

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo, A. C.

CONTENIDO DE PIGMENTOS EN RELACIÓN AL COLOR DE
FRUTOS HÍBRIDOS DE TOMATE DURANTE SU MADURACIÓN

POR:

ROSABEL VÉLEZ DE LA ROCHA

TESIS APROBADA POR LA

UNIDAD CULIACÁN DEL CIAD EN FISILOGÍA Y ~~TECNOLOGÍA~~
POSCOSECHA DE FRUTAS, HORTALIZAS Y GRANOS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRIA EN CIENCIAS

C. i. A. D., A. C.

RECIBIDO

CULIACÁN, SINALOÁ

21 ABR. 2003

DICIEMBRE, 2001

BIBLIOTECA

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para revisar la tesis de Rosabel Vélez de la Rocha, la han encontrado satisfactoriamente y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR

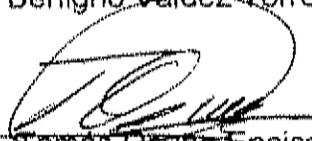


Dr. Jorge Humberto Siller Cepeda

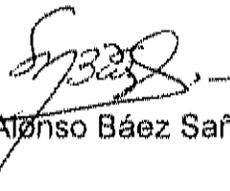
ASESORES



Dr. Benigno Valdez Torres



Dr. Tomás Osuna Enciso



M. C. Manuel Alfonso Báez Sañudo

DECLARACIÓN DEL AUTOR

Se permiten y agradecen citas breves del material contenido en la presente tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD).

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita, del director o directora del trabajo de tesis.

DR. INOCENCIO HIGUERA CIAPARA
DIRECTOR CIAD A. C.

DEDICATORIAS

**Con inmenso amor y gratitud dedico esta tesis a mi esposo y a mis hijos,
pues sin su apoyo y comprensión, no hubiera sido posible realizarla.**

**A mi madre y a mi padre con respeto y admiración por el apoyo
incondicional que siempre me han brindado.**

**A mis hermanos y sobrinos por ser la gran familia que cualquier persona
desearía tener.**

AGRADECIMIENTOS

Deseo plasmar en estas líneas mi especial agradecimiento al

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. (CIAD), por permitirme ser parte del programa de Maestría y de su comunidad.

De la misma forma también deseo agradecer:

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por el importante apoyo económico brindado durante el tiempo que duró el programa de Maestría.

Al **Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (CECyT)**, por el apoyo económico brindado para la culminación de la presente tesis.

Al **Sistema de Investigación del Mar de Cortez (SIMAC)** por el financiamiento otorgado al proyecto de investigación.

Por brindarme la oportunidad y la confianza de trabajar bajo su dirección, mi enorme agradecimiento al **Dr. Jorge H. Siller Cepeda**. Muchas gracias.

Le debo además, enorme gratitud al **Dr. José Benigno Valdez Torres** por toda la ayuda, consejos y tiempo brindados para la realización del presente trabajo.

Al **Dr. Tomás Osuna Enciso** y al **MC. Manuel Alonso Báez Sañudo** un especial agradecimiento por sus correcciones, comentarios y la ayuda brindada para la realización de mi tesis.

A todos los maestros titulares y auxiliares de las asignaturas, por su contribución en nuestra formación, **Dr. Sócrates Trujillo, Dr. Felipe Peraza, Dr. Federico Hahn, Dra. Mary Quiñones, Dr. Raymundo García E., Dr. Miguel A. Angulo Escalante, Dra. Ma Dolores Muy Rangel, Dr. Cristobal Chaidez Quiroz, Dr. Manuel Villarreal Romero, MC. Armando Carrillo F. y MC. Raúl Allende Molar.**

A mis compañeros **MC. María de Jesús Moreno Montoya y MC. Cosme Bojórquez Ramos** por el tiempo que compartimos durante la maestría, por su compañerismo y sobre todo por su amistad.

A todos los técnicos de laboratorio por su invaluable ayuda para la realización práctica del presente trabajo, especialmente a la **IBQ Laura Contreras, IBQ Evelia Araiza Lizalde, IQ Werner Rubio Carrasco, MC Adriana Sañudo Barajas, MC Verónica Pérez Rubio, IBQ Beatriz Ibarra E., MC Eduardo Sánchez, QFB Célida Martínez y al Ing. Isidro Márquez Z.**

Agradezco a la **CP. Claudia Valenzuela Ramos y Lic. Arnulfo Osuna**, por su ayuda en múltiples trámites administrativos. Al **Sr. Victor Arana Alarcón** por su amistad y por mantener un ambiente con chispa todos los días de trabajo. Al **Sr. Raúl Reyes** por el auxilio brindado en el mantenimiento del lugar y los equipos de trabajo.

Para todos ellos y a todos los que de alguna u otra forma participaron en la realización de esta tesis, no tengo más que dos palabras para expresar mi más sincero agradecimiento.

MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	xvi
OBJETIVOS	xviii
Objetivo General	xviii
Objetivos Particulares	xviii
METAS	xix
HIPÓTESIS	xx
REVISIÓN DE LITERATURA	1
Importancia económica del Tomate	1
Origen del Tomate	1
Taxonomía	3
Características de la Planta	3
Características del Fruto	4
Calidad Poscosecha	5
Color	5
Firmeza	10
Sabor	11
Valor Nutritivo	13

Importancia de los Pigmentos Carotenoides de Tomate	14
Manipulación Genética	18
Evaluación de Nuevas Variedades de Tomate	19
Estimación del Contenido de Pigmentos a Partir de los Parámetros de Color	19
MATERIALES Y MÉTODOS	22
Material Vegetal	22
Metodología	23
Porcentaje de Pérdida de Peso	23
Color	23
Firmeza	24
Análisis Químicos	25
Análisis de Pigmentos	26
Carotenoides Totales	26
Licopeno	27
Diseño y Análisis Estadístico	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
Pérdida de Peso	30
Firmeza	32
Compresión	32
Punción	33

Análisis Químicos	36
pH	36
Acidez Titulable	38
Sólidos Solubles Totales	40
Relación °Brix/Acidez Titulable	41
Color Externo	43
Luminosidad	43
Coordenada Cromática b*	43
Coordenada Cromática a*	45
Ángulo de Matiz (Hue) y Cromaticidad (C)	45
Color Interno	49
Angulo de Matiz	49
Luminosidad	51
Cromaticidad	51
Análisis de Pigmentos	54
Carotenoides Totales	54
Licopeno	57
Análisis de Correlación y Regresión	59
Relación Entre el Contenido de Pigmentos y el Color Externo	63
Relación Entre el Contenido de Pigmentos y el Color Interno	67
CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	81

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del tomate	3
Cuadro 2. Composición Nutricional de Tomate Maduro	15
Cuadro 3. Principales pigmentos formados durante la maduración de tomate (cv. San Marzano)	16
Cuadro 4. Análisis de Varianza para pH	37
Cuadro 5. Análisis de Varianza para Acidez Titulable	39
Cuadro 6. Análisis de Varianza para Sólidos Solubles Totales	41
Cuadro 7. Análisis de Varianza para Relación °Brix/Acidez Titulable	42
Cuadro 8. Coeficientes de correlación entre los parámetros de color y el contenido de carotenoides totales y licopeno en tomates de diferentes variedades almacenados bajo condiciones de mercadeo	59
Cuadro 9. Predicción del contenido de licopeno en tomate a partir de los valores de Hue	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción de tomate en Sinaloa en el período 1994-1999	2
Figura 2. Estados de madurez de tomate propuestos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos desde 1976	7
Figura 3. Diagrama de color L*, a*, b* (Minolta, 1994)	8
Figura 4. Tendencia del consumo <i>per capita</i> de tomate fresco en Estados Unidos según la USDA - ERS	17
Figura 5. Porcentaje de Pérdida de Peso Acumulado en Tomate de 5 Variedades Almacenado en Condiciones de Mercadeo	31
Figura 6. Firmeza por Compresión en 5 Variedades de Tomate Almacenado en Condiciones de Mercadeo	34
Figura 7. Efectos Principales de Firmeza por Compresión, según ANOVA en las 5 Variedades de Tomate Evaluadas	34
Figura 8. Firmeza por Punción en 5 Variedades de Tomate Almacenado en Condiciones de Mercadeo	35
Figura 9. Efectos Principales de Firmeza por Compresión, según ANOVA en las 5 Variedades de Tomate Evaluadas	35
Figura 10. Comportamiento de pH en Tomate de 5 Variedades Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo	36
Figura 11. Porcentaje de Acidez Titulable en Tomate de 5 Variedades Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo	39
Figura 12. Contenido de Sólidos Solubles Totales en Tomate de 5 Variedades Almacenado en Condiciones de Mercadeo	40
Figura 13. Tendencia de la Relación °Brix/Acidez Titulable (RBA) de Tomates de 5 Variedades, Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo	42
Figura 14. Valores de Luminosidad en Tomate de 5 Variedades, Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo	44

Figura 15. Valores de b^* de Tomate de 5 Variedades, Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo	44
Figura 16. Valores de a^* de Tomate de 5 Variedades, Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo	46
Figura 17. Valores de Cromaticidad de Tomates de 5 Variedades, Durante su Almacenamiento a 20°C	47
Figura 18. Valores de Hue de Tomate de 5 Variedades, Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo	48
Figura 19. Efectos Principales de Hue, Según ANOVA en las 5 Variedades de Tomate Evaluadas	49
Figura 20. Luminosidad de Color Interno en Tomate de 5 Variedades Almacenado en Condiciones de Mercadeo	52
Figura 21. Comparación de Valores de Hue Interno y Externo a los 6 y 20 Días de Almacenamiento de Tomate de 2 Variedades	53
Figura 22. Valores de Cromaticidad de Color Interno en Tomate de 5 Variedades Almacenado en Condiciones de Mercadeo	54
Figura 23. Contenido de Carotenoides Totales en Tomate de 5 Variedades, Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo	56
Figura 24. Gráfica de Efectos Principales para Carotenoides Totales en Tomate de 5 Variedades, Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo	56
Figura 25. Contenido de Licopeno en Tomate de 5 Variedades, Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo	58
Figura 26. Gráfica de Efectos Principales para Licopeno Según Análisis de Varianza Realizado en Minitab.	58
Figura 27. Relación entre el Contenido de Carotenoides Totales y el Valor de a^* Externo Medido en Tomates de 5 Variedades	61
Figura 28. Relación entre el Contenido de Licopeno y el Valor de a^* Externo Medido en Tomates de 5 Variedades	61

Figura 29. Relación entre el Contenido de Carotenoides Totales y el Valor de Hue Externo Medido en Tomates de 5 Variedades	62
Figura 30. Relación entre el Contenido de Licopeno y el Valor de Hue Externo Medido en Tomates de 5 Variedades	62
Figura 31. Relación entre el Contenido de Licopeno y los Valores de Hue Externo Medido en Tomates de la Variedad EX12302	65
Figura 32. Relación entre el Contenido de Licopeno y los Valores de Hue Externo Medido en Tomates de la Variedad EF163	65
Figura 33. Relación entre el Contenido de Licopeno y los Valores de Hue Externo Medido en Tomates de la Variedad EF110	66
Figura 34. Relación entre el Contenido de Licopeno y los Valores de Hue Externo Medido en Tomates de la Variedad EX1981795	66
Figura 35. Predicción del Contenido de Licopeno (A) y Carotenoides Totales (B) a partir de los Valores de Hue de Color Interno en Tomates de 5 Variedades Almacenados en Condiciones de Mercadeo	66

RESUMEN

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo en el mundo, recientemente ha aumentado en importancia debido a su alto contenido de carotenoides, principalmente licopeno. Este pigmento es el responsable del color rojo característico y además actúa como un poderoso antioxidante cuyo consumo se ha asociado con una baja incidencia de cáncer. Con el constante desarrollo de nuevos híbridos de tomate, modificados en sus cualidades, se hace necesario evaluar continuamente las características de calidad física, química y nutricional de una gran cantidad de variedades para determinar su aceptación en el mercado; sin embargo, las técnicas de laboratorio utilizadas para medir pigmentos carotenoides son muy costosas y laboriosas, por lo que se requiere la implementación de métodos que permitan disminuir los costos y tiempos en la determinación de estos importantes componentes de la calidad de los frutos de tomate. Por lo anterior, en este trabajo se planteó determinar los niveles de carotenoides totales y licopeno en frutos híbridos de tomate durante su maduración, así como establecer ecuaciones matemáticas que permitan relacionar estos pigmentos con los valores de color, firmeza, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable y pH. Se utilizaron 5 variedades de tomate de la compañía Asgrow cosechados en estado verde maduro, 2 de las cuales son comerciales (EF110 y EF163) y las demás están en evaluación (EX12271, EX1981795 y EX12302). Los frutos fueron almacenados en cámaras a 20°C durante 40 días. Durante los primeros 6 días de almacenamiento, no se observaron diferencias en el valor del ángulo de matiz (Hue) de las 5 variedades, sin embargo a partir del día 8, la variedad EF110 alcanzó el color rojo más rápidamente presentando un valor Hue de 73° así como el mayor contenido de pigmentos.

durante 40 días. Durante los primeros 6 días de almacenamiento, no se observaron diferencias en el valor del ángulo de matiz (Hue) de las 5 variedades, sin embargo a partir del día 8, la variedad EF110 alcanzó el color rojo más rápidamente presentando un valor Hue de 73° así como el mayor contenido de pigmentos. Al final del almacenamiento las variedades EF110 y EX1981795 presentaron los valores de Hue más bajos y el contenido de pigmentos más alto (74p.g/g). Se encontró una relación directa entre el color y el contenido de pigmentos de tal forma que se obtuvieron modelos matemáticos para estimar la concentración de estos a partir de los valores de color a^* y Hue ($r^2 = 86\%$). Los demás parámetros de color no presentaron linealidad con el contenido de pigmentos en los frutos. Respecto a la firmeza, los frutos de las 5 variedades exhibieron valores de firmeza aceptables aún al final del almacenamiento, pero los tomates de las variedades EX1981796, EX12271 y EF110 se distinguieron por presentar el mejor comportamiento respecto a este parámetro. Los datos de firmeza por punción arrojaron modelos matemáticos para determinar el contenido de pigmentos con un coeficiente de determinación aceptable (75,6%). No se presentaron diferencias importantes en cuanto a los parámetros de calidad entre variedades, pero sí en el tiempo, de tal manera que la calidad interna alcanzó valores aceptables alrededor del día 20 de almacenamiento con un valor de 10 en la relación bríx-acidez (RBA): no se encontró linealidad entre estos parámetros y el contenido de pigmentos.

INTRODUCCIÓN

El tomate después de la papa es la hortaliza más importante en el mundo. Actualmente su producción rebasa los 60 millones de toneladas y representa aproximadamente el 10% del volumen mundial de hortalizas. México produce un promedio anual de 1'850,000 toneladas de tomate, de las cuales exporta aproximadamente 700,000 toneladas a los Estados Unidos (INEGI, 1999, FAO, 2001).

El Estado de Sinaloa, con una superficie cultivada de 25,000 hectáreas produce 850,000 toneladas al año; con las cuales alcanza el 42% de la producción nacional y participa con el 65 al 95% de las exportaciones de tomate mexicano. (Sagar, 2000)

Recientemente, el consumo per capita de tomate se ha incrementado debido a sus propiedades nutritivas, ya que posee un alto contenido de carotenoides, principalmente licopeno, el cual además de ser el responsable del color rojo característico, es un poderoso antioxidante asociado con la baja incidencia de cáncer (Wrick, 1995; King y col. 1999; Lucier y col., 2000).

