5)	14 (3)	0,34 (0,05)	0,990
12		1,5	60 (3)	21,9 (0,3)	0,3356 (0,0109)	0,995
13		0,5	4,263 (-)	0,107 (-)	0,6900 (-)	0,839
14	S1	1	20 (3)	7,1 (0,6)	0,395 (0,008)	0,996
15		1,5	32 (11)	9 (3)	0,373 (0,009)	0,999
16		0,5	13,8 (0,7)	1,6 (0,7)	0,53 (0,05)	0,987
17	S2	1	25,830 (-)	4,208 (-)	0,3364 (-)	0,856
18		1,5	71,22 (1,03)	20,17 (0,08)	0,3277 (0,0007)	0,996

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 1.4a. Valores de los parámetros del modelo potencial del módulo de almacenamiento G' (k' , n') para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).

	E	P	k'	n'	R^2
Sacarosa					
1		0,5	540 (51)	0,158 (0,006)	0,991
2	H	1	1508 (54)	0,1371 (0,0018)	0,995
3		1,5	2340 (187)	0,112 (0,004)	0,994
4		0,5	396 (7)	0,165 (0,008)	0,989
5	S1	1	1503 (54)	0,138 (0,003)	0,998
6		1,5	2273 (81)	0,113 (0,005)	0,995
7		0,5	2672 (51)	0,151 (0,003)	0,978
8	S2	1	3970 (986)	0,1287 (0,0103)	0,987
9		1,5	4088 (322)	0,123 (0,015)	0,989
Isomaltulosa					
10		0,5	1665 (105)	0,152 (0,003)	0,997
11	H	1	1712 (94)	0,134 (0,004)	0,995
12		1,5	2412 (94)	0,11483 (0,00109)	0,994
13		0,5	1126 (29)	0,133 (0,003)	0,994
14	S1	1	1144 (79)	0,140 (0,007)	0,993
15		1,5	2059 (82)	0,141 (0,005)	0,997
16		0,5	1169 (186)	0,161 (0,006)	0,998
17	S2	1	3159 (50)	0,13525 (0,00106)	0,996
18		1,5	3207 (270)	0,1313 (0,0016)	0,990

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 1.4b. Valores de los parámetros del modelo potencial del módulo de pérdidas G'' (k'' , n'') para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).

E	P	k''	n''	R^2	
Sacarosa					
1		0,5	121 (13)	0,19 (0,02)	0,962
2	H	1	300 (11)	0,115 (0,005)	0,898
3		1,5	396 (40)	0,083 (0,004)	0,706
4		0,5	89 (4)	0,162 (0,018)	0,948
5	S1	1	302 (15)	0,1215 (0,0017)	0,960
6		1,5	380 (25)	0,10 (0,02)	0,942
7		0,5	575 (8)	0,17 (0,02)	0,991
8	S2	1	662 (164)	0,116 (0,005)	0,894
9		1,5	744 (42)	0,09 (0,03)	0,811
Isomaltulosa					
10		0,5	357 (25)	0,175 (0,013)	0,983
11	H	1	330 (14)	0,115 (0,005)	0,960
12		1,5	406 (12)	0,077 (0,009)	0,837
13		0,5	206,80 (1,16)	0,1277 (0,0117)	0,955
14	S1	1	214 (11)	0,194 (0,007)	0,960
15		1,5	410 (6)	0,142 (0,016)	0,964
16		0,5	267 (39)	0,183 (0,015)	0,993
17	S2	1	608 (4)	0,127 (0,013)	0,946
18		1,5	601 (69)	0,095 (0,017)	0,890

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 1.5. Valores de los parámetros del modelo potencial de gel débil (A, z) para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) (n = 3).

	E	P	A	z	R²
Sacarosa					
1		0,5	554 (53)	6,3 (0,2)	0,992
2	H	1	1538 (55)	7,350 (0,106)	0,996
3		1,5	2376 (189)	9,0 (0,2)	0,996
4		0,5	406 (8)	6,1 (0,2)	0,990
5	S1	1	1533 (56)	7,29 (0,13)	0,998
6		1,5	2306 (83)	8,9 (0,5)	0,995
7		0,5	2741 (32)	6,72 (0,13)	0,993
8	S2	1	4047 (1014)	7,9 (0,6)	0,989
9		1,5	4156 (323)	8,324 (1,119)	0,989
Isomaltulosa					
10		0,5	1703 (108)	6,56 (0,14)	0,998
11	H	1	1698 (103)	7,7 (0,4)	0,996
12		1,5	2445 (94)	8,84 (0,04)	0,995
13		0,5	1146 (31)	7,569 (0,119)	0,995
14	S1	1	1164 (80)	7,1 (0,3)	0,993
15		1,5	2100 (81)	7,1 (0,2)	0,998
16		0,5	1199 (190)	6,2 (0,2)	0,998
17	S2	1	3217 (50)	7,40 (0,03)	0,996
18		1,5	3263 (278)	7,70 (0,13)	0,991

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 1.6. Valores de los parámetros de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P).

	E	P	C	α	R²
Sacarosa					
1		0,5	29,1797	1,0467	1,000
2	H	1	23,6910	1,0915	1,000
3		1,5	18,0942	1,1325	1,000
4		0,5	40,5956	1,0263	1,000
5	S1	1	58,4217	1,0111	1,000
6		1,5	20,6527	1,1001	1,000
7		0,5	295,9945	0,8847	1,000
8	S2	1	108,9100	0,9759	1,000
9		1,5	32,0051	1,0702	1,000
Isomaltulosa					
10		0,5	161,3707	0,9237	1,000
11	H	1	24,4721	1,0896	1,000
12		1,5	19,8061	1,0892	1,000
13		0,5	199,5302	0,9093	1,000
14	S1	1	29,7522	1,0459	1,000
15		1,5	39,9468	1,0261	1,000
16		0,5	62,5586	0,9660	1,000
17	S2	1	111,4733	0,9518	1,000
18		1,5	27,3557	1,0184	1,000

Tabla 1.7. Valores del ajuste entre la η^*_{modelo} y $\eta^*_{\text{experimental}}$ (modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz) para los distintos untables de tomate de 20 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P).

	E	P	A	B	R²
Sacarosa					
1		0,5	1,002	-0,591	1,000
2	H	1	1,010	-4,126	1,000
3		1,5	1,013	-7,445	1,000
4		0,5	1,004	-0,643	0,999
5	S1	1	1,007	-3,047	1,000
6		1,5	1,006	-3,773	1,000
7		0,5	0,991	5,107	1,000
8	S2	1	0,992	1,911	1,000
9		1,5	0,987	4,865	1,000
Isomaltulosa					
10		0,5	1,015	-5,950	1,000
11	H	1	1,009	-3,950	1,000
12		1,5	1,011	-6,657	1,000
13		0,5	1,015	-4,347	0,999
14	S1	1	1,022	-6,127	0,999
15		1,5	1,009	-4,541	1,000
16		0,5	1,009	-2,692	1,000
17	S2	1	1,011	-9,167	1,000
18		1,5	0,993	0,843	1,000

Anexo 2. Untables de tomate de 50 °Brix

Tabla 2.1. Valores de las coordenadas colorimétricas (L*, a*, b*) y diferencias de color respecto al fresco (ΔE) de los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) (n = 3).

