Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides

Luz Zapata, Liliana Gerard, Cristina Davies, Leticia Oliva, María Schvab

En el presente trabajo se estudiaron los atributos de color y textura, la concentración de carotenoides responsables del color y los índices de color como indicadores del estado de madurez de los frutos. La relación a*/b*, del sistema CIEL*a*b*, manifestó diferencias estadísticas significativas entre cada una de las etapas. Por lo tanto, este ratio se podría tener como referencia del índice de color del tomate. Con respecto a los parámetros de textura, la fuerza de punción disminuyó a lo largo de los estadíos ensayados, lo que podría deberse a un cambio en la composición química de los frutos. Debido a que el ratio a*/b* mostró alta correlación con las concentraciones de licopeno y β-caroteno y con los parámetros texturales, los modelos matemáticos propuestos podrían ser válidos para analizar y predecir cambios en la concentración de los carotenoides y la textura de los frutos que pudieren determinar la aceptabilidad por parte de los consumidores desde el punto de vista organoléptico y nutricional.

Palabras clave: tomate - índice de color - textura - carotenoides

* Artículo producido en el marco del proyecto de investigación: "Evaluación de la actividad antioxidante del tomate (*Lycopersicon Solanaceae*) durante el crecimiento, almacenamiento, maduración y comercialización", 2005-2006, Facultad de Ciencias de la Alimentación, Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), financiado por UNER; recibido para publicación en agosto 2006 y aceptado en abril 2007.
** Ingeniera de Alimentos, Profesora Titular de *Química Orgánica I Curso*, Facultad de Ciencias de la Alimentación, UNER, Directora del referido proyecto. E-mail: zapatam@fcal.uner.edu.ar

Mathematical Correlation of Tomato Colour Indexes with Textural Parameters and Carotenoids Concentration

Luz Zapata, Liliana Gerard, Cristina Davies, Leticia Oliva, María Schvab

Tomato colour and texture attributes, concentration of colour responsible-carotenoids and colour indexes as indicators of maturity were studied. The a*/b*ratio (CIEL*a*b system) showed statistically significant differences among the different stages. As a result, this relation could be taken as a colour index reference in tomatoes. With regard to texture parameters, the puncture force decreased along the stages studied and this fact could be due to changes in the chemical composition. Since the a*/b* ratio showed a high correlation with concentrations of lycopene and β-carotene and with texture parameters, the proposed mathematical models could be valid for analyzing and predicting changes in the fruit carotenoids concentration and texture. This can determine the consumer´s acceptability from the organoleptical and nutritional point of view.

Keywords: tomato - color indexes - texture - carotenoids

*) This paper derives from the research project "Evaluation of the tomato (*Lycopersicon Solanaceae*) antioxidative activity during its growing, storage, maturity and commercialization", lead during 2005-2006 at the Faculty of Food Sciences, National University of Entre Ríos, funded by UNER; it was submitted in August 2006 and accepted in April 2007.
**) Food Engineer, head of the research team, Regular Professor of *Organic Chemistry I*, Faculty of Food Sciences, UNER. E-mail: zapatam@fcal.uner.edu.ar

I. Introducción

Los principales atributos de calidad en los alimentos son: color, textura y y sabor (*flavor*). Los dos primeros constituyen normalmente las bases de aceptación o rechazo por parte de los consumidores.

El color en el tomate es una característica de calidad extremadamente importante, ya que determina la madurez y vida post cosecha, y es el factor determinante en cuanto a la aceptabilidad por parte del consumidor.

Del total de la producción mundial de tomate, las dos terceras partes se consumen en fresco, y el resto se destina a la industria para la elaboración de pasta de tomate, conservas, salsas, etc. En los últimos años, la superficie plantada en campo, en la República Argentina, fue aproximadamente de 8.000 has y la producción llegó a 285.000 toneladas (rendimiento de 35 ton/ha). En cuanto al cultivo bajo invernáculo, se estima que existen aproximadamente 1.500 has con rindes medios de 90 tn/ha. (**Ghezán**, 2002; **Corvo Dolcet**, 2005).

La importancia del control colorimétrico en alimentos se debe, entre otros, al uso del color como índice de valor económico. Por ejemplo, la madurez óptima de los tomates está asociada con el desarrollo óptimo del color y del sabor. Puesto que es más fácil medir el color que el sabor, se utiliza el color como medida del valor de un lote (**Campos** y col., 1997).

La mayoría de la literatura referida al color del tomate expresa los cambios de este parámetros en términos de diferentes combinaciones matemáticas de b* y a* (parámetros CIEL*a*b*) en el plano ecuatorial cromático. Algunos investigadores utilizan solamente los valores de a*, otros la relación a*/b*. Esta relación ha sido también utilizada para el desarrollo de modelos matemáticos que expresan correlación entre el contenido de licopeno y los cambios de color expresados como $(a^*/b^*)^2$ (**López Camelo y Gómez**, 2004).

Los diferentes índices de color se calculan de acuerdo a las ecuaciones:

Tono o matiz: $\tan^{-1} (b^*/a^*)^2$; croma: $(a^{*2}+b^{*2})^{0,5}$, índice de color: 2000 $a^*/L^* (a^{*2}+b^{*2})^{0,5}$; y la diferencia de color, utilizando las ecuaciones a^*/b^*, $(a^*/b^*)^2$ y $\Delta E= [(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{0.5}$ (**López Camelo y Gómez**, 2004).

Los carotenoides son un conjunto de compuestos relacionados estructuralmente que proporcionan color en la naturaleza. En los vegetales

desempeñan dos funciones esenciales: son pigmentos accesorios del proceso de fotosíntesis y proporcionan fotoprotección (**Southon y Faulks**, 2001). El tomate y los productos derivados del tomate son la mejor fuente de licopeno, y constituyen una fuente importante de carotenoides en la dieta humana (**Goula y Adamopoulos**, 2005). En este fruto, el licopeno se encuentra en forma de estructuras semicristalinas unidas a la membrana de los cromoplastos o cloroplastos (**Southon y Faulks**, 2001).