Los nuevos materiales híbridos de tomate pueden variar ampliamente en importantes parámetros de calidad, como son el color, la firmeza, el sabor y en el contenido de pigmentos, principalmente licopeno y β -caroteno (Tigchelaar y col. 1978; Thompson y col., 2000).

Anualmente, el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Culiacán, evalúa la calidad de una gran cantidad de variedades de tomate con el fin de determinar si reúnen las características adecuadas para una buena comercialización. Un inconveniente en la determinación del contenido de pigmentos en un elevado número de muestras, es el alto costo y el tiempo que se requiere para su análisis, por lo que planteó se planteó en este trabajo buscar alternativas eficientes para reducir estos inconvenientes, mediante el uso de modelos matemáticos que permitan estimar el contenido de carotenoides totales y licopeno a partir de otros parámetros de calidad más sencillos y económicos de determinar, como son el color, la firmeza, y la calidad interna.

En base a lo anterior el presente trabajo consistió en evaluar la calidad postcosecha de 5 variedades de tomate bola de la compañía Asgrow, así como el contenido de carotenoides totales y licopeno, utilizando para la realización del experimento un diseño de un factor (variedad) en bloques aleatorizados completos (tiempo). Se encontraron modelos matemáticos satisfactorios para estimar la concentración de carotenoides totales y licopeno en tomate durante su maduración en condiciones simulación de mercadeo.

OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer modelos matemáticos que permitan estimar el contenido de los principales pigmentos de tomate, a partir de los parámetros de color, así como evaluar las características de calidad de frutos de diferentes variedades almacenados bajo condiciones de mercadeo.

Objetivos Particulares

1. Determinar los valores de color L, a, b, Hue y Cromo en frutos de tomate durante su maduración en condiciones de mercadeo.
2. Cuantificar carotenoides totales y licopeno durante la maduración poscosecha de los materiales en estudio.
3. Realizar un análisis de regresión con los datos de color y contenido de pigmentos para obtener los modelos correspondientes para cada parámetro.
4. Estimar la pérdida de peso y firmeza de los diferentes materiales en estudio durante su almacenamiento en condiciones de mercadeo.
5. Determinar los parámetros de calidad química (pH, acidez titulable, sólidos solubles totales y relación Brix/Acidez) de los materiales en estudio durante su almacenamiento a 20°C.

METAS

1. Generar modelos matemáticos útiles para estimar de manera rápida y económica la concentración de carotenoides totales y licopeno en frutos de tomate.
2. Aportar información acerca de la calidad y vida de anaquel de nuevas variedades de tomate.

HIPÓTESIS

1. Se puede predecir el contenido de carotenoides totales y licopeno en base a los parámetros de calidad de los frutos de tomate por medio de modelos matemáticos.
2. Las variedades de tomate evaluadas, difieren en sus características de calidad (firmeza, color, pH, acidez titulable, sólidos solubles totales y relación brix/acidez).

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia Económica del Tomate

El tomate es la hortaliza más importante en numerosos países y su popularidad aumenta constantemente. En la actualidad este cultivo ha adquirido importancia económica en todo el mundo. En 1998 se produjeron a nivel mundial 89.8 millones de toneladas y en el año 2000 se incrementó la producción a más de 100 millones de toneladas (Nuez, 1995; FAO, 2001).

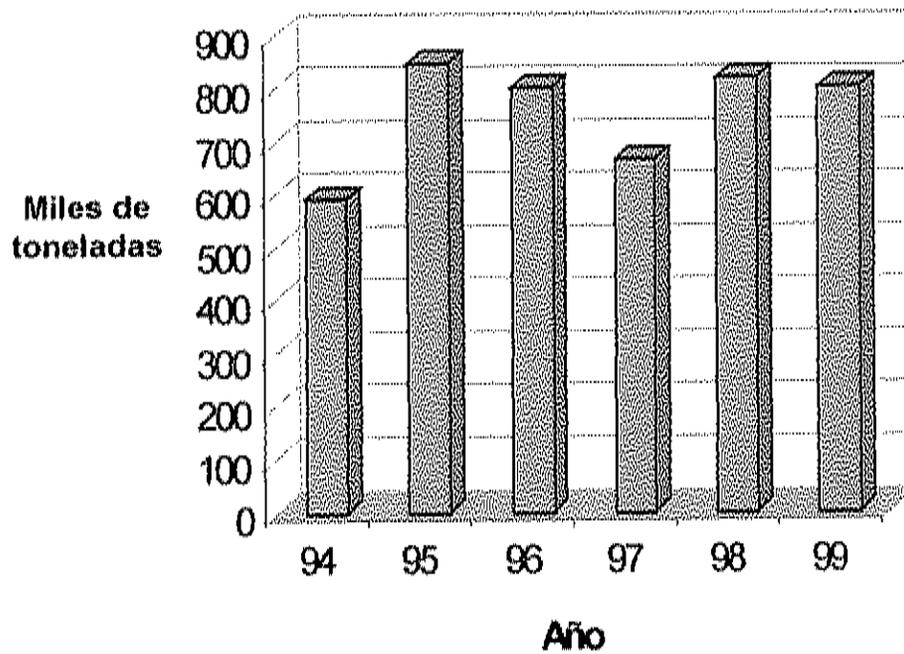
En México se ha incrementado la producción de tomate de 1'368,291 toneladas en 1994, hasta 2'430,619 en el año de 1999 (INEGI, 2000). Durante ese período, Sinaloa sobresale como el principal productor de este cultivo con el 33% de la producción nacional, produciendo 801, 756 toneladas en 1999 (Figura 1).

Origen del tomate

La planta de tomate es originaria de América, de la región de los Andes y fue domesticada en México por los antiguos Aztecas. Durante la conquista de México, Hernán Cortez lo introdujo en España en 1523 y a partir de allí se difundió a los demás países de Europa y de otros continentes en donde el tomate fue ganando popularidad por su apariencia, sabor y frescura. Hoy en

día el tomate es una de las hortalizas de mayor consumo alrededor del mundo (Van Haeff, 1990; Nuez, 1995; Dorais y col., 2001).

Figura 1. Producción de Tomate en Sinaloa en el periodo 1994 -1999



Taxonomía

La planta de tomate es dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas, la taxonomía aceptada generalmente según Nuez (1995) se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del tomate

Clase:	<i>Dicotyledoneas</i>
Orden:	<i>Solanales (Personatae)</i>
Familia:	<i>Solanaceae</i>
Subfamilia:	<i>Solanoideae</i>
Tribu:	<i>Solaneae</i>
Género:	<i>Lycopersicon</i>
Especie:	<i>esculentum</i>

Características de la planta

El tomate es una planta herbácea perenne que se cultiva como anual, puede desarrollarse en forma rastrera, semierecta o erecta y el crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las variedades indeterminadas, pudiendo llegar en éstas últimas, a 10 m en un año (Nuez, 1995). La planta se desarrolla en un amplio rango de latitudes, tipos de suelos,

temperaturas y métodos de cultivo y es moderadamente tolerante a la salinidad. Prefiere ambientes cálidos, con buena iluminación y drenaje (Chamarro, 1995).

Características del Fruto

El fruto es una baya bi o plurilocular que se desarrolla a partir de un ovario de unos 5 a 10 mm y alcanza un peso final en la madurez que oscila entre los 5 y 500 g. en función de la variedad y las condiciones de desarrollo. El fruto adulto de tomate está constituido, básicamente por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas.

El pericarpio lo componen la pared externa, las paredes radiales o septos que separan los lóculos y la pared interna o columela. La piel o exocarpo consta de la capa epidérmica externa, sin estomas y prácticamente sin almidón. La epidermis está cubierta por una fina cutícula que se engruesa a medida que se desarrolla el fruto.

Las cavidades locales son huecos en el pericarpio; un fruto normal posee al menos dos lóculos. Los lóculos contienen las semillas rodeadas por una masa gelatinosa de células de paredes delgadas de tipo parenquimático que llenan las cavidades locales cuando el fruto está maduro (Chamarro, 1995).

Calidad Poscosecha

La calidad de tomate para consumo en fresco, una vez que éste ha sido cosechado, está determinada por su apariencia, firmeza y las propiedades organolépticas (sabor) y nutraceuticas (beneficios a la salud) que posee. La apariencia, a su vez está influenciada por las características de color, tamaño, forma, y la ausencia de pudriciones y síntomas de desórdenes fisiológicos (Kader, 1992; Dorais, 2001).

El tiempo de vida de anaquel y la calidad microbiológica son también importantes criterios de calidad para la comercialización de tomate (Salunkhe y Desai, 1984; Dorais, 2001).

Color

En la comercialización de tomate, excluyendo el tamaño de los frutos, el factor principal en la aceptación es el color. La estrecha relación que existe entre la evolución de los pigmentos y el estado de madurez de los frutos, permite una fácil diferenciación en base a los cambios que experimenta el color. Debido a esto, se han desarrollado numerosas escalas o "cartas" de color para realizar la clasificación subjetiva del estado de madurez. Una de las más utilizadas es la United States Standards for grades of fresh tomatoes USDA,

propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en 1976 y que se ilustra en la Figura 2.

Las medidas más apropiadas para interpretar el color según McGuire (1992) se obtienen de calcular el ángulo de matiz (Hue) y Croma (C*) a partir de las coordenadas de color a* y b* con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Hue}^\circ = \arccot(b^*/a^*)$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

El ángulo de matiz (Hue) indica el color verdadero y la cromaticidad (C*) es un índice análogo a la saturación o intensidad del color. Si se representan estos parámetros en un círculo de color dividido en 360° (Figura 3), el color rojo púrpura se coloca en el extremo derecho a los 0°, siguiendo en sentido inverso a las manecillas del reloj quedan colocados el color amarillo, el verde-azulado y el azul, a los 90°, 180° y 270° respectivamente. Los valores de C* van desde 0 a 60 a partir del origen, es decir de menor a mayor intensidad o saturación del color. (Little, 1975; McGuire, 1992; Minolta, 1994).

Los trabajos desarrollados sobre la clasificación objetiva de tomate por medida de color, han permitido formular ecuaciones matemáticas en las que, a partir de los valores L*, a*, b*, es posible separar los frutos de diferentes estados de madurez. Los equipos empleados actualmente para la clasificación automática de tomate, se basan en estas investigaciones, y han permitido reducir el tiempo y costo del proceso de empaque. (Watada, 1989; Hutchings, 1999).

Figura 2. Tablas de color de los diferentes estados de madurez de tomate propuestas por la USDA en 1978.

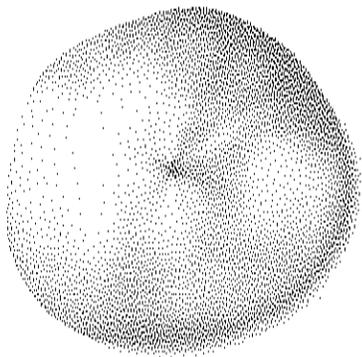
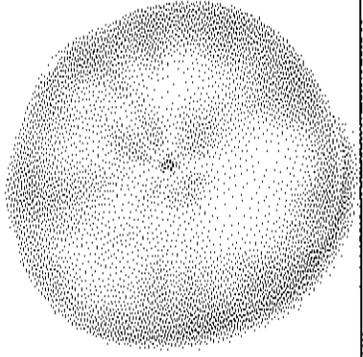
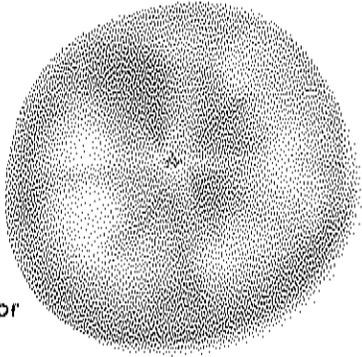
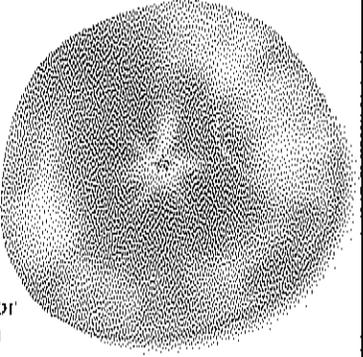
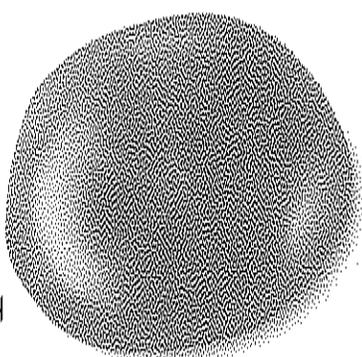
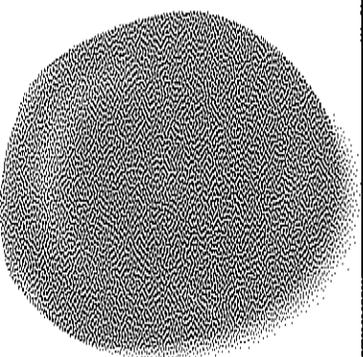
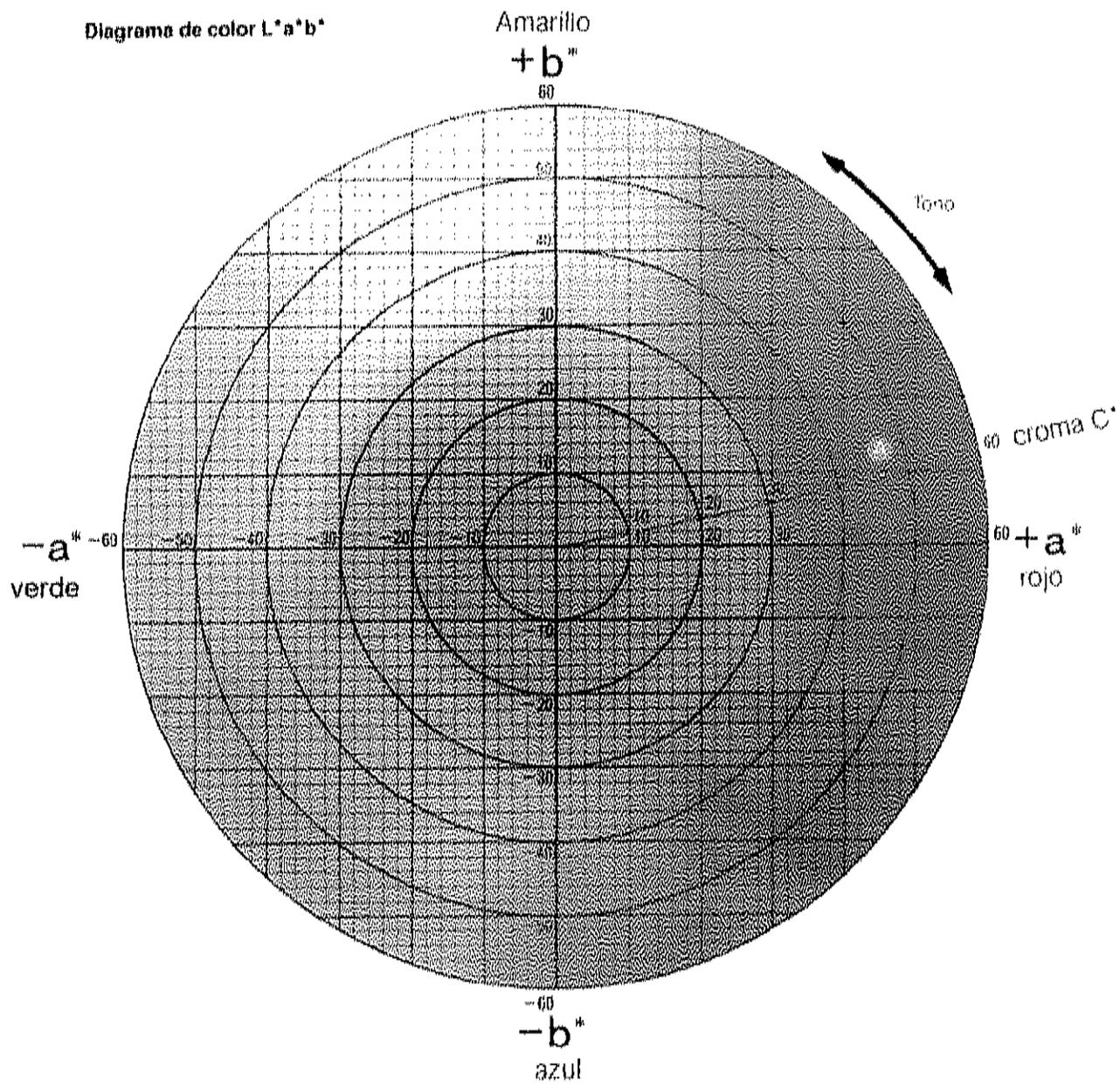
Green	Breaker
<p>1</p>  <p>55°-65°F (12.8°-18.3°C)</p> <p>100% either light or dark green surface area</p>	<p>2</p>  <p>50°-60°F (9.9°-15.6°C)</p> <p>10% or less tan-yellow, pink or red surface area</p>
Turning	Pink
<p>3</p>  <p>50°-60°F (9.9°-15.6°C)</p> <p>More than 10% and up to 30% tan yellow, pink or red surface area</p>	<p>4</p>  <p>50°-60°F (9.9°-15.6°C)</p> <p>More than 30% and up to 60% tan-yellow, pink or red surface area</p>
Light Red	Red
<p>5</p>  <p>50°-60°F (9.9°-15.6°C)</p> <p>More than 60% and up to 90% pinkish-red or red surface area</p>	<p>6</p>  <p>50°F (9.9°C)</p> <p>More than 90% red surface area</p>

Figura 3. Diagrama de color donde se representan las coordenadas L , a^* b^* y los parámetros Hue y Croma (Minolta, 1994).