	E	P	L*	a*	b*	ΔE
Fresco			38,9 (0,2)	19,157 (0,106)	13,892 (0,113)	
Sacarosa						
1		1	35,0 (0,2)	19,1 (0,3)	13,76 (0,04)	2,9 (0,2)
2	H	1,5	38,0 (0,4)	18,8 (0,6)	12,8 (0,5)	0,9 (0,6)
3		2	36,20 (0,03)	17,6 (0,3)	12,88 (0,03)	3,3 (0,3)
4		1	39,16 (0,16)	17,6 (0,3)	16,1 (0,3)	3,03 (0,12)
5	S1	1,5	41,6 (0,5)	15,25 (0,13)	15,9 (0,2)	3,8 (0,3)
6		2	42,3 (0,3)	15,9 (0,2)	16,0 (0,4)	3,5 (0,3)
7		1	37,70 (0,03)	18,2 (0,3)	12,1 (0,2)	1,2 (0,2)
8	S2	1,5	34,8 (0,3)	17,0 (0,3)	11,4 (0,2)	3,9 (0,2)
9		2	38,7 (0,4)	19,7 (0,3)	15,3 (0,4)	0,6 (0,5)
Sacarosa-Glucosa						
10		1	37,9 (0,5)	20,901 (1,014)	16,3 (0,3)	3,2 (0,9)
11	H	1,5	41,1 (0,3)	18,7 (0,6)	16,739 (0,117)	3,6 (0,3)
12		2	40,4 (0,4)	20,649 (0,082)	16,6 (0,2)	3,23 (0,04)
13		1	37,70 (0,09)	16,3 (0,3)	15,6 (0,2)	2,6 (0,3)
14	S1	1,5	41,0 (0,2)	14,7 (0,2)	16,7 (0,3)	5,7 (0,4)
15		2	39,100 (0,113)	15,69 (0,17)	16,0 (0,2)	3,33 (0,15)
16		1	40,50 (0,09)	18,5 (0,2)	17,4 (0,3)	4,0 (0,3)
17	S2	1,5	39,0 (0,6)	21,4 (0,6)	18,3 (0,3)	5,2 (0,3)
18		2	40,7 (0,4)	17,9 (0,6)	17,62 (0,17)	4,36 (0,15)
Isomaltulosa-Fructosa						
19		1	36,9 (0,5)	18,0 (0,6)	14,53 (0,15)	2,4 (0,5)
20	H	1,5	36,2 (0,5)	16,0 (0,4)	12,48 (0,13)	4,68 (0,14)
21		2	37,5 (0,3)	18,9 (0,3)	14,42 (0,06)	0,71 (0,08)
22		1	37,1 (0,2)	16,36 (0,13)	14,719 (0,012)	3,857 (0,108)
23	S1	1,5	42,4 (0,2)	16,27 (0,17)	15,1 (0,3)	5,0 (0,2)
24		2	37,1 (0,4)	14,7 (0,2)	14,8 (0,2)	5,6 (0,3)
25		1	37,6 (0,5)	15,67 (0,15)	13,2 (0,3)	5,2 (0,5)
26	S2	1,5	35,6 (0,4)	16,5 (0,2)	11,8 (0,4)	3,6 (0,2)
27		2	38,0 (0,3)	15,7 (0,6)	14,4 (0,3)	3,8 (0,6)

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 2.2. Valores de la consistencia y la adhesividad para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) (n = 3).

E	P	Consistencia	Adhesividad
Sacarosa			
1	1	14,2 (0,6)	2,35 (0,09)
2	H 1,5	16,0 (0,6)	2,987 (0,112)
3	2	22,0 (0,6)	4,54 (0,12)
4	1	5,94 (0,04)	0,900 (0,013)
5	S1 1,5	7,10 (0,19)	1,422 (0,012)
6	2	12,345 (0,012)	2,63 (0,06)
7	1	20,3 (0,3)	3,05 (0,05)
8	S2 1,5	27,3 (1,4)	4,79 (0,09)
9	2	28,16 (1,09)	5,744 (0,114)
Sacarosa-Glucosa			
10	1	20,6 (1,6)	3,93 (0,14)
11	H 1,5	23,7 (0,5)	4,90 (0,08)
12	2	30,45 (1,19)	6,2 (0,2)
13	1	6,76 (0,06)	1,16 (0,04)
14	S1 1,5	8,4 (0,5)	1,77 (0,09)
15	2	13,15 (0,12)	2,74 (0,02)
16	1	17,71 (0,17)	3,11 (0,06)
17	S2 1,5	28,4 (1,5)	5,42 (0,23)
18	2	32,3 (0,9)	6,53 (0,13)
Isomaltulosa-Fructosa			
19	1	9,31 (0,08)	1,599 (0,016)
20	H 1,5	12,4 (0,4)	2,43 (0,08)
21	2	18,74 (1,08)	3,882 (0,112)
22	1	5,2 (0,3)	0,74 (0,02)
23	S1 1,5	8,6 (0,3)	1,50 (0,03)
24	2	9,489 (0,044)	1,97 (0,02)
25	1	10,865 (0,123)	1,640 (0,013)
26	S2 1,5	15,8 (0,3)	2,69 (0,03)
27	2	19,09 (0,19)	3,766 (0,014)

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 2.3. Valores de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley (τ_0 , k , n) para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 2$).

E	P	τ_0	k	n	R^2
Sacarosa					
1	1	12,2 (0,9)	10,5 (1,7)	0,41 (0,04)	0,978
2	H 1,5	16 (6)	21 (2)	0,351 (0,014)	0,970
3	2	17,0 (1,4)	35 (6)	0,37 (0,06)	0,980
4	1	3,76 (0,02)	5,904 (0,106)	0,542 (0,009)	1,000
5	S1 1,5	4,63 (0,12)	11,150 (0,014)	0,510 (0,008)	0,999
6	2	6,84 (0,19)	20,23 (0,03)	0,480 (0,005)	0,998
7	1	21 (6)	12 (7)	0,36 (0,14)	0,872
8	S2 1,5	21 (4)	25 (3)	0,30 (0,02)	0,911
9	2	30 (4)	48 (9)	0,21 (0,05)	0,801
Sacarosa-Glucosa					
10	1	29,95 (-)	11,24 (-)	0,43 (-)	0,815
11	H 1,5	39,22 (-)	36,70 (-)	0,27 (-)	0,849
12	2	44 (7)	47 (3)	0,19 (0,02)	0,623
13	1	2,31 (0,06)	5,0 (0,4)	0,557 (0,004)	1,000
14	S1 1,5	2,7 (0,3)	10,1 (0,4)	0,5208 (0,0103)	0,999
15	2	5,5 (0,8)	20,4 (0,9)	0,478 (0,018)	0,997
16	1	33 (3)	19,2 (1,4)	0,32 (0,04)	0,823
17	S2 1,5	38,7 (1,7)	32 (7)	0,2566 (0,0016)	0,820
18	2	44 (5)	33,89 (0,06)	0,25 (0,02)	0,725
Isomaltulosa-Fructosa					
19	1	9,3 (0,7)	12 (2)	0,43 (0,02)	0,997
20	H 1,5	12,180 (0,113)	22 (3)	0,38 (0,06)	0,941
21	2	21,4 (1,6)	34,670 (1,103)	0,411 (0,004)	0,996
22	1	3,2 (0,5)	5,2 (0,2)	0,527 (0,014)	0,999
23	S1 1,5	3,6 (0,6)	8,8 (0,5)	0,51 (0,03)	0,999
24	2	5,1 (0,4)	16,5 (0,7)	0,497 (0,003)	0,999
25	1	10,1 (0,4)	9,8 (0,5)	0,4670 (0,0114)	0,998
26	S2 1,5	14 (3)	18,8 (0,7)	0,446 (0,012)	0,997
27	2	21,5 (0,4)	28 (2)	0,444 (0,008)	0,998

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 2.4a. Valores de los parámetros del modelo potencial del módulo de almacenamiento G' (k' , n') para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).