En los productos agrícolas, la firmeza es un atributo de calidad de vital importancia. Sin embargo, muchas cuestiones no están todavía resueltas. Las células de los vegetales no son una estructura estática, sino que son de naturaleza dinámica. Estos cambios en la composición y estructura ocurren continuamente durante el desarrollo de las plantas (**Stolle-Smits** y col., 1999).

A nivel molecular, los diferentes procesos que provocan la disminución en la firmeza no están claros; se sabe que están relacionados con la ruptura de la pared y membrana de las células, activación e inactivación de enzimas, etc. e interacción de unos procesos con otros. Los tomates no escapan a esta situación (**Van Dijk** y col., 2005).

Durante el crecimiento, maduración y envejecimiento; las frutas están, como todas las plantas, continuamente sujetos a la acción de enzimas (**Stolle-Smits** y col., 1999). Durante el período previo a la cosecha la expresión de estas modificaciones se refleja en cambios en la firmeza de las frutas, en la composición química y en el color.

Las propiedades texturales pueden servir como un indicador de madurez o procesabilidad de los alimentos y como un parámetro de calidad para el consumidor (**Barrett** y col., 1998). Los métodos instrumentales u objetivos de evaluación de textura se pueden agrupar en tres clases: fundamental, empíricos y test imitativos. Los más usados para evaluar las propiedades texturales del tomate son los test empíricos o semiempíricos, en parte debido a las dificultades de operación inherentes a las medidas de textura, pero también debido a que se trata de muestras discontinuas no homogéneas (**Jackman**, 1995).

Los tests empíricos son rápidos y simples; incluyen punción, compresión, extrusión, cizalla y otros, que miden una o más propiedades texturales y son comúnmente usados en aplicaciones de control de calidad (**Bourne**, 1994).

El objetivo de este estudio ha sido investigar, durante el crecimiento,

almacenamiento, maduración y comercialización del tomate, el color, textura, concentración de carotenoides responsables del color e índices de color como indicadores del estado de madurez de los frutos, y desarrollar modelos matemáticos que relacionen las variables antes mencionadas.

II. Materiales y métodos

II.1. Muestra

Los ensayos se efectuaron sobre muestras de variedad de tomate redondo, "Alma", en las etapas de crecimiento, almacenamiento, maduración en cámara y comercialización. Las muestras se recolectaron en el mes de febrero de distintos invernaderos de los departamentos de Concordia y Federación, Provincia de Entre Ríos, República Argentina.

Para evaluar la etapa de crecimiento, los frutos verdes fueron tomados de la planta, desde un diámetro ecuatorial de 4 a 7 cm, y analizados inmediatamente luego de la recolección. Una vez que los tomates alcanzaron el estado verde maduro fueron cosechados, colocados en cajones de plástico y almacenados en cámara para simular los procesos de almacenamiento, maduración y comercialización.

Para la etapa de almacenamiento se colocaron en cámara a 12±1 °C y humedad relativa de 90-95%, por el término de 14 días, que es el período en que actualmente se almacenan sin que los frutos muestren una reducción significativa de su calidad sensorial y desarrollo de color. Periódicamente se efectuó la ventilación de la cámara para renovar el aire, ya que la respiración de los frutos consume el oxígeno. Luego se elevó la temperatura a 20±1 ºC para favorecer el desarrollo del color, esto es, la maduración, que transcurrió en un período de cinco días. Finalmente los cajones fueron colocados fuera de cámara a temperatura ambiente (30-32 ºC) para simular la comercialización en comercio minorista.

El estudio finalizó cuando, debido a la excesiva madurez de los tomates, no se pudo efectuar el ensayo de textura y además comenzó a observarse desarrollo microbiano.

II.2. Ensayos

Color: Se utilizó un colorímetro MINOLTA CR - 300 con adaptador para muestras secas e iluminante estándar D65. Se trabajó en espacio de

color CIE L*a*b*. Para ello se tomaron muestras cuyo tamaño fue de 30 unidades y se registraron los valores de L*, a* y b* en dos puntos del ecuador de cada fruto.

Textura: Con máquina universal de determinación de textura TA-XT2i Texture Analyzer Stable Micro Systems y software Texture Expert EXCED, versión 2,64E. Se efectuó un test de punción, que mide la fuerza requerida para introducir una punta dentro de un alimento. El tamaño de la muestra fue de 30 especímenes y se evaluó la penetración de la punta en el ecuador de cada fruto.

Peso: Se utilizó balanza BOECO Germany, Max. 610 g, d: 0,01g. El tamaño de la muestra fue de 30 unidades.

Diámetro: El diámetro ecuatorial de los frutos se midió con calibre Stainless Hardened, Mitutoyo. El tamaño de la muestra fue de 30 frutos.

Licopeno: Por HPLC fase reversa, utilizando cromatógrafo Hewlett Packard series 1100, fase estacionaria (columna): Hewlett Packard, Hypersil AA-ODS, 5 μm, 2.1 $\times$ 200 mm., guarda columna: Hewlett Packard, ODS-Hypersil, 5 μm, 20 $\times$ 2.1 mm., fase móvil: metanol, velocidad de flujo: 1 mL/min, detector: UV (473 nm.), volumen de inyección: 20 μL. (Zhao Yaping, et.al., 2002). Cada ensayo se realizó por triplicado.

β-caroteno: Por HPLC fase reversa, utilizando cromatógrafo Hewlett Packard series 1100, fase estacionaria (columna): Hewlett Packard, Hypersil AA-ODS, 5 μm, 2.1 $\times$ 200 mm., guarda columna: Hewlett Packard, ODS-Hypersil, 5 μm, 20 $\times$ 2.1 mm., fase móvil: metanol, velocidad de flujo: 1 mL/min, detector: UV (473 nm.), volumen de inyección: 20 μL. (Zhao Yaping, et.al., 2002). Cada ensayo se realizó por triplicado.