Los parámetros de color más utilizados actualmente son las coordenadas del espacio de color CIE (Comisión Internacional de l'Éclairage) L^* , a^* y b^* , en donde la L^* indica la luminosidad en un rango de 0 ó negro hasta 100 ó blanco. Para cualquier medida de luminosidad L^* , las coordenadas de color (a^* , b^*) localizan el color en un cuadrante de coordenadas rectangulares, perpendicular al eje de L^* . El origen del cuadrante ($a^*=0$, $b^*=0$) es acromático (gris). En el eje horizontal, el valor positivo de a^* indica un color rojo-púrpura, mientras que un valor negativo indica un color verde-azulado. En el eje vertical, un valor positivo de b^* indica el color amarillo y un valor negativo el color azul.

El color de la piel de los frutos de tomate proviene de un proceso dinámico que involucra cambios constantes en la composición de pigmentos, que tienen lugar durante el crecimiento, maduración y almacenamiento. La clorofila se degrada y los cloroplastos se convierten en cromoplastos durante la maduración, conforme los pigmentos carotenoides, amarillos y rojos, son revelados o sintetizados. El contenido de carotenoides totales de tomate varía entre 70 y 190 $\mu\text{g/g}$, siendo licopeno el que se encuentra en mayor cantidad, representando más del 90% del total de los carotenoides (Gross, 1991).

Debido a la importancia que tienen los pigmentos carotenoides en el presente trabajo, se tratarán en un apartado especial más adelante.

Firmeza

La firmeza es una cualidad importante de los frutos de tomate y determina en gran medida la aceptación por el consumidor, ya que es percibida por el tacto entre los dedos y durante la masticación (Bourne, 1980; Riquelme, 1995; Dorais y col., 2001).

Durante la maduración se presentan cambios importantes en la firmeza de los frutos como consecuencia de la actividad de la enzima poligalacturonasa (PG) sobre las pectinas y las paredes celulares, provocando el ablandamiento de los tejidos y reducción de la firmeza (Azcon-Bieto y Talon, 1993; Wills y col., 1989).

Existen diferentes procedimientos objetivos para medir la firmeza de tomate que se aproximan a las apreciaciones sensoriales; los métodos destructivos que miden la resistencia que ofrece el fruto a la penetración o corte, y los métodos no destructivos que miden la resistencia del fruto a la compresión, éstos últimos se basan en los siguientes procesos:

- ◆ Compresión entre dos superficies planas hasta alcanzar una fuerza determinada.
- ◆ Compresión hasta alcanzar una deformación previamente definida, midiendo la fuerza necesaria en Newtons (N).
- ◆ Compresión bajo un peso fijo (500 g) durante un tiempo establecido, midiendo la deformación alcanzada.

Aunque se prefieren los métodos no destructivos para medir la firmeza, en ocasiones éstos pueden provocar efectos permanentes acumulativos sobre los tomates, que llegan a ocasionar desviaciones en los resultados obtenidos de experimentos de medidas repetidas (Riquelme, 1995).

Cantwell (1994) clasifica los frutos de tomates según sus valores de firmeza por compresión (mm de deformación) en: muy firmes (0.5 – 1 mm), firmes (1 – 1.5 mm), moderadamente firmes (1.5 – 2 mm), moderadamente blandos (2 – 2.5 mm), blandos (2.5 – 3 mm) y muy blandos (> 3 mm).

Sabor

Los atributos externos de calidad de tomate son percibidos por la vista y el tacto y determinan la elección inicial del consumidor. Sin embargo esto no es una garantía de la calidad sensorial interna caracterizada por el sabor y el olor, y aunque la decisión inicial de la compra se basa en la apariencia, las adquisiciones posteriores dependerán principalmente de la evaluación que el comprador establece en el momento del consumo. Debido a esto, es posible diferenciar las características de calidad que inciden en la compra (color y firmeza) y los atributos que determinan la calidad de consumo (sabor y olor) que corresponden al equilibrio entre azúcares y acidez, y el contenido de compuestos volátiles. El conjunto de todas las características de calidad

influyen la decisión de volver a comprar un determinado tipo de tomate (Riquelme, 1995; Dorais y col., 2001)

Estudios recientes han demostrado que el contenido de sólidos solubles totales y la relación Azúcares:Acidez titulable (Brix/Acidez), son buenos descriptores organolépticos y son aplicables en la práctica para medir fácil y rápidamente la calidad de los tomates frescos (Wills y col., 1989; Dorais y col., 2001). Ciertos compuestos volátiles del sabor fueron identificados como contribuyentes de la aceptabilidad general, la percepción de la intensidad de sabor a tomate, el aroma específico, la dulzura, la acidez, y otros descriptores del sabor (Dorais y col., 2001).

El sabor de tomate está determinado principalmente por los niveles de azúcares y ácidos presentes en el fruto, de manera que al aumentar el contenido de éstos, aumenta también el sabor. Los azúcares constituyen la mayoría de los sólidos solubles en la mayoría de las variedades comerciales de tomate, con valores de 1.5 al 4.5% del peso fresco, lo que equivale al 65% de los sólidos solubles totales. Los azúcares libres más abundantes son la glucosa y la fructosa, que se encuentran en proporciones similares. Durante la maduración, el contenido de azúcares aumenta (Nuez, 1995; Chamarro, 1995).

El ácido predominante en el fruto maduro es el ácido cítrico, seguido del málico y la acidez máxima durante la maduración coincide con la aparición del color rosado, descendiendo después progresivamente (Chamarro, 1995).

Los tomates de alta calidad con respecto al sabor, se caracterizan por tener un porcentaje de acidez mayor del 0.3% y un contenido de sólidos solubles totales mayor a 3, además de contar con una relación °Brix/Acidez mayor a 10 (Kader y col., 1978; Salveit y Sharaf, 1992).

Valor Nutritivo

El componente principal del tomate, como en la mayoría de los vegetales, es el agua y aunque no es muy rico en la mayoría de los minerales y vitaminas, su elevada proporción de consumo lo ubica como una de las principales fuentes de vitaminas y minerales en numerosos países (Esquinas-Alcazar y Nuez, 1995). El contenido calórico de tomate es muy bajo, por su escaso contenido de materia seca y grasas, sin embargo es rico en vitamina C y potasio. Cien gramos de tomate aportan en promedio un 20% y 40% de vitamina A y C respectivamente de los requerimientos diarios de un adulto en los Estados Unidos (Grierson y Kader, 1986). Es imposible precisar con exactitud la composición nutritiva de tomate, debido a la enorme diversidad de variedades, condiciones de cultivo, nutrición y cosecha, entre otros factores (Dorais y col., 2001; Esquinas-Alcazar y Nuez, 1995). En el Cuadro 2 se muestra la composición aproximada del fruto de tomate maduro.

Un aspecto relevante del valor nutritivo del tomate, es su contenido en pigmentos carotenoides, debido a que estos componentes realizan importantes

funciones fisiológicas dentro del cuerpo humano. La función más reconocida es la de ser precursores de vitamina A, y actualmente se reconoce su participación como potentes antioxidantes (Wrick; 1995; Simon, 1997).

Importancia de los Pigmentos Carotenoides de Tomate

Los carotenoides están presentes en los frutos de tomate desde su formación, sólo que se encuentran enmascarados por la clorofila que en los estados iniciales de madurez es el pigmento más abundante. Durante la maduración de los frutos, la clorofila comienza a degradarse y se inicia la síntesis de carotenoides. En el Cuadro 3, se relacionan los principales pigmentos formados durante la maduración de tomate.

Diversos estudios epidemiológicos sugieren una correlación positiva entre el consumo de alimentos ricos en carotenoides y la disminución del riesgo de desarrollar ciertos tipos de cáncer o enfermedades crónicas (Wrick; 1995; Simon, 1997; Painter, 1999; Clevidence y col., 2000).

Históricamente, la relevancia de los carotenoides en la nutrición humana había sido confinada a aquellos que tienen actividad como pro-vitamina A, como son β -caroteno y α caroteno, sin embargo en la actualidad ha surgido el interés por los que poseen propiedades antioxidantes. Entre esos carotenoides con potencial actividad biológica, el licopeno es el de mayor implicación en la nutrición y salud humana (Gross, 1991; Nguyen y Schwartz, 1999).

Cuadro 2. Composición Nutricional de Tomate Maduro

Componente	Porcentaje (%)
Agua	95
Carbohidratos	4.3
Proteínas	0.6
Fibra	1.5
Grasa	0.2
	mg /100 g
Calcio	7.0
Fósforo	20
Hierro	0.5
Magnesio	11.0
Sodio	8.0
Potasio	207
Zinc	0.11
Vitamina C	18
Tiamina	0.06
Rivoflavina	0.05
Niacina	0.6
Vitamina A	507 mcg
Acido Fólico	9.0 mcg

Fuente: INNSZ, 1999

Cuadro 3. Principales pigmentos formados durante la maduración de tomate (cv. San Marzano)

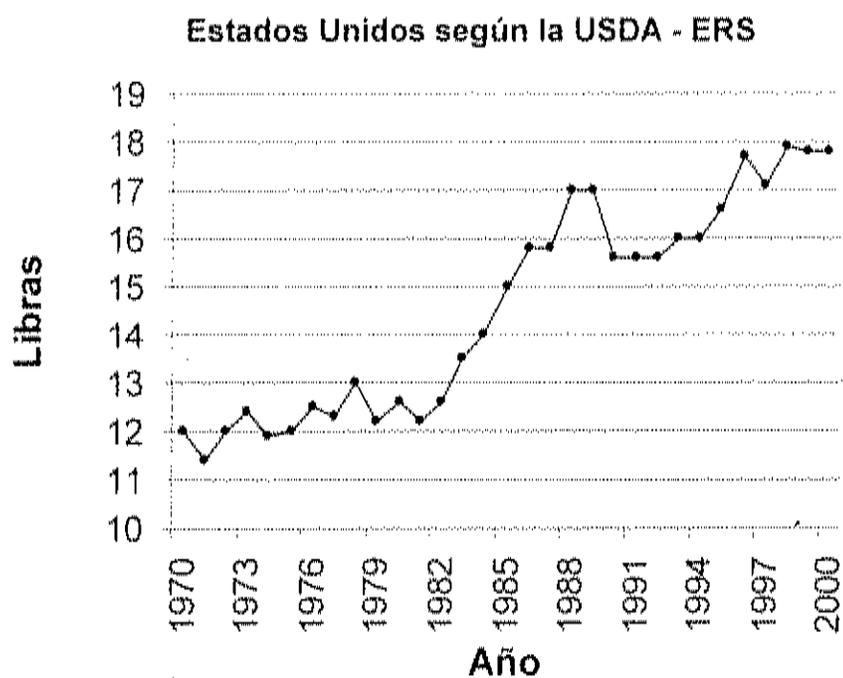
Pigmento	Verde	Rojo ($\mu\text{g}/100\text{g}$)
β -caroteno	175	570
Licopeno	0	18,060
Clorofila	1380	0
Luteína	27	50
Violaxantina	0	5
Luteína -5,6-epox	75	230
Licoxantina	0	220
Licofila	0	110
Pro γ -caroteno	45	145
Fitoflueno	45	780

Fuente: Azcon-Bieto y Talon, 1993.

El consumo *per capita* de tomate fresco se ha incrementado significativamente en los Estados Unidos desde 1970 (Figura 4). El 80 % de este incremento ocurrió a partir de 1982, cuando la National Academy of Sciences (NCR) publicó un reporte titulado "Dieta, Nutrición y Cáncer", el cual enfatizaba la importancia de las frutas y vegetales en la salud y la disminución del riesgo de cáncer al consumir este tipo de alimentos (King y col., 1999, Lucier y col., 2000). Con ésta tendencia, se ha incrementado el interés por desarrollar nuevas variedades de tomate con alto contenido de carotenoides. Incluso

vegetales con pobre contenido de carotenoides como son coliflor y pepino han sido objeto de investigación con el mismo fin (Simon, 1997; Frase y col., 2001; Stommel, 2001).

Figura 4. Tendencia del consumo *per capita* de tomate fresco en



Manipulación Genética

La creación constante de nuevas variedades de tomate por medio del mejoramiento genético, tiene como objetivo fundamental mejorar diversos aspectos como productividad, calidad, adaptación a condiciones específicas de cultivo y resistencia a enfermedades. Las variedades más importantes para consumo en fresco, son las de "Larga Vida Comercial", ya que tienen la característica de soportar el transporte a largas distancias, conservando sus características de aceptación adecuadas. Los genes de maduración *rin* y *nor*, son los responsables de retardar o inhibir la maduración en estos frutos (Nuez, 1995).

El gen *rin* ("ripening inhibitor") es un mutante recesivo espontáneo que altera varios aspectos de la maduración del fruto, especialmente la síntesis de carotenoides, la vida de almacenamiento y el ablandamiento, y está localizado en el cromosoma 5. El gen *nor* ("non ripening") es un mutante recesivo que afecta la síntesis de carotenoides y el ablandamiento del fruto, y se encuentra localizado en el cromosoma 10. Estos mutantes mantienen la clorofila durante más tiempo y el contenido de carotenoides es mucho más bajo que en los cultivares normales, además presentan mayor acidez titulable, por lo que sus atributos de calidad (color y sabor) se ven reducidos (Tigchelaar y col., 1978; Buescher y col., 1981).