	E	P	k'	n'	R^2
Sacarosa					
1		1	1038 (138)	0,427 (0,006)	0,985
2	H	1,5	1142 (89)	0,33 (0,03)	0,984
3		2	2445 (441)	0,223 (0,015)	0,994
4		1	265 (111)	0,34 (0,06)	0,993
5	S1	1,5	193 (21)	0,49 (0,02)	0,998
6		2	272 (39)	0,53 (0,02)	0,994
7		1	2363 (90)	0,23 (0,03)	0,918
8	S2	1,5	2303 (382)	0,229 (0,007)	0,983
9		2	2568 (122)	0,238 (0,017)	0,991
Sacarosa-Glucosa					
10		1	1821 (215)	0,38 (0,02)	0,949
11	H	1,5	1863 (148)	0,36 (0,05)	0,936
12		2	3024 (681)	0,259 (0,013)	0,972
13		1	161 (16)	0,439 (0,016)	0,994
14	S1	1,5	257 (91)	0,4709 (0,0013)	0,993
15		2	299 (42)	0,522 (0,013)	0,998
16		1	1844 (130)	0,234 (0,017)	0,992
17	S2	1,5	1918 (242)	0,24 (0,04)	0,990
18		2	3178 (339)	0,23 (0,05)	0,998
Isomaltulosa-Fructosa					
19		1	938 (459)	0,29 (0,05)	0,989
20	H	1,5	641 (15)	0,387 (0,008)	0,996
21		2	1023 (295)	0,41 (0,05)	0,988
22		1	168 (10)	0,354 (0,003)	0,989
23	S1	1,5	319 (84)	0,35 (0,02)	0,995
24		2	330 (115)	0,44 (0,02)	0,996
25		1	1004 (30)	0,263 (0,015)	0,979
26	S2	1,5	1360 (23)	0,269 (0,003)	0,997
27		2	1099 (19)	0,346 (0,014)	0,992

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 2.4b. Valores de los parámetros del modelo potencial del módulo de pérdidas G'' (k'' , n'') para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) ($n = 3$).

E	P	k''	n''	R^2
Sacarosa				
1	1	650 (55)	0,366 (0,012)	0,999
2	H 1,5	600 (31)	0,318 (0,009)	0,990
3	2	830 (103)	0,251 (0,015)	0,979
4	1	139 (32)	0,40 (0,04)	0,997
5	S1 1,5	157 (10)	0,466 (0,008)	1,000
6	2	240 (25)	0,46 (0,02)	0,998
7	1	730 (10)	0,172 (0,007)	0,903
8	S2 1,5	796 (117)	0,189 (0,013)	0,950
9	2	958 (96)	0,21 (0,02)	0,978
Sacarosa-Glucosa				
10	1	1035 (81)	0,274 (0,016)	0,981
11	H 1,5	927 (36)	0,265 (0,015)	0,994
12	2	1142 (190)	0,23 (0,04)	0,938
13	1	117 (8)	0,45 (0,03)	0,999
14	S1 1,5	205 (47)	0,44 (0,04)	0,999
15	2	254 (29)	0,462 (0,014)	0,998
16	1	613 (113)	0,28 (0,04)	0,986
17	S2 1,5	810 (87)	0,283 (0,005)	0,993
18	2	1180 (348)	0,23 (0,05)	0,977
Isomaltulosa-Fructosa				
19	1	414 (132)	0,28 (0,09)	0,952
20	H 1,5	403 (20)	0,380 (0,018)	0,999
21	2	654 (129)	0,354 (0,017)	0,999
22	1	97 (5)	0,425 (0,006)	0,997
23	S1 1,5	185 (30)	0,399 (0,006)	0,998
24	2	233 (60)	0,41 (0,04)	1,000
25	1	411 (9)	0,2642 (0,0113)	0,936
26	S2 1,5	578 (17)	0,3145 (0,0017)	0,995
27	2	598 (14)	0,333 (0,019)	0,996

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 2.5. Valores de los parámetros del modelo potencial de gel débil (A, z) para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P) (n = 3).

E	P	A	z	R ²
Sacarosa				
1	1	1228 (144)	2,518 (0,113)	0,993
2	H 1,5	1293 (85)	3,05 (0,14)	0,993
3	2	2583 (451)	4,262 (0,014)	0,996
4	1	300 (113)	2,9 (0,5)	0,995
5	S1 1,5	249 (22)	2,09 (0,07)	1,000
6	2	364 (45)	2,00 (0,06)	0,998
7	1	2484 (71)	4,6 (0,5)	0,946
8	S2 1,5	2440 (400)	4,48 (0,15)	0,991
9	2	2744 (153)	4,30 (0,19)	0,996
Sacarosa-Glucosa				
10	1	2111 (225)	2,87 (0,13)	0,972
11	H 1,5	2101 (116)	3,1 (0,2)	0,970
12	2	3242 (711)	4,0 (0,3)	0,987
13	1	199 (18)	2,262 (0,112)	0,998
14	S1 1,5	330 (99)	2,11 (0,20)	0,998
15	2	393 (51)	2,01 (0,04)	0,999
16	1	1879 (161)	4,7 (0,7)	0,994
17	S2 1,5	2085 (258)	4,1 (0,6)	0,994
18	2	3395 (439)	4,4 (0,9)	0,999
Isomaltulosa-Fructosa				
19	1	1029 (475)	3,5 (0,7)	0,996
20	H 1,5	758 (22)	2,60 (0,08)	0,998
21	2	1218 (317)	2,6 (0,3)	0,995
22	1	194 (11)	2,689 (0,013)	0,993
23	S1 1,5	370 (87)	2,7 (0,2)	0,998
24	2	405 (128)	2,33 (0,14)	0,999
25	1	1088 (31)	3,8 (0,2)	0,991
26	S2 1,5	1479 (28)	3,62 (0,03)	0,998
27	2	1253 (17)	2,93 (0,04)	0,997

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 2.6. Valores de los parámetros de la modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P).

	E	P	C	α	R²
Sacarosa					
1		1	46,0273	0,8759	0,998
2	H	1,5	24,9280	1,0560	0,999
3		2	12,9844	1,4562	1,000
4		1	12,6598	1,3137	0,999
5	S1	1,5	6,8871	1,1574	1,000
6		2	5,6054	1,2420	0,999
7		1	58,9508	1,0101	0,997
8	S2	1,5	34,8687	1,1456	0,999
9		2	23,2975	1,1798	1,000
Sacarosa-Glucosa					
10		1	52,2753	0,8148	0,993
11	H	1,5	29,1133	0,9225	0,994
12		2	32,1486	0,9898	0,999
13		1	11,0530	1,1932	0,999
14	S1	1,5	9,2106	1,3631	0,998
15		2	5,4888	1,3374	0,999
16		1	28,8170	1,0289	1,000
17	S2	1,5	25,2557	1,0343	1,000
18		2	30,6087	1,0843	1,000
Isomaltulosa-Fructosa					
19		1	24,4505	1,2495	1,000
20	H	1,5	13,3477	1,0863	0,999
21		2	10,2312	1,2005	0,999
22		1	9,9903	1,1972	0,998
23	S1	1,5	10,6638	1,3731	0,999
24		2	4,9772	1,4273	1,000
25		1	26,1739	1,2081	0,999
26	S2	1,5	17,4766	1,2748	1,000
27		2	10,6511	1,2182	1,000

Tabla 2.7. Valores del ajuste entre la η^*_{modelo} y $\eta^*_{\text{experimental}}$ (modificación no-lineal de la regla de Cox-Merz) para los distintos untables de tomate de 50 °Brix según el tipo de azúcar, método de elaboración (E) (H: Deshidratación osmótica vía húmeda; S1: Deshidratación osmótica vía seca sin eliminar fase líquida; S2: Deshidratación osmótica vía seca eliminando fase líquida) y porcentaje de pectina (P).