II.3. Desarrollo de modelos matemáticos

Una vez obtenidos y analizados los resultados, se procedió a buscar modelos matemáticos capaces de relacionar la fuerza de punción, concentración de licopeno y concentración de β-caroteno con el índice de color más representativo del estado de madurez de los tomates.

Obtenidos estos modelos, se tomaron muestras nuevamente y se repitieron los ensayos desde el crecimiento hasta la comercialización de los frutos con el propósito de comparar los nuevos valores experimentales con los modelos matemáticos propuestos.

Para la evaluación estadística se utilizó el software Statgraphics Plus, versión 3.0. Los ensayos realizados fueron: ANOVA, Multiple Range Tests

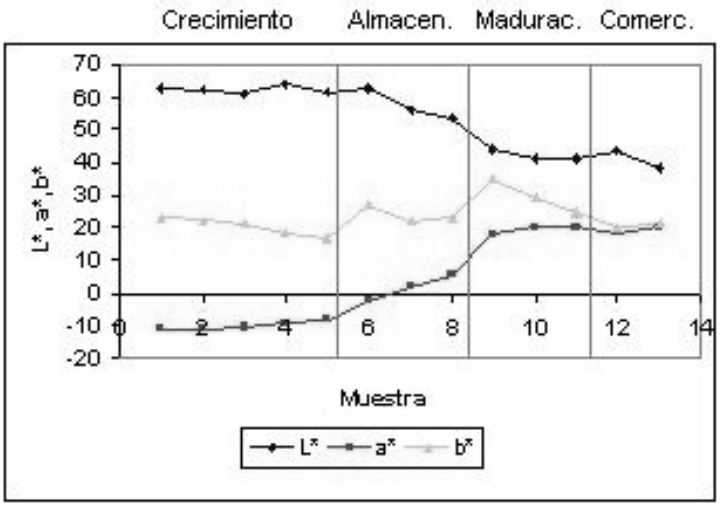
($p<0.05$) y Comparison of Alternative Models y Calibration Models.

III. Resultados y discusión

III.1. Color

En la **Figura 1** se puede ver la evolución de los parámetros de color, del espacio CIEL*a*b*, en cada uno de los estadíos estudiados.

Figura 1. Evolución de los parámetros de color



El parámetros a*, indicador del color rojo, pasó de valores negativos, en la etapa de crecimiento, a positivos a medida que comenzó a manifestarse la maduración de los frutos; debido a la degradación de la clorofila en los cromoplastos de las células y síntesis de carotenos, entre los que destaca el licopeno (**López Camelo-Gómez**, 2004; **Technology Company X-Rite**, 2000). Los promedios y desviación estándar fueron: -9,94±1,63; 2,98±3,56; 19,50±3,73 y 19,22±2,98 para el crecimiento, almacenamiento, maduración y comercialización, respectivamente.

La variable que marca el tono amarillo (b*) tomó los siguientes valores medios y correspondiente desviación estándar para las sucesivas etapas estudiadas: 20,40±3,33; 23,28±3,99; 29,20±5,16 y 20,93±2,65.

Los promedios y desviación estándar de la luminosidad fueron:

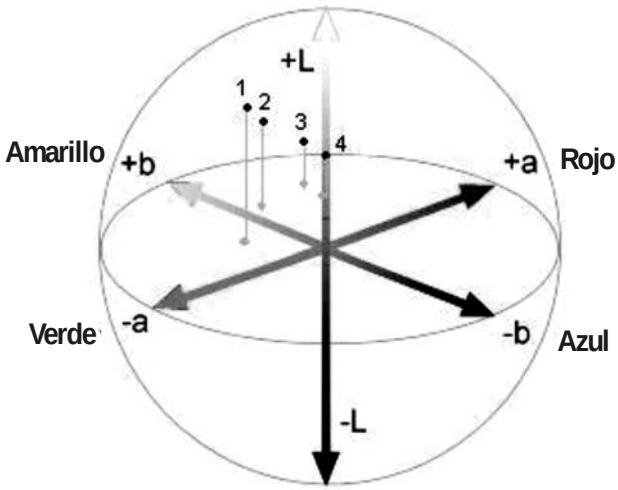
62,11±2,17; 56,02±4,40; 41,86±3,33 y 41,09±3,37.

Los valores de L*, a* y b* obtenidos por **Toor y col**. et al. (2006) en tomates de Nueva Zelanda, correspondiente a tres variedades cultivadas en distintas épocas del año, estuvieron comprendido entre: 31,8-36,7; 24,0-25,2 y 19,1-22,1; respectivamente.

En la **Figura 2** se observan los valores promedios de los parámetros de color en el espacio CIEL*a*b* para las cuatro etapas estudiadas.

Las diferencias de color, en la etapa de crecimiento, entre una muestra y la siguiente, medidas como ΔE*, osciló entre 0,78 y 2,40, lo que señala que los parámetros de color se mantuvieron prácticamente constantes.

Figura 2. Valores promedios de los parámetros de color en el espacio CIEL*a*b* para las cuatro etapas estudiadas



1: Crecimiento 2: Almacenamiento
3: Maduración 4: Comercialización

Sin embargo, cuando los frutos fueron recolectados y almacenados, ΔE* aumentó a 11,57, debido principalmente a un incremento de a* y b*, cuyos valores ascendieron de -8,01 a -2,55 y de 16,97 a 27,17,

respectivamente. Estas cifras ponen de manifiesto que, a pesar de que la temperatura de almacenamiento fue aproximadamente 20ºC menor que la reinante en los invernaderos durante el día, los tomates continuaron madurando. En las sucesivas muestras de esta etapa la diferencia de color fue próxima a 5.