Evaluación de Nuevas Variedades de Tomate

Debido a las deficiencias de calidad interna y externa de los tomates de larga vida comercial, constantemente se están desarrollando nuevas variedades con el fin de obtener frutos con mejores características de calidad, pero que conserven su maduración retardada. En el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Unidad Culiacán, anualmente se evalúan alrededor de 100 variedades de tomate para caracterizar su calidad y determinar si son aptas para su comercialización, por lo que se hace necesario, en el caso de técnicas de laboratorio costosas y laboriosas como la determinación de carotenoides y licopeno, implementar métodos para reducir tiempo y costo en las evaluaciones que se practican en las nuevas variedades.

Estimación del Contenido de Pigmentos a Partir de los Parámetros de Color

El sistema de notación de color CIE (L, a b) mencionado anteriormente, es una forma conveniente de definir precisa y objetivamente el color en la evaluación de una gran variedad de frutas y hortalizas. Algunos autores han utilizado los valores de color L^* , a^* , b^* , Hue, y cromaticidad, para relacionarlos con el contenido de pigmentos de diferentes frutos, a continuación se mencionan algunos de estos estudios.

Singha y Townsend (1989) midieron el contenido de clorofila en hojas de manzana, uva y durazno, y lo relacionaron con las coordenadas de color L^* , a^* , b^* obtenidas de un colorímetro Minolta CR-200b. Esto se logró con un análisis de regresión lineal, de donde obtuvieron modelos matemáticos adecuados para estimar el contenido de clorofila en las hojas de las plantas estudiadas. Posteriormente Singha y col. (1991) estudiaron la relación entre la concentración de antocianinas en la piel de diez variedades de manzana "Delicious" y los valores de color. Estos investigadores proponen varios modelos matemáticos de regresión con los cuales se puede estimar el contenido de antocianinas en la piel de manzanas a partir de los valores de color.

De la misma manera, D'Souza y col. (1992) proponen modelos matemáticos lineales para estimar el contenido de licopeno en tres variedades de tomate a partir de $(a/b)^2$ con coeficientes de determinación (R^2) de 0.77. Además, estos autores sugieren modelos más complejos para cada variedad por separado para obtener estimaciones más precisas ($R^2 = 0.89$).

Arias y col. (2000) estudiaron los parámetros de color y el contenido de licopeno en tomates cv. Laura de diferentes estados de madurez, encontrando una correlación entre estos dos factores, de tal manera que sugieren que se puede predecir el contenido de licopeno en estos frutos mediante los valores de a^* , a^*/b^* y $(a^*/b^*)^2$ en un modelo de regresión lineal con un coeficiente de determinación de 0.905.

Tourjee y col. (1998) describieron las diferencias del contenido de β -caroteno y β -criptoxantina en relación a los valores L, a y b de seis variedades de duraznos frescos y procesados, con el fin de encontrar el valor de color que mejor describe los cambios entre frutos frescos y procesados, así como el contenido de los pigmentos evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal

Se utilizaron tomates tipo bola de cinco variedades de la compañía Asgrow, provenientes del campo experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) ubicado en el Valle de Culiacán, Sinaloa. De las variedades estudiadas, 2 son comerciales (EF110 y EF163) y las demás están en proceso de evaluación (EX12271, EX1981795 y EX12302).

Los frutos se cosecharon en estado verde maduro (madurez fisiológica) en Febrero del 2001, y se llevaron a los laboratorios del CIAD Unidad Culiacán en donde fueron seleccionados para eliminar los frutos con defectos y enfermedades. Posteriormente, los tomates fueron separados por variedades y se colocaron en una cámara de almacenamiento a 20°C durante 40 días, con el fin de simular condiciones de mercadeo.

Se realizaron muestreos de calidad el día inicial y los días 6, 8, 13, 20, 30 y 40 después de su cosecha. Cada muestra consistió de 5 tomates tomados al azar del lote de cada variedad y cada día de muestreo fueron evaluados los parámetros físicos de color y firmeza. Posteriormente, las muestras fueron

congeladas a -20°C para posteriormente llevar a cabo los análisis químicos y de pigmentos.

Metodología

Porcentaje de Pérdida de Peso

Por separado, 10 tomates de cada variedad fueron pesados diariamente para registrar la pérdida de peso. Para esta evaluación se utilizó una balanza Mettler Toledo PR802 ($d=0.01$ g). Los resultados se calcularon como porcentaje de pérdida de peso por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de Pérdida de Peso} = \frac{P_i - P_d}{P_i} \times 100$$

Donde:

P_i = Peso inicial de los frutos

P_d = Peso del día de muestreo

Color

El color se determinó utilizando un colorímetro Minolta modelo CR-300. Este equipo, convierte todos los colores comprendidos dentro del rango de percepción humana en códigos numéricos comunes, que se expresan con las notaciones L^* , a^* , y b^* . Para calcular el ángulo de matiz (Hue) y Cromaticidad

(C), se emplearon las siguientes fórmulas: $Hue = \tan^{-1} (b^*/a^*)$ y $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (McGuire, 1992).

Para medir el color externo se tomaron lecturas del colorímetro en dos puntos opuestos sobre la línea ecuatorial del fruto, y para evaluar el color interno, el tomate se cortó transversalmente y se tomaron 2 lecturas en puntos opuestos, sobre la parte interna de cada una de las mitades.

Firmeza

Este parámetro de calidad se evaluó por compresión y por punción. Para medir la firmeza por compresión se utilizó un penetrómetro Chatillon modelo DFSG100 montado en una base Chatillon modelo TCD200, y provisto de un plato de 5 cm de diámetro con el cual se aplicó una fuerza de 0.5 Kg en la zona ecuatorial de los frutos, los resultados se expresaron como mm de deformación.

Para medir la firmeza por punción, se empleó un penetrómetro Chatillon modelo DFIS50 provisto de un punzón de 8 mm de diámetro, que se colocó en dos puntos opuestos sobre la zona ecuatorial del fruto, donde previamente se había retirado la piel. En este caso se midió la fuerza que soporta el tejido antes de romperse y los resultados se registraron en Nw (Bourne, 1980; Cantwell, 1994).

Análisis Químicos

Para medir pH, Acidez titulable (AT) y sólidos solubles totales (SST), se utilizó la técnica descrita por la AOAC (1990). Se preparó un extracto pesando 10 g de muestra en una balanza Mettler Toledo PR802 ($d=0.01$ g), se le añadieron 50 ml de agua destilada neutralizada y se homogeneizó en una licuadora comercial marca Osterizer por 1 minuto, posteriormente se filtró la muestra con una tela de organza. Para medir pH y AT, se tomó una alícuota de 50 ml del extracto y se montó en un titulador automático Mettler DL21 (Mettler, Inc., Suiza), en donde se midió el pH y se tituló la muestra con una solución de NaOH 0.1 N. La AT se expresó como % de ácido cítrico que es el ácido predominante en frutos de tomate.

Para medir SST, se colocaron unas gotas del extracto muestra en un refractómetro de ABBE modelo Mark II (Leica, Inc., Buffalo, NY, USA) y se midieron los grados Brix. Los resultados se calcularon tomando en cuenta el factor de dilución (60/10). Este refractómetro está equipado con compensador de temperatura y fue calibrado con agua destilada antes de iniciar las evaluaciones de cada muestreo.

Análisis de Pigmentos

Carotenoides Totales

La extracción de carotenoides totales se basó en la técnica recomendada por la AOAC (1990), omitiendo la parte de separación de xantofilas, debido que más de 90% de los carotenoides presentes en tomate son carotenos, principalmente licopeno (Gross, 1991). La extracción se realizó en un área bien ventilada y protegida de la luz, además se utilizaron solventes grado analítico fríos con el fin de minimizar la degradación de los pigmentos.

La muestra congelada se trituró en una licuadora comercial marca Osterizer, y del puré resultante se pesaron 10 g en una balanza Mettler Toledo PR802. Posteriormente, el puré se homogeneizó con 30 ml de hexano y 37 ml de acetona. La mezcla resultante se filtró con papel Whatman No. 1 aplicando vacío, repitiendo éste proceso dos veces más, o hasta que el residuo no presentara color. Los extractos juntos se colocaron en un embudo de separación y se adicionaron 10 ml de agua fría para facilitar la separación de las fases. Finalmente, se obtuvo la fase de hexano (fase superior) y se midió el volumen. Una alícuota del extracto obtenido se colocó en una celda de sílice de 1 cm, para leer la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Visible Cary 1E marca Varian a una longitud de onda de 446 nm.

La concentración de carotenoides se calculó mediante la siguiente ecuación y los resultados se expresaron como μg carotenoides/g de muestra.

$$C = A/(E \times b)$$

Donde:

C = Concentración de carotenoides totales (g/l)

A = Absorbancia a 446 nm

E = Constante de proporcionalidad = 2,500

b = Longitud del camino óptico = 1 cm

Licopeno

Se utilizó la técnica descrita por LycoRed Natural Products Industries (1995), y al igual que en la técnica de carotenoides totales, la extracción se realizó en un área bien ventilada y protegida de la luz, utilizando reactivos grado analítico y fríos para minimizar la degradación del pigmento.

La muestra se trituró con un cuchillo de acero inoxidable, hasta hacer un puré, posteriormente se pesaron 1.25 g en una balanza (Mettler Toledo PR802) dentro de un tubo para centrifuga, el cual se cubrió con papel aluminio y se colocó en el hielo donde, se le adicionaron 25 ml de mezcla extractora, la cual se preparó disolviendo 0.5 g de BHT en 500 ml de éter de petróleo, 250 ml de etanol absoluto y 250 ml de acetona.

Los tubos se colocaron en una centrifuga Beckman J2-M1 a 10 000 revoluciones por minuto (r.p.m.) por 16 min. Se adicionaron 6.25 ml de agua fría a cada tubo y se centrifugó por 6 minutos más. Se dejaron en reposo de 5 a 10 minutos para la separación de fases.

En un matraz volumétrico de 50 ml se colocaron 13 ml de solución de hidroxitolueno butilado (BHT), 5 ml de la fase superior de los tubos y se aforó con éter de petróleo. Para preparar la solución de BHT se disolvieron 2 g de BHT en 400 ml de éter de petróleo y 100 ml de etanol absoluto.

Se midió la absorbancia en el espectrofotómetro UV-Visible Cary 1E marca Varian a una longitud de onda de 472 nm utilizando éter de petróleo como referencia. Los resultados se calcularon con la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de licopeno (ppm)} = \frac{A \times D}{W \times 3450}$$

Donde:

A = Absorbancia de la muestra a 472 nm.

D = Factor de dilución = 50/ Volumen de alícuota

B = longitud del camino óptico (1 cm)

W = Peso de la muestra en gramos

3 450 es el coeficiente de extinción molar

Diseño y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño de un factor con 5 niveles (variedades) y bloques aleatorizados completos (tiempo). Para el análisis de los resultados, se utilizó el paquete estadístico Minitab versión 12.1 (1998).

Se realizó un análisis de estadística básica que arrojó los valores promedio y desviaciones estándar correspondientes a cada parámetro.

Posteriormente se hizo también el análisis de varianza general (ANOVA) con lo que logró establecer en que parámetros existieron diferencias significativas con un nivel de significancia del 5%.

En los casos donde se encontraron diferencias significativas, se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de 5%.

La relación entre los parámetros de color y el contenido de pigmentos, se obtuvo mediante el análisis de regresión lineal simple para cada uno de los parámetros, de donde se seleccionaron los modelos matemáticos que presentaron un coeficiente de determinación (R^2) mayor a 75%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de Peso

Se encontraron diferencias estadísticas con respecto a la pérdida de peso en los frutos de la variedad EF110 y los tomates del resto de las variedades (Anexo 1). Los frutos de la variedad EF110, fueron los que presentaron el menor porcentaje de pérdida (3.8%), comparados con los tomates de las demás variedades al final del almacenamiento (Figura 5). La pérdida de peso se debe principalmente a la pérdida de humedad, que además de ocasionar detrimento del peso vendible de los frutos, también reduce la calidad en apariencia, textura y composición nutritiva de los mismos. Pérdidas de 5 a 7% del peso original del fruto ocasionan marchitamiento, deshidratación y flacidez de los frutos, con la consecuente pérdida de calidad comercial (Pantastico y col., 1979; Wills y col., 1989; Kader y col., 1992; Riquelme, 1995).

Además de los factores externos como la temperatura y humedad relativa del almacenamiento, la pérdida de agua también esta influenciada por factores internos del fruto como son las características anatómicas y fisiológicas, daños superficiales y estado de madurez (Kader, 1992). Debido a esto, se pueden encontrar diferencias en el grado de pérdida de peso en frutos almacenados bajo las mismas condiciones ambientales. Mendoza (1996) y Báez (2001) evaluaron la pérdida de peso en diferentes variedades de tomate y

al igual que en el presente estudio, encontraron diferencias estadísticas en este parámetro entre variedades. En cambio, Adamicki y Potaczek (1989) no reportaron diferencias en cuanto pérdida de peso entre tres variedades de tomate evaluadas.

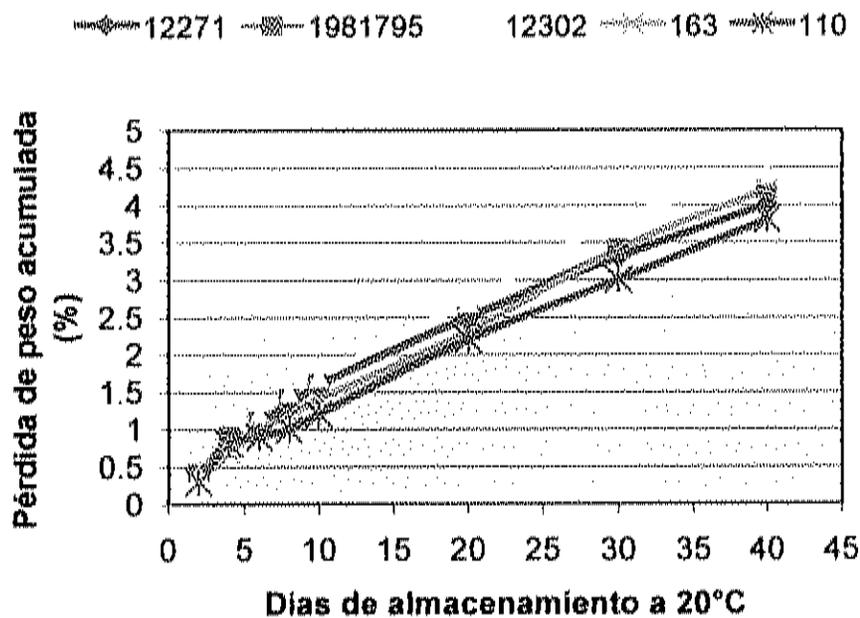


Figura 5. Porcentaje de Pérdida de Peso Acumulado en Tomate de 5 Variedades Almacenado en Condiciones de Mercadeo

Firmeza

Además de los cambios en el color durante la maduración de los frutos de tomate, también se producen alteraciones en la textura al final de la maduración (Azcon-Bieto y Talon, 1993). De acuerdo con Bourne (1980), la consistencia de los frutos de tomate permite hacer mediciones de la firmeza midiendo la resistencia a la deformación (compresión) y a la ruptura del tejido (punción).

Compresión

Los frutos de la variedad EF163 presentaron la mayor pérdida de firmeza por compresión, especialmente a partir del día 20 de almacenamiento, mientras que los tomates de la variedad EX12302 mostraron la menor pérdida de firmeza (Figura 6). Se presentaron diferencias estadísticas sólo entre la variedad EF163 y las variedades EX12271 y EX12302 (Figura 7; Anexo 2).