	E	P	A	B	R²
Sacarosa					
1		1	0,969	2,092	0,999
2	H	1,5	1,032	-8,553	0,993
3		2	1,015	-8,543	0,998
4		1	0,976	1,349	0,999
5	S1	1,5	0,995	0,180	1,000
6		2	1,031	-2,008	0,994
7		1	0,948	8,325	1,000
8	S2	1,5	0,980	1,340	1,000
9		2	0,988	1,842	1,000
Sacarosa-Glucosa					
10		1	0,962	0,453	0,998
11	H	1,5	0,958	1,741	0,997
12		2	0,969	6,802	1,000
13		1	0,984	0,500	0,999
14	S1	1,5	1,028	-1,680	0,992
15		2	1,026	-1,830	0,997
16		1	0,991	2,338	1,000
17	S2	1,5	1,002	-1,179	1,000
18		2	0,997	0,733	1,000
Isomaltulosa-Fructosa					
19		1	1,017	-4,883	0,997
20	H	1,5	1,026	-3,619	0,994
21		2	1,035	-8,116	0,994
22		1	0,961	1,302	0,999
23	S1	1,5	0,993	0,375	0,999
24		2	1,011	-0,735	0,998
25		1	1,012	-3,725	0,996
26	S2	1,5	1,015	-5,515	0,998
27		2	1,020	-5,097	0,997

Anexo 3. Optimización de los productos untables de 50 °Brix

Tabla 3.1a. Valores de actividad de agua (a_w), humedad (x^w), contenido en sólidos solubles (x^{ss}) y pH de los untables de tomate a las 24 h de su formulación (tiempo 0) ($n=3$).

F	% I	% P	% AC	S	TT	a_w	x^w	x^{ss}	pH
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	0,899 (0,005)	0,476 (0,002)	0,535 (0,003)	3,280 (0,002)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	0,8930 (0,0012)	0,4765 (0,0004)	0,530 (0,003)	3,437 (0,006)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	0,902 (0,003)	0,500 (0,005)	0,527 (0,007)	3,350 (0,002)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	0,883 (0,002)	0,473 (0,004)	0,556 (0,007)	3,207 (0,006)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	0,9030 (0,0017)	0,489 (0,002)	0,514 (0,003)	3,333 (0,006)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	0,8973 (0,0015)	0,490 (0,002)	0,513 (0,003)	3,410 (0,002)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	0,891 (0,004)	0,496 (0,003)	0,520 (0,004)	3,487 (0,006)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	0,8890 (0,0017)	0,495 (0,002)	0,5263(0,0109)	3,293 (0,006)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	0,8880 (0,0012)	0,489 (0,002)	0,516 (0,005)	3,517 (0,006)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	0,904 (0,002)	0,495 (0,002)	0,5031 (0,0014)	3,540 (0,002)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	0,8940 (0,0012)	0,493 (0,002)	0,515 (0,002)	3,370 (0,002)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	0,880 (0,002)	0,487 (0,002)	0,523 (0,003)	3,343 (0,006)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	0,886 (0,008)	0,460 (0,002)	0,540 (0,006)	3,267 (0,006)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	0,8897 (0,0006)	0,485 (0,006)	0,513 (0,007)	3,51 (0,02)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	0,888 (0,002)	0,50 (0,03)	0,56 (0,03)	3,22 (0,03)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	0,9050 (0,0012)	0,4927 (0,0004)	0,508 (0,002)	3,133 (0,006)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	0,9063 (0,0006)	0,499 (0,002)	0,508 (0,002)	3,203 (0,006)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	0,8940 (0,0012)	0,4695 (0,0012)	0,520 (0,002)	3,306 (0,006)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	0,9063 (0,0015)	0,5005 (0,0007)	0,4822 (0,0012)	3,283 (0,006)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	0,903 (0,005)	0,501 (0,013)	0,49 (0,02)	3,34 (0,02)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	0,8867 (0,0015)	0,4746 (0,0009)	0,507 (0,002)	3,373 (0,006)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	0,8950 (0,0012)	0,486 (0,002)	0,5046 (0,0014)	3,347 (0,006)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	0,8930 (0,0012)	0,493 (0,002)	0,496 (0,002)	3,283 (0,006)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	0,9083 (0,0012)	0,4836 (0,0004)	0,489 (0,002)	3,357 (0,006)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	0,9133 (0,0015)	0,488 (0,002)	0,493 (0,003)	3,317 (0,006)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	0,8960 (0,0012)	0,487 (0,002)	0,500 (0,002)	3,273 (0,006)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	0,8973 (0,0006)	0,4804 (0,0003)	0,4928 (0,0014)	3,333 (0,006)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	0,9043 (0,0006)	0,4886 (0,0013)	0,496 (0,002)	3,440 (0,002)

F: formulación. %I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm); TT: tiempo de tratamiento térmico (min).
Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 3.1b. Valores de actividad de agua (a_w), humedad (x^w), contenido en sólidos solubles (x^{ss}) y pH de los untables de tomate después de 3 meses de almacenamiento (tiempo 3) (n=3).

F	% I	% P	% AC	S	TT	a_w	x^w	x^{ss}	pH
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	0,8980 (0,0009)	0,4730 (0,0009)	0,5124 (0,0012)	3,66 (0,03)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	0,8980 (0,0002)	0,4730 (0,0007)	0,512 (0,002)	3,833 (0,006)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	0,8960 (0,0013)	0,4804 (0,0004)	0,5040 (0,0004)	3,75 (0,02)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	0,8850 (0,0009)	0,4705 (0,0005)	0,524 (0,002)	3,203 (0,012)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	0,8963 (0,0005)	0,4839 (0,0005)	0,5036 (0,0005)	3,383 (0,006)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	0,8996 (0,0008)	0,4890 (0,0003)	0,4923 (0,0014)	3,48 (0,03)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	0,8916 (0,0014)	0,4769 (0,0005)	0,5010 (0,0008)	3,46 (0,04)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	0,8902 (0,0007)	0,4780 (0,0003)	0,517 (0,002)	3,273 (0,006)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	0,8929 (0,0009)	0,4825 (0,0003)	0,4982 (0,0003)	3,54 (0,04)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	0,9041 (0,0015)	0,4850 (0,0007)	0,4921 (0,0009)	3,53 (0,05)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	0,8994 (0,0009)	0,4808 (0,0006)	0,5024 (0,0006)	3,53 (0,03)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	0,8844 (0,0006)	0,4696 (0,0012)	0,5087 (0,0012)	3,53 (0,04)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	0,8970 (0,0003)	0,4718 (0,0013)	0,507 (0,005)	3,56 (0,03)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	0,8985 (0,0006)	0,480 (0,052)	0,516 (0,006)	3,75 (0,02)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	0,9020 (0,0013)	0,4779 (0,0008)	0,5041 (0,0012)	3,16 (0,06)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	0,9004 (0,0015)	0,4832 (0,0006)	0,497 (0,003)	3,13 (0,04)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	0,9040 (0,0012)	0,480 (0,006)	0,486 (0,007)	3,2 (0,3)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	0,8990 (0,0008)	0,45 (0,03)	0,49 (0,03)	3,28 (0,02)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	0,9084 (0,0004)	0,4950 (0,0003)	0,4833 (0,0003)	3,330 (0,002)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	0,903 (0,002)	0,487 (0,002)	0,4833 (0,0015)	3,33 (0,04)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	0,8908 (0,0004)	0,4711 (0,0003)	0,5009 (0,0014)	3,33 (0,03)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	0,899 (0,002)	0,4777 (0,0003)	0,4979 (0,0012)	3,42 (0,03)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	0,900 (0,003)	0,4888 (0,0012)	0,493 (0,002)	3,37 (0,04)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	0,910 (0,003)	0,4877 (0,0012)	0,485 (0,003)	3,43 (0,03)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	0,9128 (0,0007)	0,4900 (0,0012)	0,489 (0,002)	3,45 (0,02)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	0,896 (0,002)	0,4823 (0,0006)	0,496 (0,002)	3,48 (0,08)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	0,899 (0,003)	0,479 (0,002)	0,507 (0,004)	3,41 (0,03)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	0,907 (0,003)	0,4840 (0,0009)	0,488 (0,003)	3,61 (0,08)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm); TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 3.1c. Valores de actividad de agua (a_w), humedad (x^w), contenido en sólidos solubles (x^{ss}) y pH de los untables de tomate después de 6 meses de almacenamiento (tiempo 6) (n=3).