Al elevarse la temperatura de almacenamiento de 12±1 ºC a 20±1ºC, para favorecer la maduración, el valor de ΔE^* fue de 17,15 debido a un aumento en la concentración de los tonos rojo y amarillo (Δa^*= 12,69 y Δb^*= 11,75) y a la disminución de la luminosidad (ΔL^*= -9,66). Luego, hasta el final de los ensayos, el parámetro ΔE^* tomó valores cercanos a 5.

Thai y col. (1990) propusieron emplear el croma (C*) como un indicador de los estados de madurez del tomate; sin embargo **López Camelo** (2004) señala que este parámetro no es un buen indicador del color, ya que sólo indica la pureza o saturación del mismo, pudiendo, en consecuencia, muestras con diferente color presentar valores similares de este parámetro, observación que se advierte en la **Tabla 1**, donde las etapas de almacenamiento y comercialización no presentan diferencias significativas a pesar de que las medias de a* son significativamente diferentes.

Tabla 1. Promedios de índices de color

Etapa	H*	C*	a*/b*	(a*/b*)2
Crecimiento	1,34 a	22,70 a	-0,49 a	0,24 a
Almacenamiento	1,55 b	24,32 ab	0,07 b	0,02 b
Maduración	1,14 c	35,50 c	0,67 c	0,47 c
Comercialización	0,87 d	28,46 b	0,92 d	0,84 d

Letras distintas señalan diferencias significativas entre los valores según el Test de Múltiple Rango ($p<0,05$).

En la **Tabla 1** también se puede ver que el índice de color $(a^*/b^*)^2$ no pone de manifiesto la diferencia de matiz (H*) cuando el parámetro a* toma valores negativos y positivos. En consecuencia, puede resultar conveniente tomar como índice de color el ratio a*/b*, el cual señala diferencias significativas entre cada uno de los estadios estudiados, y además pone de manifiesto la presencia del color verde en los frutos.

Es de señalar que **Toor** y col. (2006) obtuvieron valores de este índice (a*/b*) de 1,19 en tomates maduros, cifra superior a los alcanzados en este estudio, debido probablemente a la mayor concentración del tono rojo y a la menor concentración de amarillo. Sin embargo, **López Camelo y Gómez** (2004) obtuvieron, en ensayos efectuados en Balcarce (Argentina), valores de -0,43 para tomates verdes, 0,21 para los que tenían un color rosado, 0,48 para los ligeramente rojos y 0,59 para los frutos rojos.

III.2. Carotenoides

Los carotenoides constituyen uno de los pigmentos más importantes en las frutas. En los tomates se acumulan altas concentraciones del carotenoide licopeno (30-100 μg/g), impartiéndoles su distintivo color rojo (**Lewinsohn** y col, 2005).

Aunque no es considerado un nutriente esencial, varias investigaciones han revelado que protege al cuerpo humano contra el daño oxidativo de lípidos, proteínas y DNA (**Levy y Sharoni**, 2004).

Además del licopeno, la luteína y el β-caroteno también están presentes en el tomate pero en mucho menor cantidad (**Lin y Chen**, 2003). El β-caroteno es un precursor de la vitamina A, pues debido a la acción de ciertas enzimas de la mucosa intestinal se convierte en vitamina (**Jonson**, 2001).

En nuestro estudio, durante el crecimiento no se detectó la presencia de estos analitos en las muestras. Sin embargo, durante el almacenamiento, maduración y comercialización, los promedios para el licopeno fueron: 1,8966; 3,9059 y 4,9193 mg/100 g de tomate, respectivamente, mientras que las concentraciones de β-caroteno, para los estadíos antes mencionados, fueron: 0,0441; 0,1044 y 0,1147 mg/100 g.

Los valores de licopeno obtenidos en esta investigación, en las etapas de maduración y comercialización, se encuentran dentro del rango reportado por los autores **Levy y Sharoni** (2004): 3,1 - 7,7 mg/100 g, y **Pól** y col. (2004): 8,8 - 420 μg/g, quienes además señalaron que el contenido de este carotenoide en las frutas depende del área de crecimiento, de la estación y de la variedad.

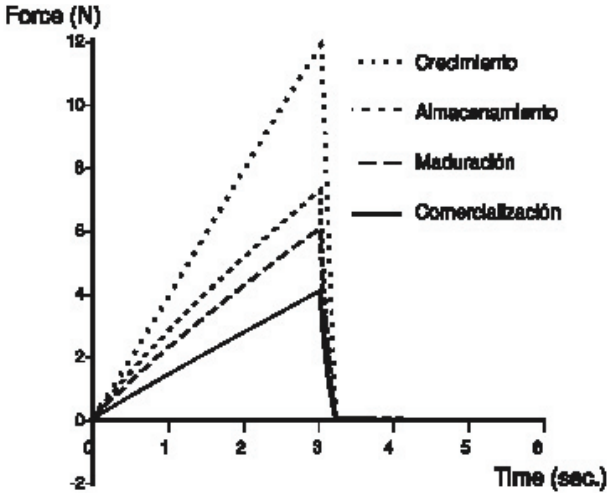
Por otra parte, **Abushita** y col., (1997) indicaron, para diferentes variedades de tomate, valores de β-caroteno superiores a los obtenidos por nosotros: 1,13 - 3,74 μg/g de fruto.

por nosotros: 1,13 - 3,74 μg/g de fruto.

III.3. Textura

La respuesta de la máquina universal de determinación de textura para el test de punción es la señalada en la **Figura 3**.

Figura 3. Respuesta experimental promedio del test de punción para cada estadio.



Inicialmente se observó un ascenso rápido de la fuerza y, luego, una abrupta disminución cuando la punta de la probeta comenzó a penetrar el fruto, lo que está representado por el cambio en la pendiente. Este punto se denomina *yield point* y es el punto de mayor interés en el test de punción, medido a través de la fuerza de punción, F (**Bourne**, 1994).