En un estudio realizado por Cantwell (1994) se clasificó a los tomates de acuerdo con su firmeza por compresión en: "muy firmes" (0.5 - 1mm), "firmes" (1-1.5 mm), "moderadamente firmes" (1.5 - 2 mm), "moderadamente blandos" (2 -2.5 mm), "blandos" (2.5 -3) y "muy blandos" (> 3 mm). Con base en esta clasificación, los tomates evaluados en el presente estudio resultaron estar firmes hasta el día 20 de almacenamiento, y en los días posteriores hasta el

final del almacenamiento se mantuvieron con valores entre 1.5 y 2, lo cual indica que mantuvieron una firmeza aceptable.

Punción

Como se aprecia en la Figura 8, la mayor pérdida de firmeza se presentó también durante los primeros 20 días de almacenamiento, sin embargo en este caso, los frutos que perdieron más rápidamente la firmeza fueron los de la variedad EF110, presentando al día 13 de almacenamiento una resistencia de 15 Nw y mostrando diferencias significativas con el resto de las variedades (Figura 9; Anexo 3).

López y col. (1995) encontraron resultados similares al obtener la mayor pérdida de firmeza en tomates Pik-RedF1 a los 20 días de almacenamiento a 20°C, con valores de 0.85 Kgf (8.3 Nw). Del mismo modo, este autor no encontró mayor variación de la firmeza en los días posteriores al indicado.

La tendencia de los valores de punción, coincide con los cambios de color en los frutos de la variedad EF110, ya que fueron los que cambiaron más rápidamente de color y también los que presentaron mayor pérdida de firmeza los primeros 20 días de almacenamiento. El caso contrario lo presentó la variedad EX1981795, debido a que presentó valores de color (Hue) similares a la variedad EF110, pero experimentó la menor pérdida de firmeza.

final del almacenamiento se mantuvieron con valores entre 1.5 y 2, lo cual indica que mantuvieron una firmeza aceptable.

Punción

Como se aprecia en la Figura 8, la mayor pérdida de firmeza se presentó también durante los primeros 20 días de almacenamiento, sin embargo en este caso, los frutos que perdieron más rápidamente la firmeza fueron los de la variedad EF110, presentando al día 13 de almacenamiento una resistencia de 15 Nw y mostrando diferencias significativas con el resto de las variedades (Figura 9; Anexo 3).

López y col. (1995) encontraron resultados similares al obtener la mayor pérdida de firmeza en tomates Pik-RedF1 a los 20 días de almacenamiento a 20°C, con valores de 0.85 Kgf (8.3 Nw). Del mismo modo, este autor no encontró mayor variación de la firmeza en los días posteriores al indicado.

La tendencia de los valores de punción, coincide con los cambios de color en los frutos de la variedad EF110, ya que fueron los que cambiaron más rápidamente de color y también los que presentaron mayor pérdida de firmeza los primeros 20 días de almacenamiento. El caso contrario lo presentó la variedad EX1981795, debido a que presentó valores de color (Hue) similares a la variedad EF110, pero experimentó la menor pérdida de firmeza.

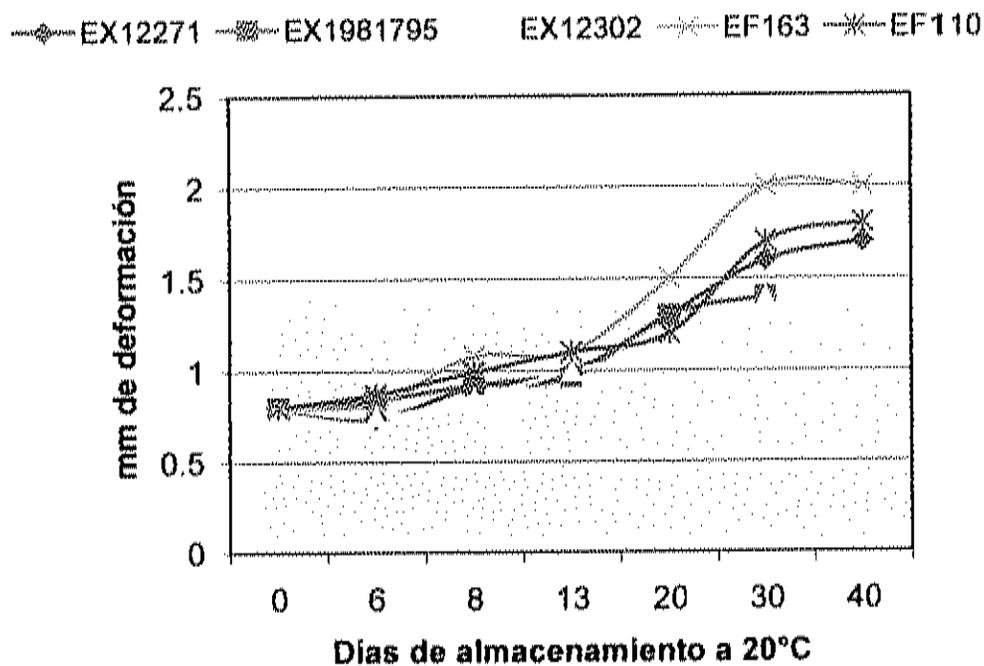


Figura 6. Firmeza por Compresión en Variedades de Tomate Almacenado en Condiciones de Mercadeo

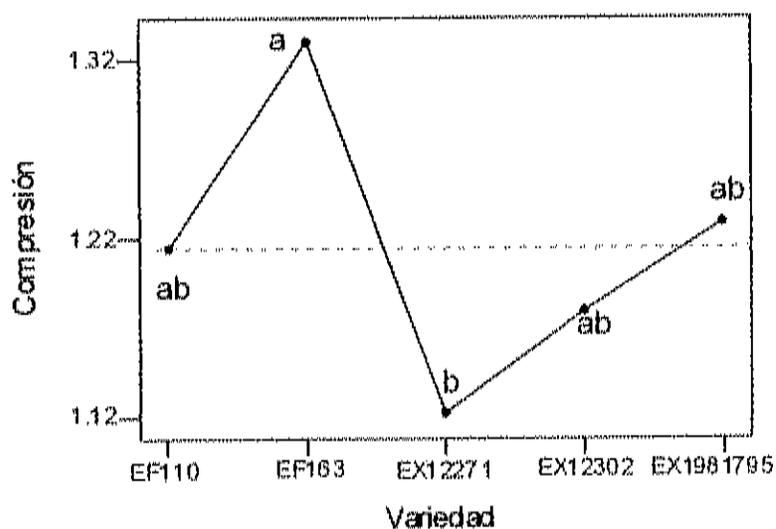


Figura 7. Efectos Principales de Firmeza por Compresión, según ANOVA en las 5 Variedades de Tomate Evaluadas

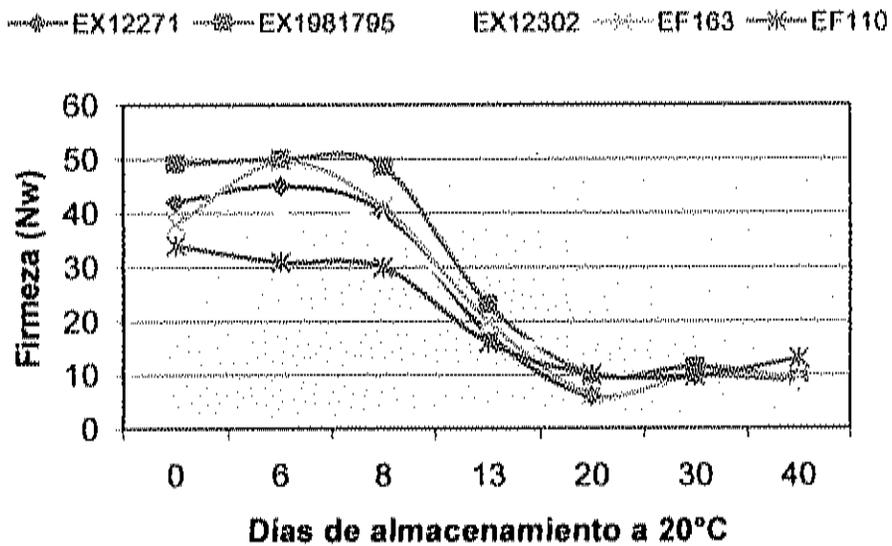


Figura 8. Firmeza por Punción en 5 Variedades de Tomate Almacenado en Condiciones de Mercadeo

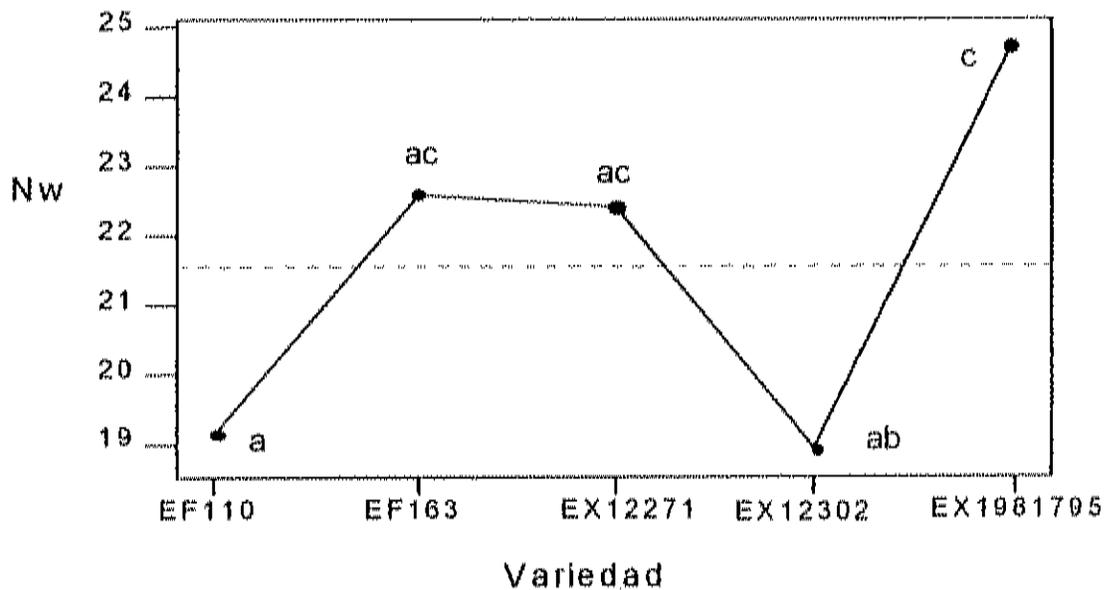


Figura 9. Efectos Principales de Firmeza por Punción, Según ANOVA en las 5 Variedades de Tomate Evaluadas

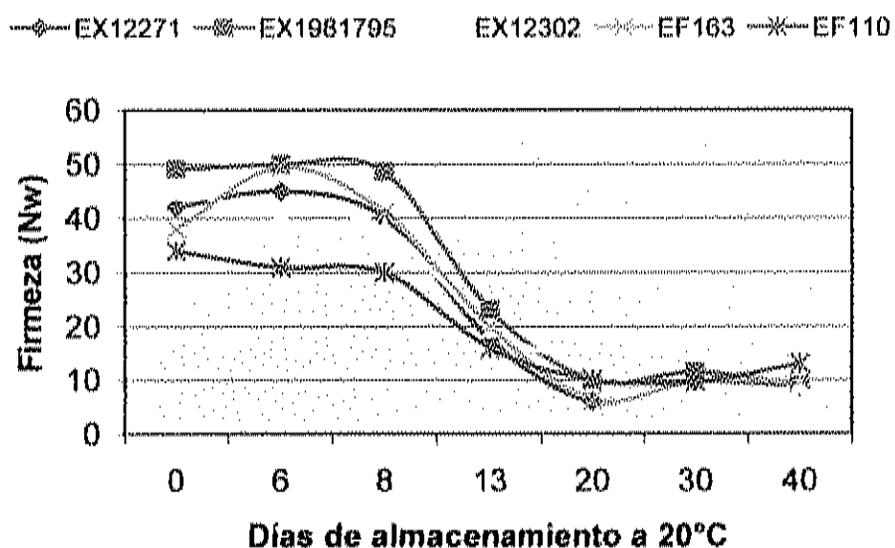


Figura 8. Firmeza por Punción en 5 Variedades de Tomate Almacenado en Condiciones de Mercadeo

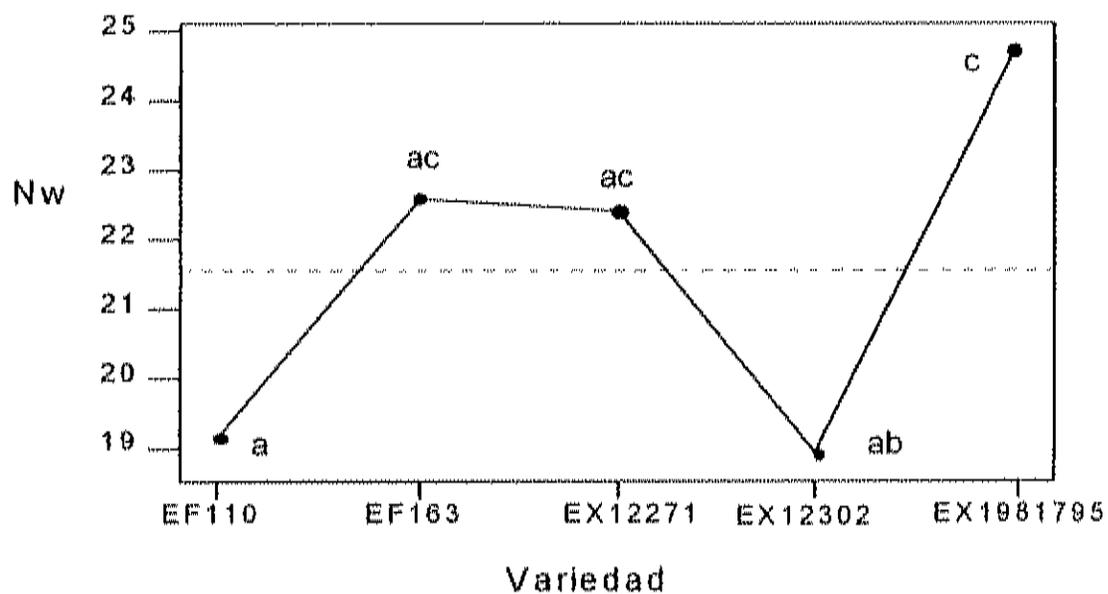


Figura 9. Efectos Principales de Firmeza por Punción, Según ANOVA en las 5 Variedades de Tomate Evaluadas

Análisis Químicos

pH

Los frutos de las cinco variedades presentaron un comportamiento muy similar durante el periodo de almacenamiento respecto a los valores de pH. Inicialmente se observó un ligero descenso, y a partir del día 13 de almacenamiento, los valores aumentaron hasta 4.5 y 4.6 al día 40 (Figura 10). No se observaron diferencias significativas ($p=0.05$) entre los frutos de las 5 variedades, pero sí entre los días de muestreo (Cuadro 4).