F	% I	% P	% AC	S	TT	a_w	x^w	x^{ss}	pH
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	0,8976 (0,0012)	0,4624 (0,0016)	0,5077 (0,0012)	3,2400 (0,0012)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	0,8974 (0,0013)	0,467 (0,007)	0,5087 (0,002)	3,3900 (0,0012)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	0,8973 (0,0004)	0,4768 (0,0015)	0,4956 (0,0017)	3,330 (0,0012)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	0,8871 (0,0012)	0,463 (0,004)	0,5088 (0,005)	3,176 (0,006)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	0,8979 (0,0004)	0,4742 (0,0012)	0,496 (0,002)	3,293 (0,006)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	0,8965 (0,0003)	0,4720 (0,0016)	0,4932 (0,0017)	3,376 (0,006)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	0,8909 (0,0006)	0,4719 (0,0005)	0,4893 (0,0019)	3,430 (0,012)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	0,8918 (0,0007)	0,4720 (0,0016)	0,497 (0,002)	3,2700 (0,0012)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	0,8924 (0,0005)	0,4705 (0,0009)	0,492 (0,004)	3,456 (0,006)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	0,9044 (0,0002)	0,4790 (0,0006)	0,487 (0,003)	3,483 (0,006)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	0,8989 (0,0002)	0,4724 (0,0017)	0,4910 (0,0007)	3,306 (0,006)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	0,8840 (0,0002)	0,4620 (0,0002)	0,497 (0,004)	3,287 (0,006)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	0,8952 (0,0012)	0,4674 (0,0009)	0,498 (0,002)	3,2600 (0,0012)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	0,8981 (0,0005)	0,4743 (0,0007)	0,4897 (0,0007)	4,010 (0,0012)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	0,9015 (0,0002)	0,4737 (0,0004)	0,493 (0,003)	3,7467 (0,0115)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	0,8999 (0,0002)	0,4772 (0,0007)	0,4901 (0,0017)	3,710 (0,0012)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	0,9052 (0,0006)	0,4825 (0,0008)	0,4857 (0,0012)	3,1567 (0,0115)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	0,8893 (0,0008)	0,4552 (0,0007)	0,5140 (0,0019)	3,30 (0,02)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	0,9057 (0,0012)	0,4900 (0,0008)	0,487 (0,005)	3,30 (0,02)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	0,9035 (0,0002)	0,4847 (0,0008)	0,4827 (0,0015)	3,37 (0,04)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	0,8906 (0,0002)	0,4649 (0,0009)	0,4950 (0,0012)	3,250 (0,012)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	0,8967 (0,0007)	0,4686 (0,0005)	0,4923 (0,0014)	3,216 (0,006)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	0,8961 (0,0002)	0,479 (0,003)	0,484 (0,003)	3,1200 (0,0012)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	0,9076 (0,0002)	0,4833 (0,0016)	0,483 (0,003)	3,210 (0,012)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	0,9111 (0,0002)	0,4853 (0,0012)	0,483 (0,003)	3,336 (0,006)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	0,8930 (0,0015)	0,4748 (0,0009)	0,488 (0,004)	3,296 (0,006)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	0,8937 (0,0002)	0,4691 (0,0014)	0,4843 (0,0012)	3,306 (0,006)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	0,9034 (0,0002)	0,4766 (0,0016)	0,4824 (0,0017)	3,446 (0,006)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm); TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 3.2. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) de la actividad de agua (a_w) y pH de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).

Variables	a_w		pH	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
Tiempo 0				
% Isomaltulosa	30,96	0,0000	-	-
% Pectina	6,22	0,0196	17,71	0,0003
% AC	-	-	45,45	0,0000
Sorbato (ppm)	-	-	-	-
TT	-	-	-	-
%Pectina x %AC	-	-	10,6	0,0033
Tiempo 3				
% Isomaltulosa	48,18	0,0000	3,23	0,8830
% Pectina	-	-	8,74	0,0081
% AC	-	-	13,95	0,0014
Sorbato (ppm)	-	-	4,29	0,0522
TT	-	-	2,89	0,1054
% Isomaltulosa x % Pectina	-	-	4,42	0,0490
%Pectina x TT	-	-	4,77	0,0417
%AC x Sorbato	-	-	4,89	0,0394
Tiempo 6				
% Isomaltulosa	77,95	0,0000	-	-
% Pectina	-	-	6,10	0,0213
% AC	-	-	36,72	0,0000
Sorbato (ppm)	-	-	-	-
TT	-	-	-	-
%Pectina x %AC	-	-	5,80	0,0244
%AC x %AC	-	-	28,55	0,0000

%AC: % ácido cítrico.

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Tabla 3.3a. Valores de las coordenadas colorimétricas (L*, a*, b*) de los untables de tomate a las 24 h de su formulación (tiempo 0) (n=3).