Puede observarse, además, cómo disminuyó la fuerza de punción a lo largo de los estadíos ensayados. Esto podría deberse a un cambio en la composición química de los tomates, tales como sólidos insolubles y totales, pectinas solubles, tamaño de polímeros insolubles, grado de polimerización y esterificación de polímeros insolubles, además de la actividad de enzimas que afectan la textura, tales como pectin metilesterasa, poligalacturonasa y celulasas (**Barret** y col, 1998).

maduración, pero sí entre estos estadios y los de crecimiento y comercialización.

Por otra parte, se hallaron altos coeficientes de correlación lineal entre las variables fuerza y peso de los frutos. Los valores fueron: 0,8475; 0,8877; 0,9307 y 0,9989 para las etapas de crecimiento, almacenamiento, maduración y comercialización, respectivamente. Para la fuerza y diámetro de los tomates se obtuvieron los siguientes coeficientes: 0,7863; 0,8175; 0,8848 y 0,9995 para los estadios antes mencionados.

Tabla 2. Promedios y desviación estándar de las variables: fuerza de punción, peso y diámetro

Etapa	Fuerza (N)		Peso (g)		Diámetro (cm)	
Crecimiento	11,65±1.04	a	75,42±43,92	a	5,55±1,14	a
Almacenamiento	7,02±0,99	b	164,24±53,39	b	7,00±0,77	b
Maduración	6,15±0,93	b	181,41±9,89	b	7,29±0,27	b
Comercialización	4,00±0,76	c	190,65±12,30	b	7,35±0,46	b

Letras distintas señalan diferencias significativas entre los valores según el Test de Múltiple Rango ($p<0.05$).

III.4. Desarrollo de modelos matemáticos

La correlación (r) obtenida por **Soto-Zamora y col.**, et al. (2005) entre algunos componentes de color y el contenido de licopeno fue: a* 0,85; tono 0,83; a*/b* 0,82; $(a^*/b^*)^2$ 0,64.

La respuesta derivada de los ensayos estadísticos *Comparison of Alternative Models y Calibration Models* entre las variables: licopeno, β-caroteno y fuerza de punción, versus índices de color: a*, a*/b* y $(a^*/b^*)^2$, para el presente estudio, se muestran en la **Tabla 3**.

Se puede observar que la concentración de licopeno responde mejor al modelo lineal que relaciona dicha variable con el índice de color a*/b*, mientras que la concentración de β-caroteno tiene el coeficiente de correlación más alto para la ecuación $Y= a + b \ln [(a^*/b^*)^2]$, y la fuerza de punción, para $Y= [(a + b (a^*/b^*)]^2$. Sin embargo, dado que los valores de r para estos modelos difieren ligeramente con los correspondientes a las ecuaciones lineales en donde interviene el ratio a*/b*, podrían utilizarse estas últimas debido a la menor complejidad en los cálculos.

Las fórmulas correspondientes a los modelos lineales son las siguientes:

Fuerza de punción (N) = 8,7712 - 4,9732 (a*/b*

Licopeno (mg/100 g) = 1,5490 + 3,6318 (a*/b*)

β-caroteno (mg/100 g) = 0,0375 + 0,0916 (a*/b*)

En la **Figura 4** se comparan, para cada muestra, los valores experimentales con los modelos matemáticos propuestos para las concentraciones de licopeno, β-caroteno y fuerza de punción.

El ensayo de ANOVA que compara las medias de la fuerza de punción obtenida experimentalmente y calculada a partir de la ecuación propuesta no señaló diferencias estadísticas significativas para un nivel de confianza del 95% (p= 0,3603). Tampoco se observaron diferencias estadísticas significativas para las concentraciones de licopeno (p= 0,9719) y β-caroteno (p= 0,8447).