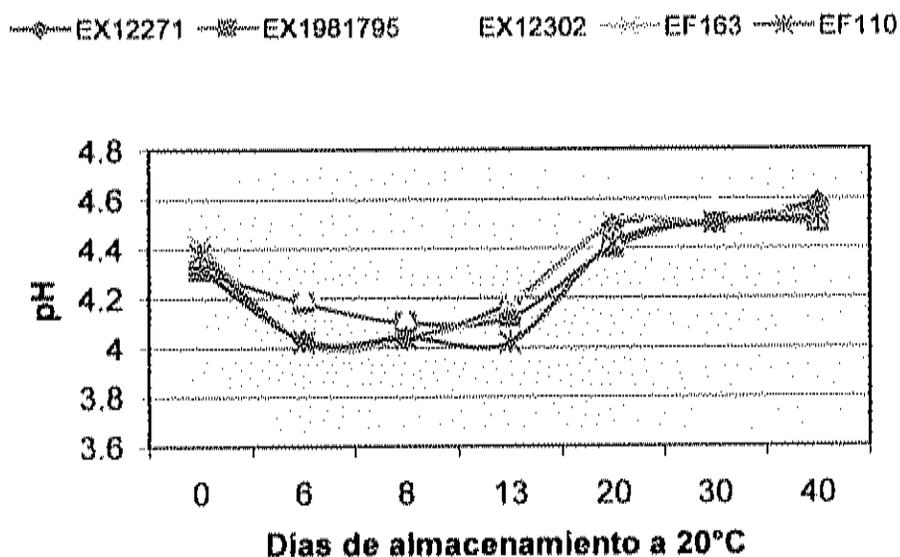


Figura 10. Comportamiento del pH en Tomate de 5 Variedades Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo

Cuadro 4. Análisis de Varianza para pH

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	0.06477	0.1619	2.34	0.084
Tiempo	6	6.20660	1.03443	149.24	0.000
Var*Tiemp	24	0.16635	0.00693	0.97	0.514
Error	140	1.00404	0.00717		
Total	174	7.44176			

Ojeda y col. (1995) reportaron valores de pH de 4.23 al día 0 y de 4.58 a los 30 días de almacenamiento en tomates variedad Market Pride cosechados en estado de madurez "pink". Así mismo, Mencarelli y Saltveit (1988) reportaron un valor de pH de 4.58 para tomate maduro. Estos resultados coinciden con los que se presentan en este estudio. Por otro lado Cantwell (1994) y López y col. (1995) encontraron valores inferiores de pH en tomates variedad San Marzano y Pik -RedF1 respectivamente, seguramente las diferencias en los resultados encontrados por estos autores se deben a que utilizaron frutos de variedades distintas a las que se emplearon para este trabajo. Thompson (2001), evaluó el pH en tomates maduros de 8 diferentes variedades y encontró un amplio rango de valores de pH, desde 3.9 en la variedad Solar Set, hasta 4.34 en frutos de la variedad FL7992D (og).

Acidez Titulable

En la Figura 11 se observan los resultados de acidez titulable, de acuerdo con el comportamiento de los valores de pH, este parámetro presentó una tendencia a disminuir conforme avanzó la maduración de los frutos. Al igual que en los resultados de pH, no se presentaron diferencias significativas entre variedades, pero sí entre los tiempos de almacenamiento (Cuadro 5). Los porcentajes de ácido cítrico fluctuaron entre 0.8 al día inicial, y 0.4 al día 30 de almacenamiento, estabilizándose alrededor de ese valor hasta el final del estudio.

López y col. (1995) reporta un comportamiento similar en el porcentaje de acidez titulable en tomate, pero con valores que oscilaron entre 0.6 % al día cero y 0.27% a los 35 días de almacenamiento a 20°C; Ojeda y col. (1995) registraron también una disminución en la acidez titulable, con valores superiores a los que se presentan en este estudio (de 0.49 a 0.27%).

Los niveles de ácidos orgánicos, como el ácido cítrico, descienden durante la maduración de los frutos de tomate, debido a que el metabolismo del ácido cítrico decrece durante la maduración, mientras que el ácido málico se oxida a bióxido de carbono o se convierte en ácido cítrico o glutámico (Azcon-Bieto y Talon, 1993; Sakiyama, 1976).

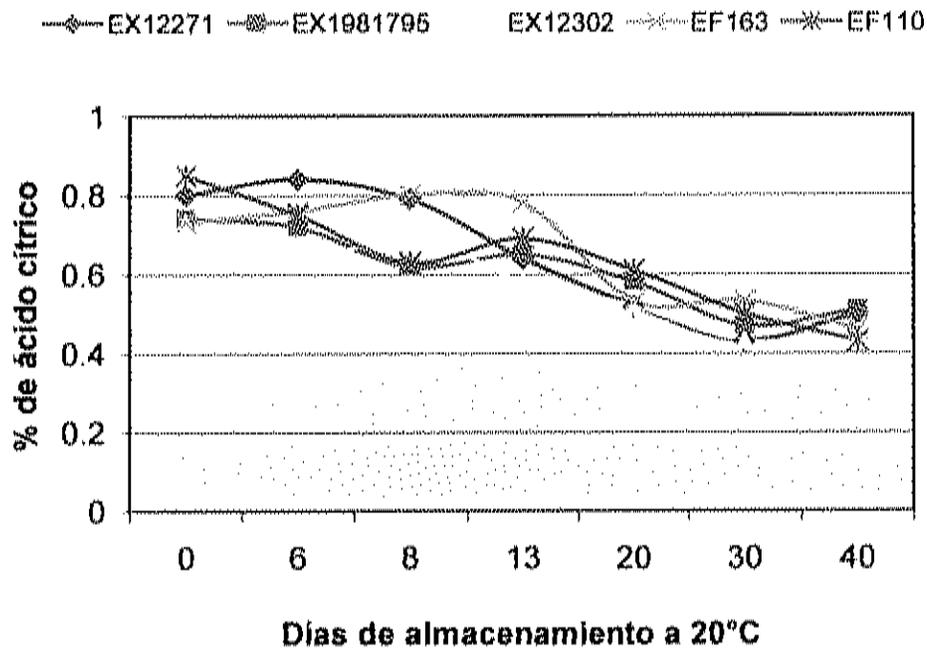


Figura 11. Porcentaje de Acidez Titulable en Tomate de 5 Variedades Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo

Cuadro 5. Análisis de Varianza para Acidez Titulable

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	0.11840	0.02960	2.18	0.102
Tiempo	6	2.47925	0.41321	30.42	0.000
Var*Tiem	24	0.32600	0.01358	1.19	0.261
Error	140	1.59787	0.01141		
Total	174	4.52152			

Sólidos Solubles Totales (Grados Brix)

De acuerdo a los resultados obtenidos en este parámetro de calidad, se observó que los tomates de la variedad EX12302 presentaron el menor contenido de sólidos solubles totales, mostrando diferencias significativas (Cuadro 6) con el resto de las variedades las cuales arrojaron valores que oscilaron entre los 4.5 y 5.5 °Brix (Figura 12).

Resultados similares se encontraron en tomate de diferentes variedades por Simandle y col.(1966). Igualmente, en frutos almacenados con diversas películas plásticas (Mencarelli y col., 1989), en tomates manejados en diferentes condiciones de almacenamiento (Kader y col., 1978) y en variedades con alto contenido de β -caroteno (Stommel, 2001).

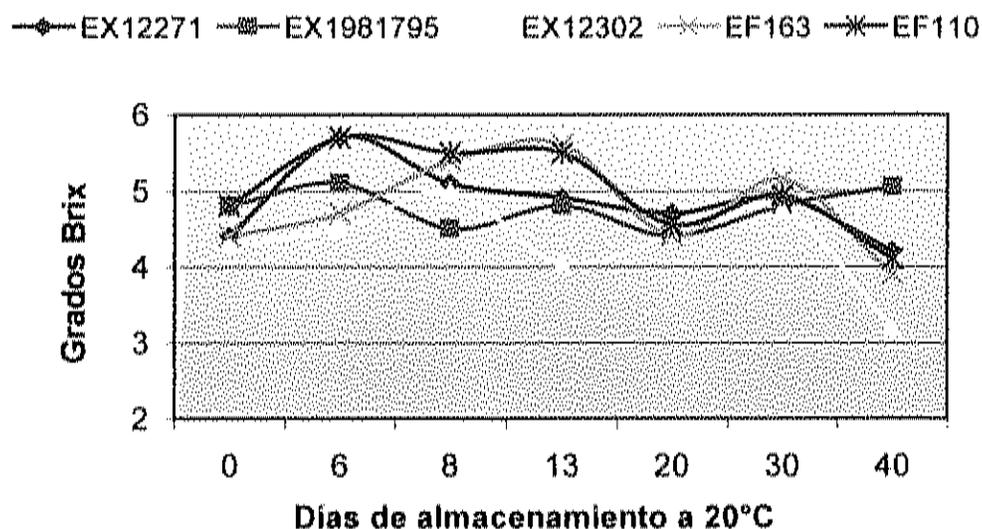


Figura 12. Contenido de Sólidos Solubles Totales en Tomate de 5 Variedades Almacenado en Condiciones de Mercadeo

Cuadro 6. Análisis de Varianza para Sólidos Solubles Totales

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	9.6151	9.6151	2.94	0.041
Tiempo	6	24.1920	24.1920	4.93	.0002
Var*Tiem	24	19.6457	19.6457	2.37	0.001
Error	140	48.3840	48.3840		
Total	174	101.8368			

Relación °Brix/ Acidez Titulable (RBA)

En diversos estudios realizados se ha demostrado que la relación °Brix/Acidez es una buena medida de las características organolépticas de tomate. Los tomates de alta calidad con respecto al sabor, se caracterizan por tener un porcentaje de acidez alrededor de 0.3% y un contenido de SST mayor a 3, además de tener una relación °Brix/Acidez mayor a 10. (Simandle y col.,1966; Kader y col., 1978; Salveit y Sharaf, 1992).

Con base en estas afirmaciones los tomates evaluados en este trabajo presentaron características adecuadas de sabor a partir del día 30, cuando el valor de la relación °Brix/Acidez fue mayor a 10. En la Figura 13 se muestran los valores de RBA de las 5 variedades estudiadas a los 6, 13, 20 y 30 días de almacenamiento.

No se presentaron diferencias significativas entre variedades, pero sí diferencias en el tiempo (Cuadro 7), ya que al inicio del experimento los valores de este parámetro oscilaban entre 6 y 7.

Cuadro 7. Análisis de Varianza para Relación °Brix/Acidez Titulable

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	13.006	3.252	1.35	0.282
Tiempo	6	271.196	45.199	18.72	0.000
Var*Tiem	24	57.959	2.415	0.97	0.508
Error	140	348.18	2.487		
Total	174	690.340			

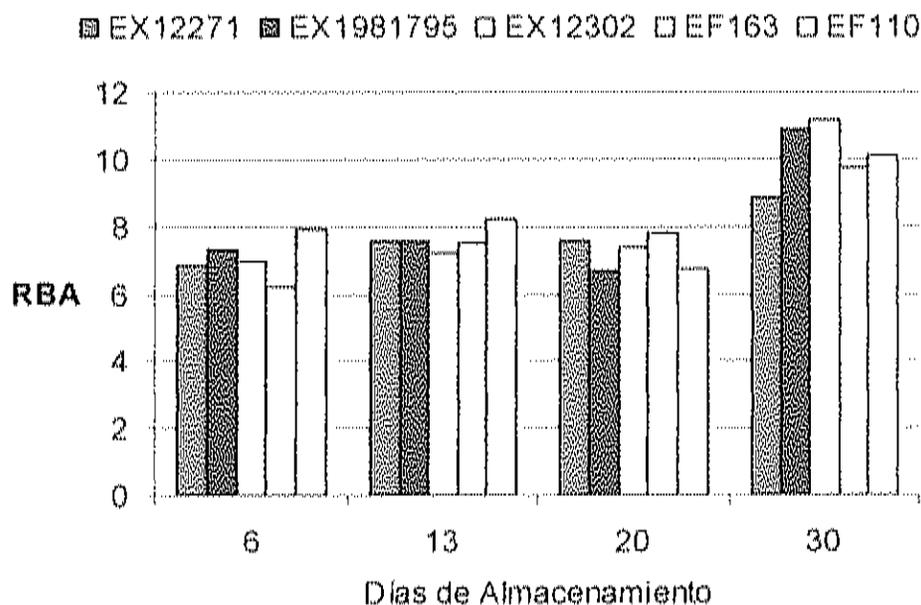


Figura 13. Tendencia de la Relación °Brix/Acidez Titulable (RBA) de Tomates de 5 Variedades, Durante el Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo

Color Externo

Luminosidad

Los valores de luminosidad de las cinco variedades de tomate evaluadas se mantuvieron en un estrecho rango durante todo el tiempo que duró el experimento, con una ligera tendencia a disminuir a partir del día 13 de almacenamiento. La variedad EF163 presentó diferencias significativas con el resto de las variedades, teniendo los más altos valores de L (Anexo 4). En la Figura 14 se muestran los resultados de luminosidad, los cuales coinciden con los valores reportados por Cantwell (1994). Este autor escribe los cambios típicos del parámetro L durante la maduración de frutos de tomate, con valores que oscilan entre 62.7 en estado verde maduro, y 39.6 en el último estado de madurez o completamente rojo.

Coordenada Cromática b*

Los valores de la coordenada de color b* de la variedad EF163 también presentaron diferencias significativas con las demás variedades, aunque su comportamiento fue muy estable en el transcurso del almacenamiento, arrojando valores entre 20 y 34 (Figura 15). El comportamiento de este valor aislado no tiene mucha importancia, ya que el cambio de color de verde a rojo

que presentaron los tomates, se expresa básicamente en valores de Hue, en donde ya se encuentra implícito el efecto de la coordenada cromática b^* (McGuire, 1992).