F	%I	%P	%AC	S	TT	L*	a*	b*	ΔE
	Fresco					42,8 (1,8)	20,0 (1,6)	15,9 (1,2)	
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	37,1 (0,9)	14,177 (0,108)	15,1 (0,6)	8,1 (0,6)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	37,1 (0,5)	15,0 (0,5)	15,3 (0,5)	7,3 (0,7)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	36,4 (0,4)	13,1 (0,3)	12,3 (0,2)	7,2 (0,2)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	37,5 (0,5)	14,1 (0,5)	13,6 (0,5)	5,7 (0,7)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	35,4 (0,3)	14,4 (0,9)	12,0 (0,6)	9,0 (0,8)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	33,3 (0,5)	12,3 (0,3)	9,8 (0,6)	12,6 (0,8)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	37,8 (0,7)	13,6 (0,4)	13,1 (0,6)	11,4 (0,9)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	40 (2)	14,76 (0,07)	15,5 (1,4)	8,6 (1,7)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	37,1 (0,3)	14,3 (0,2)	12,5 (0,5)	11,9 (0,4)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	32,8 (0,3)	13,1 (0,4)	12,1 (0,5)	11,2 (0,6)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	32,6 (0,5)	13,0 (0,6)	13,6 (0,4)	11,1 (0,8)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	34,4 (0,05)	14,4 (0,2)	14,88 (0,05)	8,62 (0,09)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	37,1 (0,3)	14,2 (0,4)	16,53 (0,03)	8,2 (0,5)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	36,30 (1,13)	13,8 (0,9)	15,0 (0,6)	9,5 (0,6)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	38,6 (0,5)	13,6 (0,3)	15,5 (0,7)	7,9 (0,7)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	37,57 (0,12)	13,9 (0,2)	15,9 (0,4)	9,4 (0,3)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	36,3 (0,6)	14,47 (0,07)	15,0 (0,3)	9,9 (0,5)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	36,6 (0,2)	14,70 (0,08)	15,2 (0,4)	9,6 (0,2)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	32,5 (0,2)	13,7 (0,5)	10,8 (0,3)	14,6 (0,4)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	33,70 (0,09)	14,0 (0,2)	11,9 (0,2)	13,3 (0,2)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	35,0 (0,3)	14,6 (0,3)	13,5 (0,3)	11,7 (0,5)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	33,16 (0,03)	13,3 (0,2)	11,76 (0,06)	12,58 (0,09)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	31,79 (0,05)	13,01 (0,06)	9,998 (0,002)	14,45 (0,07)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	35,07 (0,13)	15,0 (0,3)	14,03 (0,08)	9,54 (0,06)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	33,76 (0,07)	13,6 (0,2)	13,1 (0,2)	12,0 (0,2)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	34,2 (0,6)	13,7 (0,3)	13,1 (0,6)	11,6 (0,5)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	34,1 (0,3)	14,23 (0,06)	12,8 (0,3)	11,0 (0,3)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	34,1 (0,2)	13,20 (0,13)	12,9 (0,3)	12,1 (0,2)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm); TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 3.3b. Valores de las coordenadas colorimétricas (L^* , a^* , b^*) de los untables de tomate después de 3 meses de almacenamiento (tiempo 3) (n=3).

F	% I	% P	% AC	S	TT	L^*	a^*	b^*	ΔE
	Fresco					42,8 (1,8)	20,0 (1,6)	15,9 (1,2)	
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	38,128 (0,102)	7,5 (0,4)	4,094 (0,109)	18,2 (0,3)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	37,8 (0,2)	6,6 (0,4)	3,9 (0,4)	19,0 (0,5)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	38,86 (0,08)	7,844 (0,009)	4,6 (0,4)	13,8 (0,3)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	37,8 (0,2)	7,3 (0,2)	5,8 (0,2)	13,7 (0,3)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	37,642 (0,112)	6,7 (0,2)	4,71 (0,13)	16,92 (0,13)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	37,8 (0,3)	6,9 (0,2)	4,788 (0,109)	16,70 (0,14)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	36,1 (0,4)	6,7 (0,2)	5,94 (0,17)	19,44 (0,08)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	39,1 (0,2)	8,7 (0,3)	8,1 (0,4)	15,4 (0,5)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	37,40 (0,07)	7,363 (0,118)	5,96 (0,08)	18,31 (0,04)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	36,8 (0,7)	7,4 (0,4)	5,6 (0,7)	16,7 (0,6)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	35,0 (0,2)	5,9 (0,9)	5,3 (0,2)	18,53 (0,3)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	36,2 (0,3)	7,6 (0,3)	6,4 (0,3)	16,2 (0,5)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	37,1 (0,4)	8,0 (0,3)	7,6 (0,5)	16,8 (0,7)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	37,2 (0,4)	8,0 (0,3)	7,6 (0,6)	16,7 (0,7)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	37,3 (0,2)	7,9 (0,3)	7,0 (0,3)	17,2 (0,4)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	37,1 (0,3)	7,6 (0,3)	6,6 (0,4)	18,1 (0,5)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	37,6 (0,3)	7,4 (0,2)	6,42 (0,05)	18,15 (0,03)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	37,54 (0,07)	7,1 (0,2)	6,12 (0,09)	18,5 (0,2)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	35,19 (0,06)	7,8 (0,2)	5,34 (0,06)	20,1 (0,2)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	35,9 (0,2)	7,52 (0,05)	2,98 (0,07)	21,49 (0,05)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	36,3 (0,2)	6,8 (0,2)	3,12 (0,02)	21,84 (0,15)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	35,9 (0,3)	8,44 (0,07)	6,7 (0,2)	18,78 (0,17)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	35,37 (0,09)	7,28 (0,13)	5,151 (0,016)	20,64 (0,07)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	36,6 (0,3)	8,7 (0,4)	7,1 (0,3)	15,6 (0,5)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	36,0 (0,2)	7,80 (0,13)	6,7 (0,3)	17,6 (0,4)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	35,7 (0,3)	7,40 (0,15)	5,66 (0,04)	18,6 (0,2)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	36,0 (0,2)	7,0 (0,2)	5,627 (0,102)	18,0 (0,3)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	36,4 (0,4)	7,5 (0,3)	6,1 (0,3)	18,0 (0,5)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm); TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 3.3c. Valores de las coordenadas colorimétricas (L*, a*, b*) de los untables de tomate después de 6 meses de almacenamiento (tiempo 6) (n=3).

F	% I	% P	% AC	S	TT	L*	a*	b*	ΔE
	Fresco					42,8 (1,8)	20,0 (1,6)	15,9 (1,2)	
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	30,70 (0,09)	10,07 (0,14)	11,60 (0,14)	16,02 (0,07)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	30,9 (0,2)	10,4 (0,4)	11,8 (0,2)	15,6 (0,4)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	29,4 (0,5)	8,4 (0,7)	10,0 (0,6)	16,0 (0,9)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	31,6 (0,3)	10,0 (0,3)	12,0 (0,4)	13,0 (0,5)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	29,09 (0,07)	7,74 (0,06)	7,850 (0,105)	18,981 (0,106)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	29,60 (0,18)	8,96 (0,16)	9,15 (0,19)	17,4 (0,2)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	30,3 (0,2)	9,42 (0,02)	9,55 (0,16)	20,6 (0,2)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	29,92 (0,13)	8,380 (0,115)	9,15 (0,16)	21,5 (0,2)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	29,799 (0,105)	9,37 (0,16)	8,8 (0,2)	21,3 (0,2)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	29,41 (0,04)	9,25 (0,08)	8,40 (0,14)	17,294 (0,114)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	28,31 (0,04)	7,789 (0,108)	7,648 (0,096)	19,26 (0,02)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	29,3 (0,3)	9,3 (0,3)	8,5 (0,4)	17,3 (0,5)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	30,57 (0,14)	9,6 (0,3)	9,7 (0,2)	18,1 (0,3)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	30,33 (0,17)	10,1 (0,5)	9,93 (0,06)	17,9 (0,4)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	30,9 (0,3)	10,5 (0,3)	10,6 (0,3)	17,0 (0,5)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	31,0 (0,3)	9,8 (0,2)	10,135 (0,116)	18,06 (0,09)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	30,7 (0,3)	9,57 (0,13)	9,9 (0,2)	18,6 (0,3)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	31,2 (0,2)	10,4 (0,2)	10,2 (0,3)	17,6 (0,3)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	29,15 (0,15)	10,4 (0,3)	8,3 (0,3)	19,9 (0,3)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	29,1 (0,3)	9,2 (0,4)	7,61 (0,15)	21,0 (0,5)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	29,7 (0,3)	9,121 (0,116)	8,3 (0,5)	20,4 (0,4)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	29,812 (0,118)	9,80 (0,15)	8,62 (0,05)	19,77 (0,14)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	28,74 (0,17)	8,84 (0,18)	7,07 (0,16)	21,68 (0,18)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	30,069 (0,106)	10,0 (0,3)	8,93 (0,09)	17,70 (0,12)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	30,17 (0,18)	9,71 (0,07)	9,1 (0,2)	18,4 (0,2)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	30,1 (0,2)	9,263 (0,096)	8,53 (0,19)	18,9 (0,2)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	29,745 (0,107)	9,27 (0,04)	8,35 (0,13)	18,56 (0,14)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	30,5 (0,7)	10,9 (0,8)	9,8 (0,5)	17,13 (1,13)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm); TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 3.4. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) de las coordenadas colorimétricas (L*, a* y b*) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).