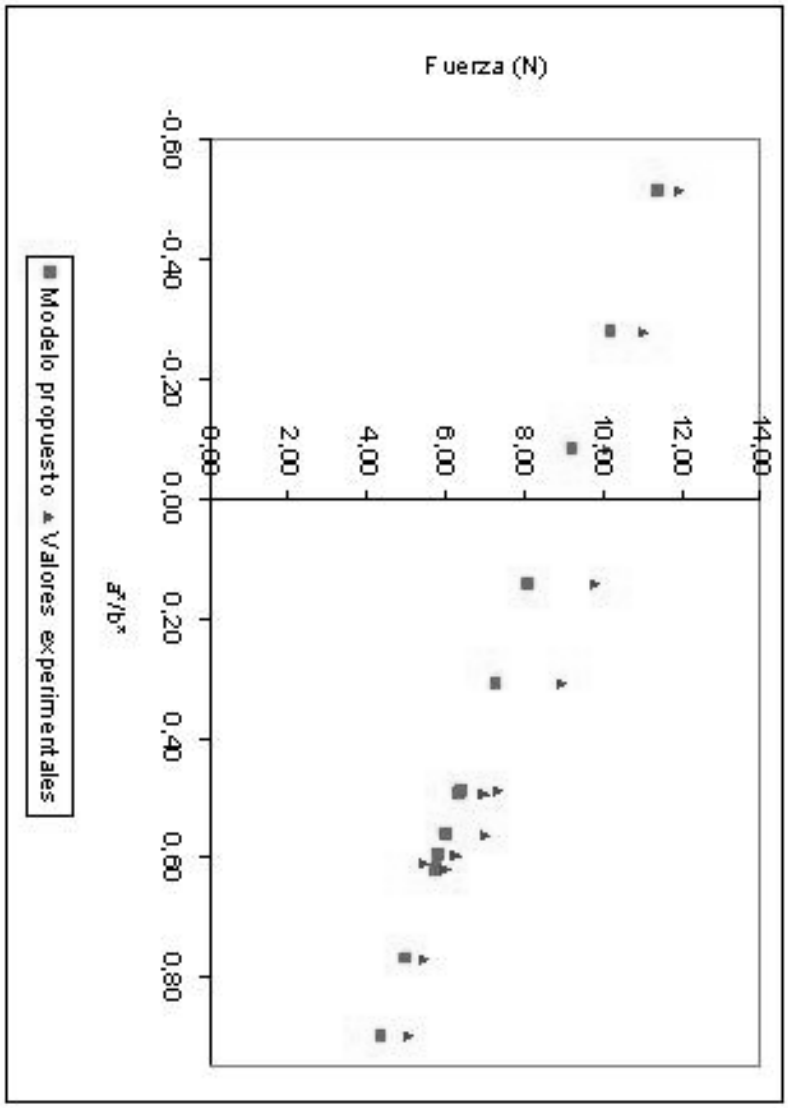
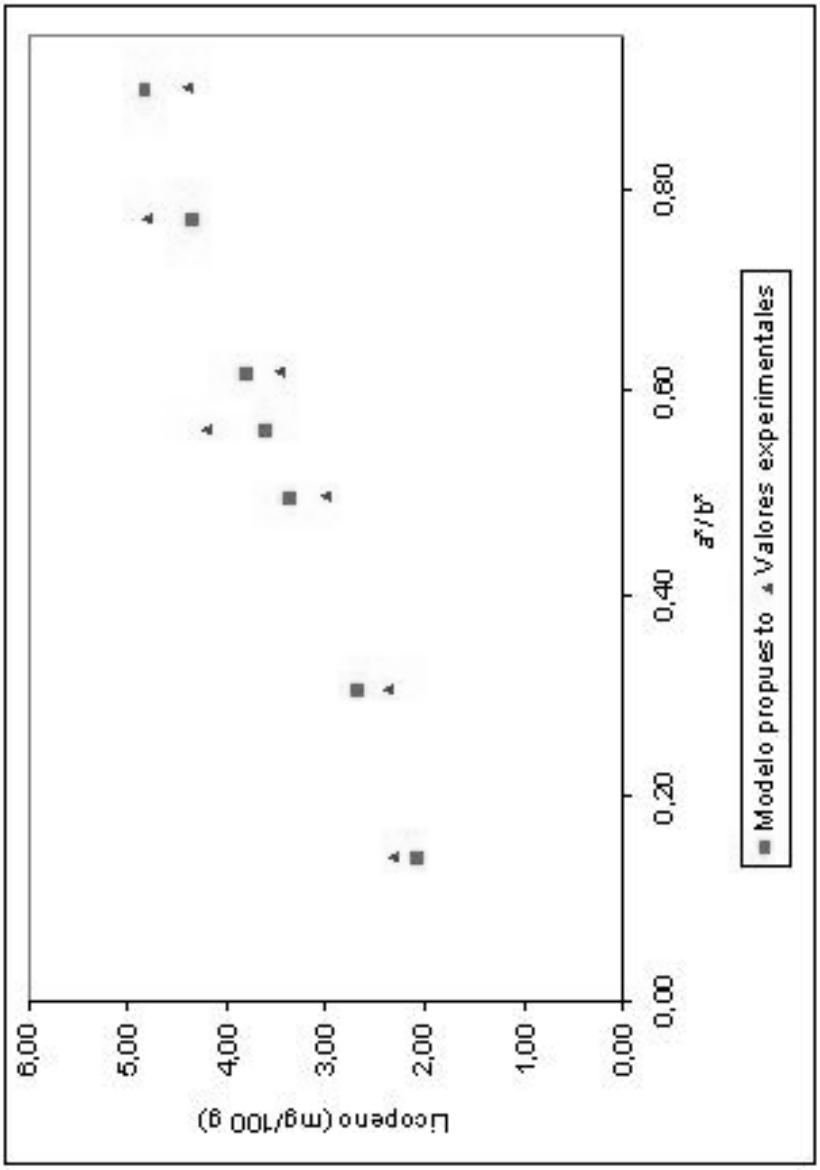


Figura 4. Comparación entre la respuesta experimental y simulada con los modelos matemáticos propuestos


Licopeno (mg/100 g)
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
a*/b*
Modelo propuesto
Valores experimentales