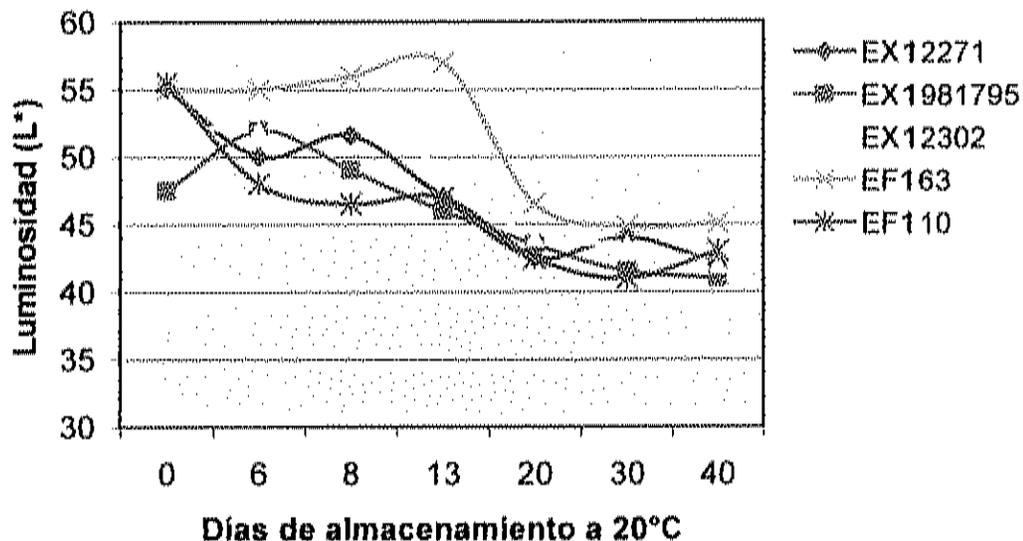


Figura 14. Valores de Luminosidad en Tomate de 5 Variedades Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo

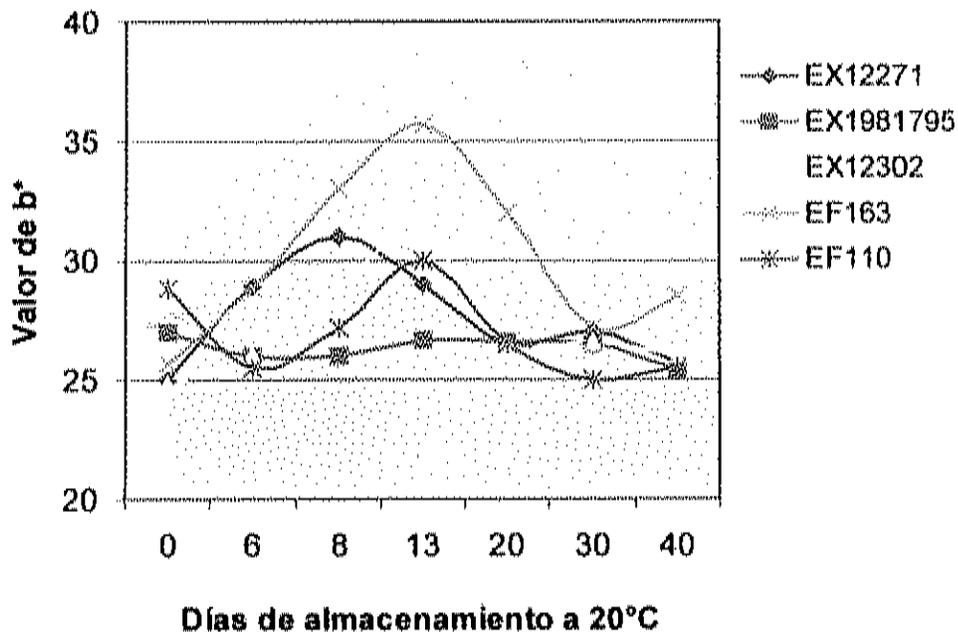


Figura 15. Valores de b^* de Tomate de 5 Variedades Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo

Coordenada Cromática a^*

Con respecto a este parámetro, se encontraron diferencias significativas entre los tomates de la variedad EF110 y los frutos de las demás variedades (Anexo 5). Como puede observarse en la Figura 16, los frutos de la variedad EF110 presentaron un cambio en el valor de a^* , de negativo a positivo en los primeros 6 días de almacenamiento, mientras que los tomates de las otras variedades presentaron este comportamiento entre los 8 y 13 días. El valor de a^* indica en el círculo de color (Minolta, 1998) los colores verde ($-a^*$) y rojo ($+a^*$), por lo que esta gráfica se puede observar cuanto tiempo tardaron los frutos de cada variedad en iniciar su cambio de color de verde a rojo. Cantwell (1994) reporta valores similares para el valor a^* en un estudio que describe los cambios típicos de color durante la maduración de tomate.

Ángulo de Matiz (Hue) y Cromaticidad (C)

La medida más apropiada para cuantificar los cambios en color, se obtiene en términos de Hue (ángulo de matiz) y Croma, los cuales pueden ser calculados a partir de los valores de a^* y b^* . Hue representa el color verdadero, para cada color se ha asignado un valor de ángulo de matiz en el círculo de color (Minolta, 1993), mientras que C representa la pureza o saturación del color, es decir, que tan combinado está el color verdadero (Hue). De acuerdo

con Gnanasekharan y col. (1992), los datos de color reportados de esta manera se pueden interpretar con mayor facilidad y de manera uniforme.

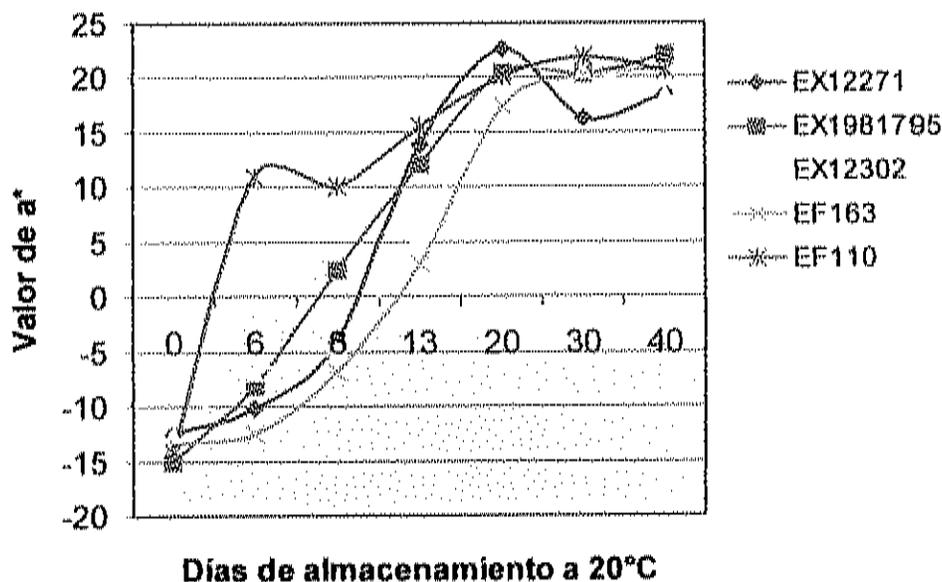


Figura 16. Valores de a^* en Tomate de 5 Variedades Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo

Los resultados encontrados para cromaticidad (C) en este estudio, indicaron un ligero aumento de este parámetro en el transcurso del almacenamiento, con valores entre 27 y 36 (Figura 17), los cuales coinciden con los resultados reportados por Mendoza (1996) y López y col. (1995). Se encontró diferencia significativa entre los frutos de la variedad EF163 y los demás tomates (Anexo 6), siendo esta variedad la que mostró los más altos valores de cromaticidad. Sin embargo, los frutos de la variedad EF163 fueron los que presentaron los valores más altos de Hue (Figura 18), es decir, estos

tomates resultaron ser los menos rojos durante los primeros 20 días de almacenamiento.

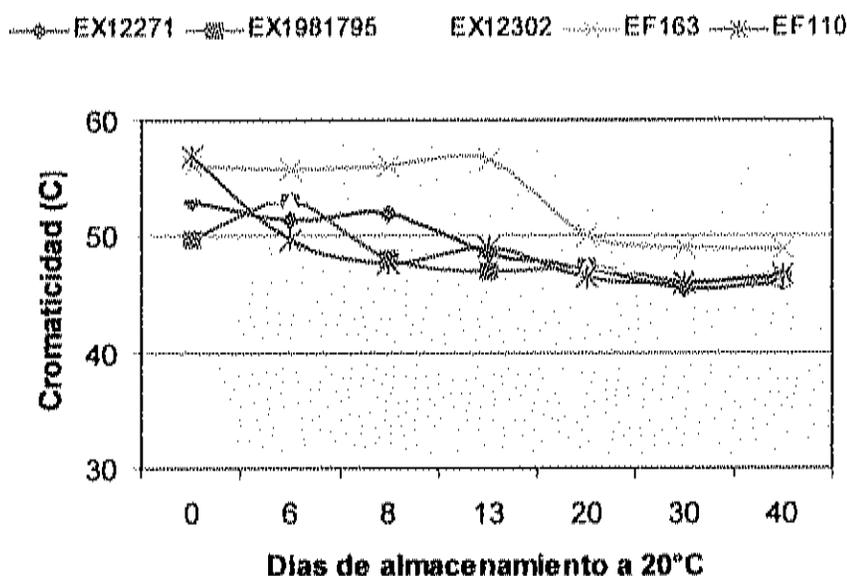


Figura 17. Valores de Cromaticidad de Tomates de 5 Variedades Durante su Almacenamiento a 20°C

En la Figura 18 se presentan los valores de color verdadero (Hue), obtenidos de los tomates de las cinco variedades evaluadas. Los frutos de la variedad EF110 sobresalen por su rápido cambio de color al sexto día de almacenamiento. Las diferencias con las demás variedades, se aprecian claramente en la Figura 19. El análisis de varianza y la comparación de medias, se incluyen en el Anexo 7.

Mendoza (1996) encontró que el cambio de color en tomate se presentó también al sexto día en condiciones similares de almacenamiento. Sin embargo, el menor valor de Hue que este autor obtuvo al final del estudio fue de 29, lo cual significa que evaluó tomates más rojos que los del presente trabajo.

Los valores de Hue de los tomates de las cinco variedades se igualaron y estabilizaron a los 20 días y hasta el final del almacenamiento, alcanzando valores de alrededor de 50°. Resultados similares para L, a* y Hue fueron reportados por Siller y col. (2001).

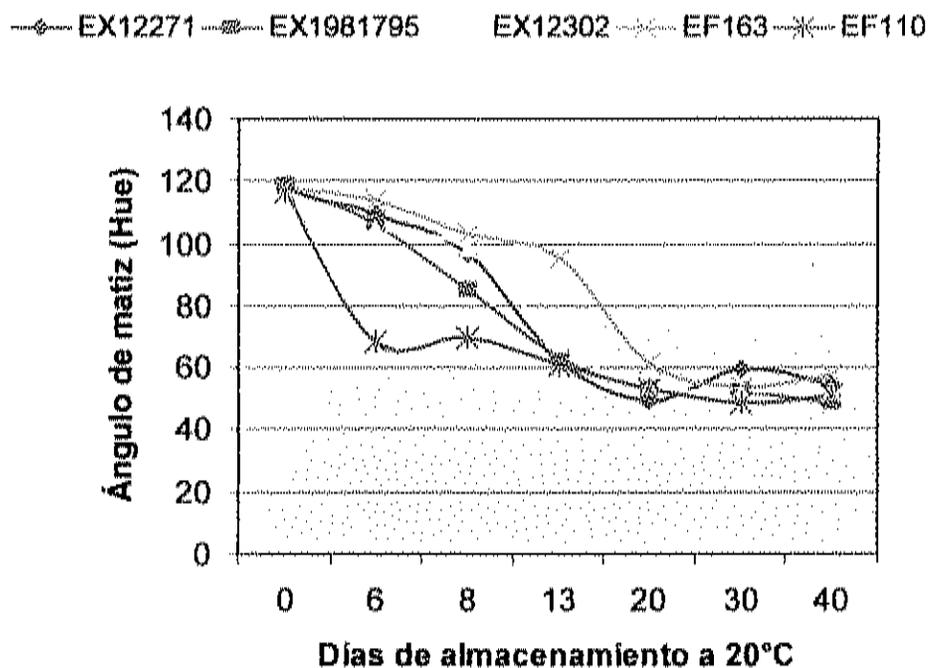


Figura 18. Valores de Hue de Tomate de 5 Variedades Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo

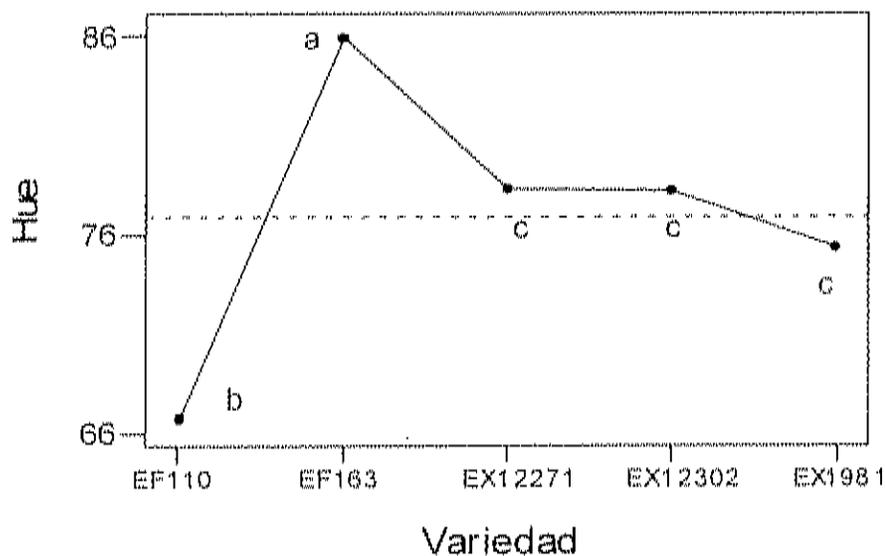


Figura 19. Efectos Principales de Hue, Según ANOVA en las 5 Variedades de Tomate Evaluadas

Color Interno

Debido a la similitud de estos resultados con los de color externo, y para un manejo más sencillo de este parámetro se consideraron sólo los valores de Luminosidad, Ángulo de matiz y Cromaticidad.

Ángulo de Matiz (Hue)

El ángulo de matiz (Hue) de color interno se comportó de manera similar al color externo, aunque se presentaron valores ligeramente inferiores, lo cual indica que el cambio de color de verde a rojo se presentó más rápidamente en

el interior que en el exterior de los tomates de todas las variedades evaluadas. Ésta tendencia es normal debido a que los cambios en pigmentos durante la maduración inician en el tejido placentario gelatinoso que rodea a las semillas y posteriormente en el pericarpio (Chamarro, 1995). Resultados similares reporta Báez (2001) para 8 variedades de tomate con valores de Hue interno entre 118 y 51° y valores de Hue externo entre 112 y 53°. Mendoza (1995) que evaluó el color en tres variedades de tomate, igualmente observó que los valores de Hue disminuyeron más rápidamente en el interior que en el exterior de los frutos.

Al igual que en los valores de color externo, se presentaron diferencias significativas entre los frutos de la variedad EF163 y el resto de las variedades, siendo esta variedad la que presentó los valores mayores para Hue, indicando un color menos rojo que los tomates de las otras variedades. En la Figura 20 se comparan los valores de Hue interno y externo a los 6 y 20 días de almacenamiento, de la variedad EF110 que fue la que presentó mayor rapidez en los cambios de color, y de la variedad EF163, que fue la que se retardó más en presentar los cambios de coloración. Como puede apreciarse en dichas figuras, los valores de ángulo de matiz externo en ambas variedades se mantuvieron ligeramente superiores a los valores de color interno. El análisis estadístico de esta variable de respuesta, se incluyó en el anexo 8.

Luminosidad

Los valores de luminosidad internos fueron menores que los externos para los frutos de las cinco variedades, presentando un rango entre 55 y 40 desde el inicio y hasta el final del almacenamiento. Báez (2001) registró resultados similares, ya que la mayor luminosidad en el color externo se debe al brillo que producen las ceras naturales de la cutícula.

En general, el comportamiento de la luminosidad interna, fue menos homogéneo que en la luminosidad externa, pero los frutos de la variedad EF163 se mantuvieron con los mayores valores de luminosidad tanto interna como externa. Se encontraron diferencias estadísticas en el tiempo y entre variedades a partir del día 8 de almacenamiento (Anexo 9). En la Figura 21 se muestran los resultados de luminosidad interna.

Cromaticidad

Los valores de pureza de color (Cromaticidad) en el interior de los frutos fueron menores que en el exterior, situándose alrededor de 25 al inicio y de 27 al final del almacenamiento. Los días 6 y 8 de almacenamiento se presentaron los menores valores de cromaticidad, debido a que en ese período se dieron los cambios de color y no se encontraban bien definidos (puros) ni el color verde inicial, ni el color rojo final. En la Figura 22 se muestran los valores de

cromaticidad, y sobresalen los frutos de la variedad EF110 por presentar el mayor valor de cromaticidad a partir del día 13 de almacenamiento, sin embargo no se presentaron diferencias estadísticas entre variedades, pero sí en el tiempo hasta el día 20 de almacenamiento en que los valores de cromaticidad se estabilizaron (Anexo 10).