Variables	Tiempo 0		Tiempo 3		Tiempo 6	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
L*						
%Iso	3,27	0,0873	-	-	-	-
%Pectina	7,32	0,0145	3,18	0,0874	-	-
%AC	12,8	0,0022	3,67	0,0674	-	-
Sorbato (ppm)	11,85	0,0029	-	-	-	-
TT	8,1	0,0107	-	-	-	-
%Iso x Sorbato	5,22	0,0348	-	-	-	-
%Pectina x %AC	12,69	0,0022	4,48	0,0449	-	-
%AC x %AC	5,87	0,0262	-	-	-	-
Sorbato x TT	8,85	0,0081	-	-	-	-
a*						
%Iso	23,58	0,0003	-	-	5,34	0,0290
%Pectina	19,21	0,0006	-	-	-	-
%AC	6,53	0,0229	-	-	-	-
Sorbato (ppm)	6,93	0,0197	-	-	-	-
TT	4,27	0,0578	-	-	-	-
%Iso x %Iso	16,77	0,0011	-	-	-	-
%Iso x TT	5,29	0,0374	-	-	-	-
%Pectina x %AC	8,14	0,0128	-	-	-	-
%AC x %AC	11,69	0,0041	-	-	-	-
%AC x TT	5,26	0,0378	-	-	-	-
Sorbato x Sorbato	43	0,0000	-	-	-	-
Sorbato x TT	24,98	0,0002	-	-	-	-
TT x TT	5,78	0,0307	-	-	-	-
b*						
%Iso	-	-	-	-	-	-
%Pectina	21	0,0001	-	-	-	-
%AC	4,68	0,0406	-	-	-	-
Sorbato(ppm)	-	-	-	-	-	-
TT	-	-	-	-	-	-
%AC x %AC	5,17	0,0323	-	-	-	-

%Iso: % isomaltulosa.

%AC: % ácido cítrico.

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Tabla 3.5. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) de la diferencia de color respecto al fresco (ΔE) de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).

Variables	ΔE							
	Razón-F		Valor-P		Razón-F		Valor-P	
	Tiempo 0		Tiempo 3		Tiempo 6			
%Iso	-	-	5,09	0,0367	-	-	-	-
%Pectina	1,76	0,1984	4,86	0,0408	-	-	-	-
%AC	4,66	0,0421	0,11	0,7481	-	-	-	-
Sorbato (ppm)	-	-	4,71	0,0437	-	-	-	-
TT	12,95	0,0016	10,01	0,0054	5,05	0,0333	-	-
%Iso x %AC	-	-	5,27	0,0339	-	-	-	-
%Pectina x %AC	6,07	0,0221	6,56	0,0196	-	-	-	-
%AC x Sorbato	-	-	4,44	0,0493	-	-	-	-
TT x TT	9,50	0,0055	8,28	0,0100	-	-	-	-

%Iso: % isomaltulosa.

%AC: % ácido cítrico.

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Tabla 3.6. Valores de consistencia (N·s) de los productos untables de tomate a lo largo del almacenamiento (n=3).

F	% I	% P	% AC	S	TT	Tiempo 0	Tiempo 3	Tiempo 6
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	11,6 (0,5)	11,7925 (0,0105)	6,15 (0,14)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	9,4 (0,4)	9,65 (0,08)	3,68 (0,09)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	12,8 (1,4)	8,3 (0,4)	3,5 (0,3)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	26 (2)	12,0 (0,2)	5,6 (0,2)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	12,904 (1,018)	10,7 (0,2)	3,16 (0,07)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	5,81 (0,02)	6,03 (0,02)	2,69 (0,13)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	5,1 (0,3)	6,3 (0,3)	3,8 (0,3)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	17,9 (0,3)	10,4 (0,2)	4,01 (0,15)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	7,98 (0,04)	8,1 (0,6)	3,6 (0,9)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	7,5 (0,7)	6,1 (0,2)	3,197 (1,006)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	10,4 (0,2)	4,5 (0,4)	3,4 (0,2)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	9,0 (0,3)	5,4 (0,2)	3,0 (0,3)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	23,0 (1,2)	7,7 (0,2)	3,91 (0,09)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	11,4 (0,6)	6,6 (0,6)	3,7 (0,2)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	15,5 (0,4)	8,8 (0,5)	3,8 (0,2)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	5,94 (0,04)	8,2 (0,6)	4,27 (0,17)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	5,17 (0,04)	9,6 (1,2)	3,0 (0,4)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	6,35 (0,05)	7,3 (0,2)	4,3 (0,2)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	3,7 (0,2)	4,9 (0,6)	2,721 (0,096)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	3,93 (0,06)	5,6 (0,7)	2,684 (0,107)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	6,487 (0,117)	7,8 (0,2)	3,3 (0,5)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	5,4 (0,3)	6,77 (0,04)	4,7 (0,3)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	3,51 (0,16)	3,64 (0,05)	2,65 (0,08)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	7,0 (0,2)	7,3 (0,3)	3,63 (0,12)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	6,5 (0,5)	5,34 (0,03)	3,2 (0,5)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	4,46 (0,13)	4,39 (0,02)	3,5 (0,5)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	5,86 (0,16)	5,6 (0,4)	3,28 (0,15)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	4,59 (0,04)	5,8 (0,3)	3,57 (0,06)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm);

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 3.7. Valores de adhesividad (N·s) de los productos untables de tomate a lo largo del almacenamiento (n=3).