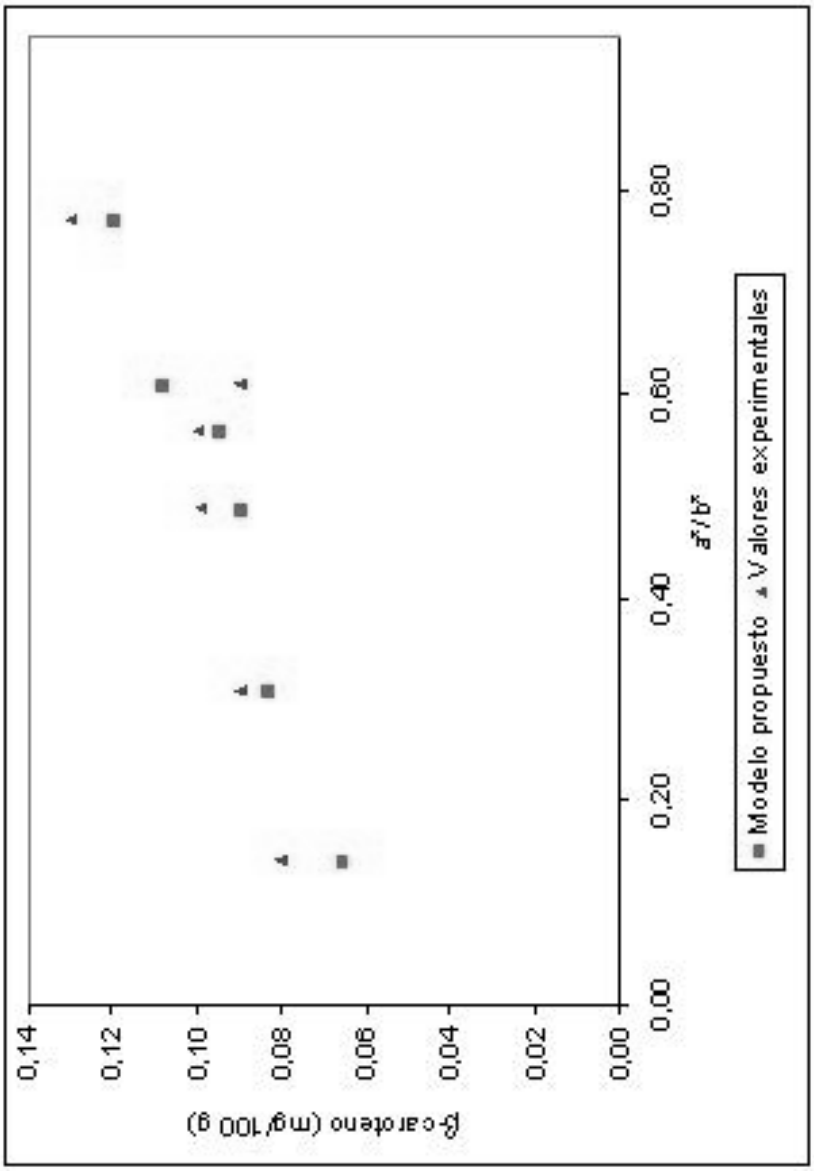

β-caroteno (mg/100 g)
0,14
0,12
0,10
0,08
0,06
0,04
0,02
0,00
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
a*/b*
Modelo propuesto
Valores experimentales

Tabla 3. Calibración de modelos

Variables	Modelos	r
Licopeno vs a*	Square root-Y [Y= (a + b X)2]	0,9344
	Lineal [Y= a + b X]	0,9284
	Exponencial [Y= exp (a + b X)]	0,9199
	Reciprocal - Y [Y= 1 / (a + b X)]	0,8439
Licopeno vs a*/b*	Lineal	0,9761
	Square root - Y	0,9628
	Exponencial	0,9302
	Reciprocal - Y	0,8284
Licopeno vs $(a^*/b^*)^2$	Logarithmic - X [Y= a + b ln X]	0,9510
	Square root - X [Y= a + b sqrt X]	0,9476
	Lineal	0,9188
β-caroteno vs a*	Lineal	0,9688
	Square root - Y	0,9598
	Logaritmico [Y= exp (a + b X)/1+exp (1+ b X)]	0,9408
	Exponencial	0,9396
β-caroteno vs a*/b*	Lineal	0,9731
	Square root - Y	0,9534
	Logaritmico	0,9262
	Exponencial	0,9217
β-caroteno vs $(a^*/b^*)^2$	Logaritmico - X	0,9806
	Square root - X	0,9424
	Reciprocal - Y	0,9403
	Lineal	0,8778
Fuerza vs a*	Lineal	-0,8909
	Square root - Y	-0,8894
	Exponencial	-0,8792
	Reciprocal - Y	0,8280
Fuerza vs a*/b*	Square root - Y	-0,9286
	Exponencial	-0,9260
	Lineal	-0,9229
	Reciprocal - Y	0,8888
Fuerza vs $(a^*/b^*)^2$	Reciprocal - Y	0,7457
	Exponencial	-0,6614
	Square root - Y	-0,6099
	Lineal	-0,5579

Sin embargo, la temperatura y la alta intensidad de la luz influyen en los atributos de calidad del tomate, tales como apariencia, firmeza, textura, materia seca y propiedades sensoriales (**Dorais** y col., 2001). La variación de las condiciones climáticas entre las diferentes estaciones podría influir significativamente en los perfiles de composición de los tomates (**Raffo** y col., 2006).

Por lo tanto, cabe la posibilidad de realizar nuevas investigaciones en tomates cultivados en invierno, de diferentes variedades o cultivados a campo con el propósito de comprobar si las variables estudiadas en el presente trabajo tienen un comportamiento similar. Esto permitiría mejorar las técnicas de manejo, selección de variedades, etc., para brindarle al consumidor un producto con elevado valor nutricional, en términos de antioxidantes, y agradable desde el punto de vista organoléptico.

IV. Conclusiones

La luminosidad correspondiente al espacio CIEL*a*b* disminuyó en las etapas estudiadas, mientras que la variable que marca el cambio de verde a rojo pasó de valores negativos en la etapa de crecimiento a positivos en los estadios posteriores. Esto pone de manifiesto la degradación de la clorofila en los cloroplastos de las células y síntesis de carotenos, entre los que destaca el licopeno y en menor proporción el β-caroteno.

Durante el crecimiento no se detectó la presencia de estos carotenoides en las muestras, pero sí durante el almacenamiento, maduración y comercialización.

De los índices de color utilizados para evaluar el estado de madurez de los frutos, el ratio a*/b* mostró diferencias significativas entre cada uno de los períodos estudiados. Además puso de manifiesto la diferencia entre los tonos verde y rojo de los tomates. Por lo tanto, se podría utilizar esta relación como índice de color.

La textura disminuyó con el transcurso del tiempo, probablemente debido a algún cambio en la composición química, tal como sólidos insolubles y totales, pectinas solubles, tamaño y grado de polimerización y esterificación de polímeros insolubles y actividad de enzimas que afectan la textura. Además se observó correlación lineal entre la fuerza de punción y el peso y diámetro de los frutos.

De los modelos matemáticos analizados para relacionar las variables: Licopeno vs a*/b*, β-caroteno vs a*/b* y Fuerza de punción vs a*/b*, se considera apropiado trabajar con los que tienen una respuesta lineal.

Por lo tanto, utilizando un colorímetro que permita medir los parámetros L*, a* y b* en el espacio CIEL*a*b* y calculando el índice de color a*/b*, podrían estimarse la textura y las concentraciones de licopeno y β-caroteno presentes en el tomate.