F	% I	% P	% AC	S	TT	Tiempo 0	Tiempo 3	Tiempo 6
T-1	37,5	2	0,5	375	7,5	2,65 (0,09)	2,44 (0,04)	1,01 (0,04)
T-2	37,5	2	0,3	125	7,5	2,25 (0,05)	1,81 (0,05)	0,48 (0,02)
T-3	25	1,5	0,4	250	5	2,3 (0,2)	1,32 (0,08)	0,26 (0,04)
T-4	12,5	2	0,5	125	7,5	5,0 (0,2)	2,16 (0,08)	0,85 (0,05)
T-5	25	1,5	0,4	0	5	2,35 (0,06)	1,35 (0,04)	0,259 (0,018)
T-6	25	0,5	0,4	250	5	0,65 (0,05)	0,531 (0,009)	0,05 (0,02)
T-7	12,5	1	0,3	125	7,5	0,81 (0,06)	0,75 (0,03)	0,261 (0,014)
T-8	12,5	2	0,5	375	2,5	3,4 (0,3)	1,752 (0,005)	0,52 (0,02)
T-9	12,5	1	0,3	375	2,5	1,206 (0,009)	0,82 (0,04)	0,21 (0,13)
T-10	37,5	1	0,3	375	7,5	1,196 (0,113)	0,749 (0,014)	0,124 (0,097)
T-11	25	1,5	0,4	250	5	2,08 (0,05)	0,60 (0,05)	0,29 (0,02)
T-12	0	1,5	0,4	250	5	1,79 (0,06)	0,739 (0,012)	0,21 (0,04)
T-13	25	2,5	0,4	250	5	5,3 (0,4)	1,47 (0,03)	0,53 (0,02)
T-14	25	1,5	0,2	250	5	2,16 (0,06)	0,88 (0,04)	0,310 (0,015)
T-15	37,5	2	0,5	125	2,5	3,61 (0,09)	1,51 (0,05)	0,43 (0,03)
T-16	25	1,5	0,6	250	5	1,17 (0,06)	1,306 (0,007)	0,38 (0,03)
T-17	37,5	1	0,5	125	7,5	0,83 (0,04)	1,17 (0,07)	0,14 (0,04)
T-18	25	1,5	0,4	500	5	1,41 (0,05)	1,32 (0,05)	0,41 (0,05)
T-19	37,5	1	0,5	375	2,5	0,48 (0,03)	0,46 (0,05)	0,0987 (0,0102)
T-20	25	1,5	0,4	250	0	0,73 (0,04)	0,738 (0,006)	0,119 (0,013)
T-21	12,5	2	0,3	125	2,5	1,52 (0,02)	1,36 (0,02)	0,356 (0,102)
T-22	25	1,5	0,4	250	10	1,11 (0,04)	1,119 (0,004)	0,48 (0,07)
T-23	12,5	1	0,5	125	2,5	0,49 (0,02)	0,314 (0,008)	0,10 (0,03)
T-24	37,5	2	0,3	375	2,5	1,66 (0,06)	1,411 (0,002)	0,452 (0,015)
T-25	50	1,5	0,4	250	5	1,329 (0,108)	0,89 (0,06)	0,25 (0,05)
T-26	12,5	1	0,5	375	7,5	0,70 (0,03)	0,43 (0,04)	0,23 (0,02)
T-27	12,5	2	0,3	375	7,5	1,36 (0,05)	1,25 (0,02)	0,44 (0,03)
T-28	37,5	1	0,3	125	2,5	0,59 (0,03)	0,53 (0,03)	0,191 (0,005)

F: formulación.

%I: % isomaltulosa; %P: % pectina; %AC: % ácido cítrico; S: sorbato potásico (ppm);

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

Tabla 3.8. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) de los valores de consistencia y adhesividad de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).

Variables	Tiempo 0		Tiempo 3		Tiempo 6	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
Consistencia						
%Iso	-	-	3,93	0,0637	-	-
%Pectina	5,98	0,0230	5,82	0,0275	13,29	0,0014
%AC	9,68	0,0051	12,94	0,0022	25,24	0,0000
Sorbato (ppm)	-	-	1,66	0,2150	-	-
TT	5,05	0,0351	1,98	0,1776	4,85	0,0384
%Iso x TT	-	-	6,32	0,0223	-	-
%Pectina x %AC	12,86	0,0016	11,69	0,0033	21,98	0,0001
%AC x TT	-	-	5,58	0,0303	9,84	0,0048
Sorbato x Sorbato	-	-	8,95	0,0082	-	-
Sorbato x TT	-	-	8,90	0,0083	-	-
TT x TT	4,63	0,0427	-	-	-	-
Adhesividad						
%Iso	-	-	-	-	-	-
%Pectina	10,61	0,0038	0,43	0,5202	6,56	0,0182
%AC	11,30	0,0029	2,60	0,1204	15,65	0,0007
Sorbato (ppm)	-	-	-	-	-	-
TT	5,19	0,0333	5,35	0,0301	8,58	0,0080
%Pectina x %Pectina	6,09	0,0223	-	-	-	-
%Pectina x %AC	15,35	0,0008	4,49	0,0452	13,27	0,0015
%Pectina x TT	-	-	-	-	5,93	0,0239
%AC x TT	-	-	-	-	7,77	0,0111
TT x TT	4,49	0,0463	-	-	-	-

%Iso: % isomaltulosa.

%AC: % ácido cítrico.

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Tabla 3.9. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) del contenido en ácido ascórbico de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).

Variables	Tiempo 0		Tiempo 3		Tiempo 6	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
%Isomaltulosa	-	-	-	-	-	-
%Pectina	-	-	-	-	-	-
%AC	4,45	0,0456	-	-	-	-
S (ppm)	-	-	-	-	4,61	0,0426
TT	4,16	0,0525	-	-	6,99	0,0145
S x S	-	-	-	-	6,20	0,0204
TT x TT	5,07	0,0338	-	-	8,34	0,0083

%AC: % ácido cítrico.

S: Sorbato potásico (ppm).

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Tabla 3.10. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) del contenido en fenoles totales de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).

Variables	Tiempo 0		Tiempo 3		Tiempo 6	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
%Isomaltulosa	-	-	-	-	-	-
%Pectina	-	-	6,83	0,0159	16,04	0,0006
%AC	5,35	0,0292	9,53	0,0054	9,48	0,0055
Sorbato (ppm)	-	-	-	-	-	-
TT	-	-	6,56	0,0178	5,34	0,0306
%AC x %AC	5,4	0,0285	-	-	-	-
%Pectina x %AC	-	-	10,01	0,0045	11,86	0,0023
%Pectina x TT	-	-	-	-	6,99	0,0148
TT x TT	-	-	5,75	0,0254	-	-

%AC: % ácido cítrico.

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Tabla 3.11. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) del contenido en β -caroteno de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).

Variables	Tiempo 0		Tiempo 3		Tiempo 6	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
%Isomaltulosa	7,22	0,0134	-	-	-	-
%Pectina	2,98	0,0982	-	-	-	-
%AC	-	-	-	-	-	-
Sorbato (ppm)	-	-	-	-	-	-
TT	0,10	0,7543	-	-	-	-
%Isomaltulosa x TT	6,83	0,0159	-	-	-	-
%Pectina x TT	5,22	0,0324	-	-	-	-

%AC: % ácido cítrico.

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Tabla 3.12. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) del contenido en licopeno de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).

Variables	Tiempo 0		Tiempo 3		Tiempo 6	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
%Isomaltulosa	-	-	-	-	-	-
%Pectina	-	-	5,77	0,0244	-	-
%AC	-	-	3,44	0,0758	-	-
Sorbato (ppm)	-	-	-	-	-	-
TT	-	-	-	-	-	-
%Pectina x %AC	-	-	5,73	0,0249	-	-

%AC: % ácido cítrico.

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).

Tabla 3.13. Resumen del análisis de varianza (nivel de confianza del 95 %) de la capacidad antioxidante de los untables de tomate a los distintos tiempos de almacenamiento (0, 3 y 6 meses).

Variables	Tiempo 0		Tiempo 3		Tiempo 6	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
%Isomaltulosa	-	-	-	-	-	-
%Pectina	6,05	0,0209	4,94	0,0374	-	-
%AC	-	-	2,10	0,1618	-	-
Sorbato (ppm)	-	-	-	-	-	-
TT	-	-	5,02	0,0360	-	-
%AC x %AC	-	-	6,44	0,0192	-	-
%Pectina x %AC	-	-	4,39	0,0485	-	-
TT x TT	-	-	4,39	0,0486	-	-

%AC: % ácido cítrico.

TT: tiempo de tratamiento térmico (min).