Referencias bibliográficas

ABUSHITA A.A., HEBSHI E.A., DAOOD H.G., BIACS P.A. (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. En: *Food Chemistry*. Vol. 2, pp. 207-212.

BARRETT D. M., GARCIA E.; WAYNE J. E. (1998). Textural Modification of Processing Tomatoes, en: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(3), pp. 173-258.

BOURNE, M.C. (1994). Converting from empirical to rheological tests on foods -it's a matter of time, en: *Cereal Foods World* 39(11), pp. 37-39.

CAMPOS J., HITA, E., ROMERO J., MELGOSA M., ARTIGAS J. M., CAPILLA P., FELIPE A., VERDÚ F. M., PUJOL J., NEGUERUELA I., JIMÉNEZ DEL BARCO L. (1997). *Óptica Pura y Aplicada*. Vol. 30, pp.1-35, http://sedo.optica.csic.es/OPA/2.pdf Acceso: 23-05-2006

CORVO DOLCET, S. Zonas de Producción del Cultivo del Tomate en la Argentina. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Forestación. Dirección de Agricultura. 2005. http://www.seedquest.com/News/releases/2005/pdf/13528.pdf. Acceso: 23-05-2006.

DORAIS, M., PAPADOPOULOS A.P., GOSSELIN A. (2001). Greenhouse tomato fruit quality, en: *Horticultural Reviews*. Vol 26, pp. 239-319.

GHEZÁN, G. (2002). *Trayectoria y Demandas Tecnológicas de las Cadenas Agroindustriales en el MERCOSUR: Hortalizas.* http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/econo/mercado/ghezan.pdf. Acceso: 23-05-2006.

GOULA A.M., ADAMOPOULOS K.G. (2005). Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp, en: *LWT*. Vol 38, pp. 479-487.

JACKMAN R.L., STANLEY D.W. (1995). Perspectives in the textural evaluation of plant foods, en: *Trends Food Sci. Technol*. Vol. 6, pp. 187-194.

JOHNSON I.T. (2001). Propiedades antitumorales de los antioxidantes. (pp. 97-117). En: POKORNY, J., YANISHLIEVA, N., GORDON, M. *Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas.* Zaragoza: Editorial ACRIBIA,

LEVY J., SHARONI Y. (2004). The funtiones of tomato lycopene and its role in human health, en: *The Journal of the American Botanical Council.* Vol 62, pp. 49-56.

LEWINSOHN E., SITRIT Y., BAR E., AZULAY Y., IBDAH M., MEIR A., YOSEF E., ZAMIR D., TADMOR Y. (2005). Not just colors-carotenoid degradation as a link between pigmentation and aroma in tomato and watermelon fruit, en: *Food Science & Technology.* Vol. 16, pp. 407-415.

LIN C.H., CHEN B.H. (2003). Determination of carotenoids in tomato juice by liquid

chromatography, en: *Journal of Chromatographya.* Vol 1012, pp. 103-109.
LÓPEZ CAMELO A., GÓMEZ P. (2004). Comparison of color index for tomato ripening, en: *Horticultura Brasileira.* V.22, n.3, jul-set, pp. 534-537.
PÓL J., HYÖTYLÄINCN, T., RANTA-AHO, O., RICKKOLA, M. (2004). Determination of lycopene in food by on-line SFE coupled to HPLC using a single monolithic column for trapping and separation, en: *Journal of Chromatographya.* Vol. 1052, pp. 25-31.
RAFFO A., LA MALFA G., FOGLIANO V., MAIANI G., QUAGLIA G. (2006). Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculetum* cv. Naomi F1), en: *Journal of Food Composition and Analysis.* Vol. 19, , pp. 11-19.
SOTO-ZAMORA G., YAHIA E.M., BRECHT J. K., GARDE A. (2005). Effects of postharvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit, en: *LWT* 38, pp. 657-663.
SOUTHON S.; FAULKS R. (2001). Predicción de la biodisponibilidad de los antioxidantes de los alimentos: el caso de los carotenoides. (pp. 119-137). En: POKORNY, J., YANISHLIEVA, N., GORDON, M. *Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas*. Zaragoza: Editorial ACRIBIA.
STOLLE-SMITS, T.; GERARD BEEKHUIZEN, J.; KOK, T. C.; PIJNENBUR, M.; RECOURT, K., DERKSEN, J.; VORAGEN, A. (1999). Changes in Cell Wall Polysaccharides of Green Bean Pods during Development, en: *Plant Physiology.* Vol. 121, pp. 363-372.
TECHNOLOGY COMPANY X-RITE. (2000). *A Guide to Understanding Color*. Communication. http://www.sgia.org/pdf_server.cfm?pdf=/members/graphic_
imagers/technology/screen/displaygfx/downloads/CM_006.pdf. Acceso: 23-05-2006.
THAI, C. N., SHEWFELT, R. L., GARNER, J. C. (1990). Tomato color changes under constant and variable storage temperatures: empirical models, en: *Transactions of the ASAE*. Vol. 33, pp. 607-614.
TOOR R.K., SAVAGE G.P., LISTER C.E. (2006). Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes, en: *Journal of Food Composition and Analysis.* Vol. 19, pp. 1-10.
VAN DIJK, C.; BOERIU, C.; PETER, F.; STOLLE-SMITS, T.; TIJSKENS, L. M. M.. The firmness of stored tomatoes (cv. Tradiro). 1. Kinetic and near infrared models to describe firmness and moisture loss, en: *Journal of Food Engineering.* Vol. 77, pp. 575-584.
ZHAO YAPING, QIAN SUPING, YU WENLI, XUE ZHENG, SHEN HONG, YO SIDE, WANG DAPU. (2002). Antioxidant activity of lycopene extracted from tomato paste towards trichloromethyl peroxyl radical $CCl_3O_2^{\bullet}$, en: *Food Chemistry.* Vol. 77, pp. 209 - 212.