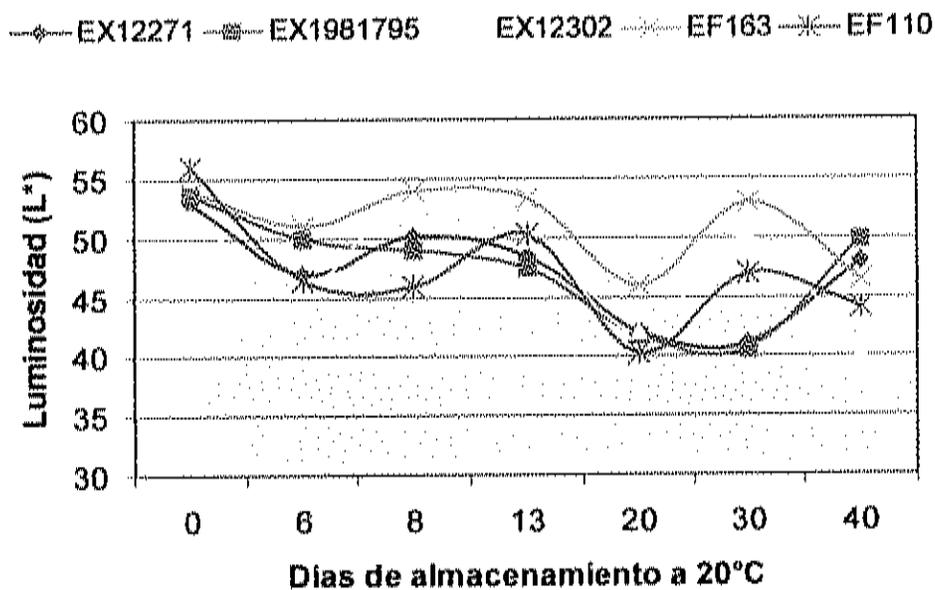


Figura 21. Luminosidad de Color Interno en Tomate de 5 Variedades Almacenado en Condiciones de Mercadeo

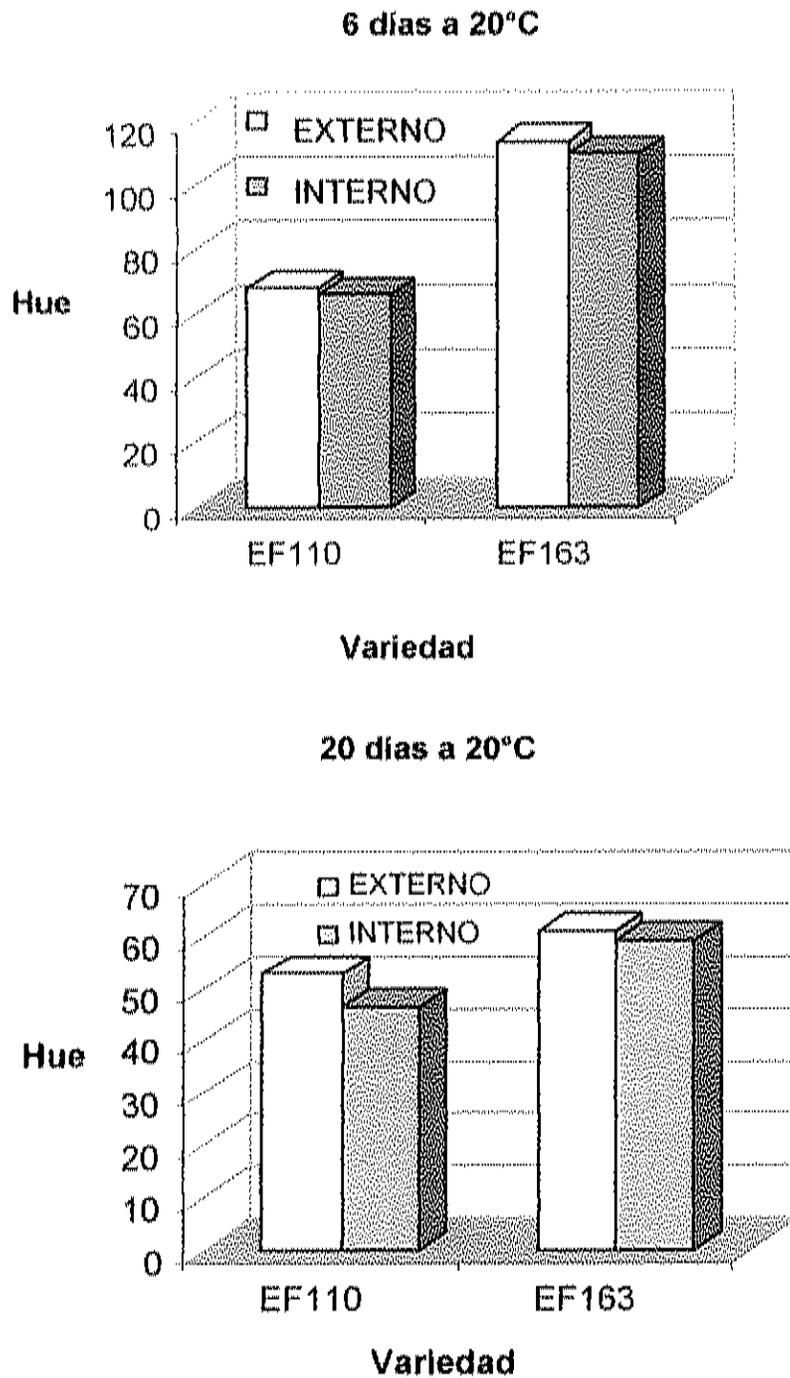


Figura 20. Comparación de Valores de Hue Interno y Externo a los 6 y 20 Días de Almacenamiento de Tomate de 2 Variedades

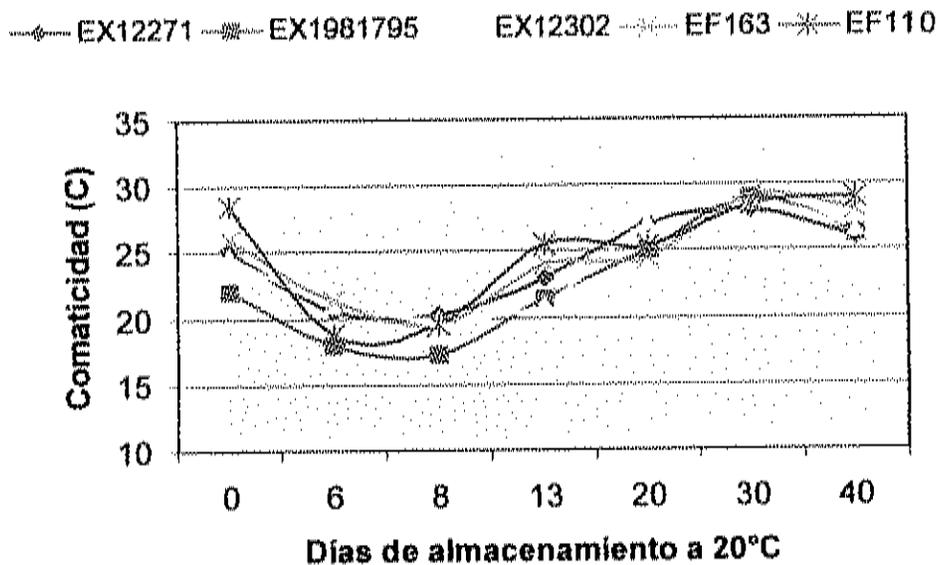


Figura 22. Valores de Cromaticidad de Color Interno en Tomate de 5 Variedades Almacenado en Condiciones de Mercadeo

Análisis de Pigmentos

Carotenoides Totales

Como se observa en la Figura 23, el contenido de carotenoides totales en las 5 variedades fue aumentando a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento. Las variedades que presentaron mayor concentración de carotenoides totales fueron las EF110, EX1981795 y EX12271, mientras que el

menor contenido de carotenoides, se encontró en los tomates de la variedad EF163. Las diferencias entre variedades se aprecian claramente en la gráfica de efectos principales (Figura 24), y éstas resultaron ser estadísticamente significativas según el análisis de varianza (Anexo 11);

Los resultados obtenidos coinciden con los datos de color obtenidos, ya que los frutos de la variedad EF 163 resultaron ser los menos rojos (Figura 18), es importante mencionar que esta variedad es comercial, y las tres variedades en experimentación (EX1981795, EX12271y EX12302) presentaron mayor contenido de carotenoides que los frutos de la variedad EX163.

El contenido final de carotenoides totales en los frutos evaluados osciló entre los 60 y 75 $\mu\text{g/g}$, a excepción de los frutos de la variedad EF163 que alcanzaron sólo 50 $\mu\text{g/g}$ al final del almacenamiento. Gross (1991), reporta valores entre 70 y 190 $\mu\text{g/g}$ para diferentes tipos de tomate, incluyendo variedades normales e híbridas. Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que el contenido de carotenoides encontrado en las diferentes variedades evaluadas es mínimo, pero se encuentra dentro del rango descrito por este autor. Es muy probable que estos resultados se deban a que los tomates híbridos de maduración retardada o de larga vida de anaquel presentan reducido el contenido de carotenoides totales (Tigchelaar y col, 1978; Buescher y col., 1981).

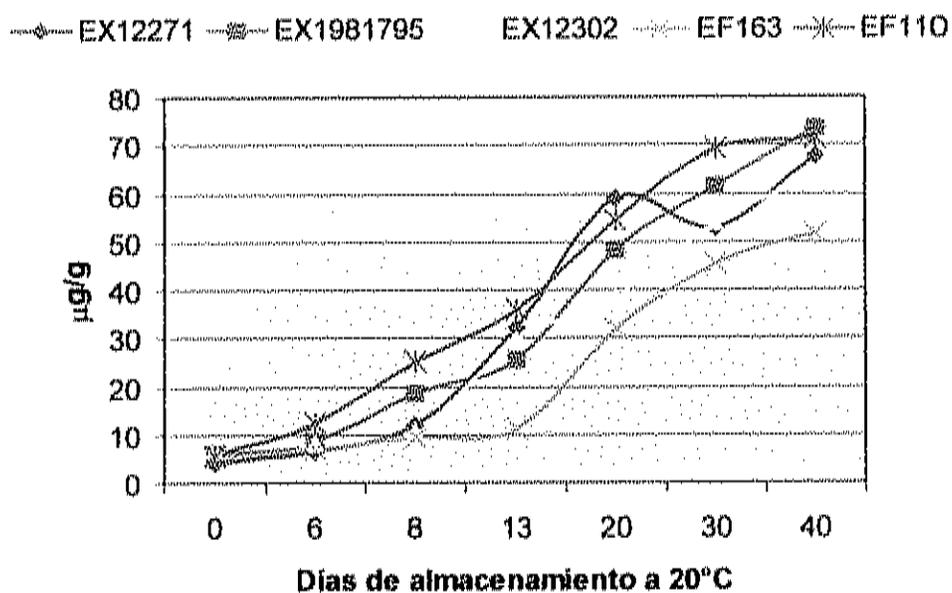


Figura 23. Contenido de Carotenoides Totales en Tomate de 5 Variedades Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo

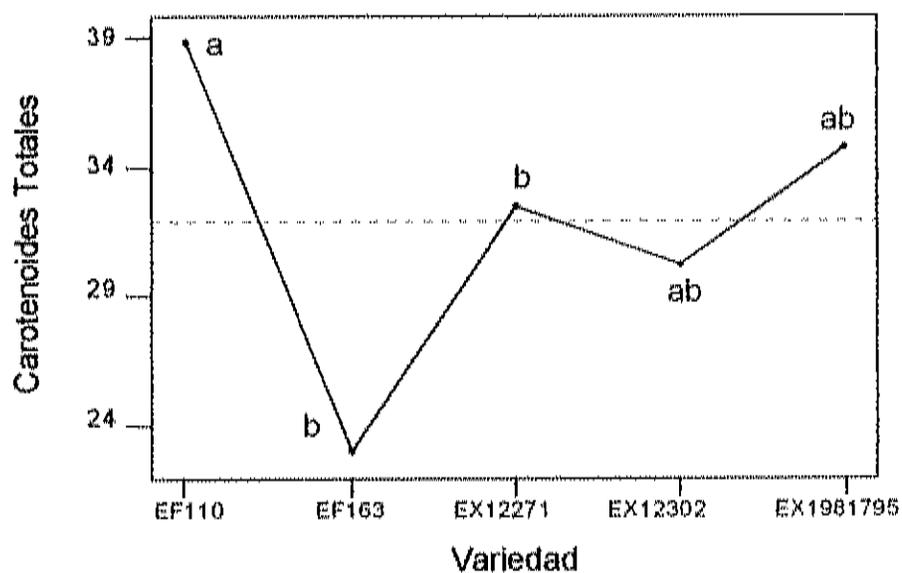
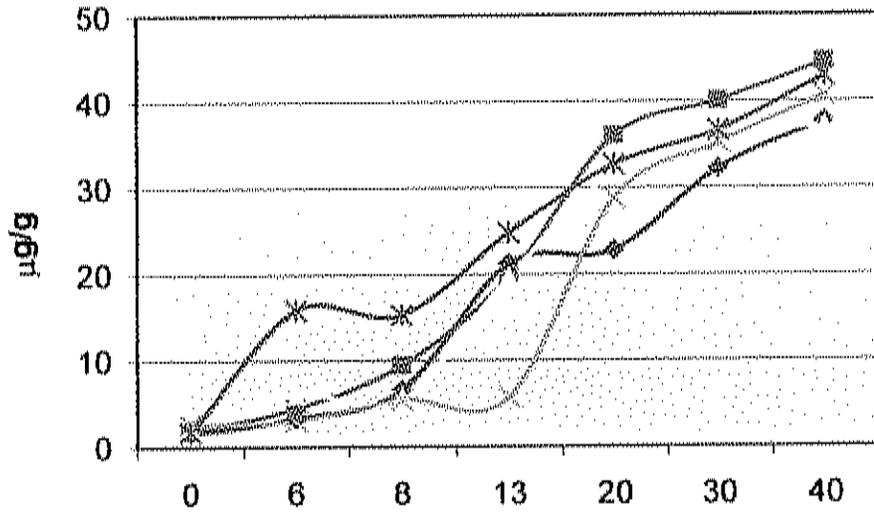


Figura 24. Gráfica de Efectos Principales para Carotenoides Totales Según Análisis de Varianza Realizado en Minitab

Lycopeno

Los resultados de concentración de licopeno (Figura 25), muestran coincidencia con el contenido de carotenoides totales, ya que los frutos de las variedades EF110 y EX1981795 resultaron ser estadísticamente diferentes a los tomates de las otras variedades, siendo estas tres (EX12271, EX12302 y EF163) las de menor contenido de licopeno (Figura 26). La mayor concentración de licopeno encontrada en los tomates de las variedades EF110 y EX1981795 fue aproximadamente de 45 $\mu\text{g/g}$. Este resultado concuerda con el que reportan Nguyen y Schwartz (1999) en tomate rojo para consumo en fresco, el cual es de 3.1 a 7.74 mg/100g (31 a 77.4 $\mu\text{g/g}$) de licopeno. Por otro lado, la base de datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA, 1998) registra concentraciones entre 30.2 y 42.0 $\mu\text{g/g}$ para diferentes tipos de tomate maduro, estos valores son ligeramente inferiores a las que se encontraron en los tomates evaluados en este estudio. Gross (1991) reporta para 4 variedades de tomate concentraciones de licopeno entre 62 y 73.7 $\mu\text{g/g}$, las cuales son mayores a las que se obtuvieron en este estudio. La gran cantidad y diversidad de híbridos de tomate que se comercializan actualmente puede ser la causa de la variabilidad en los resultados obtenidos por los diferentes autores.

EX12271 EX1981795 EX12302 EF163 EF110



Días de almacenamiento a 20°C

Figura 25. Contenido de Licopeno en Tomate de 5 Variedades Durante su Almacenamiento en Condiciones de Mercadeo

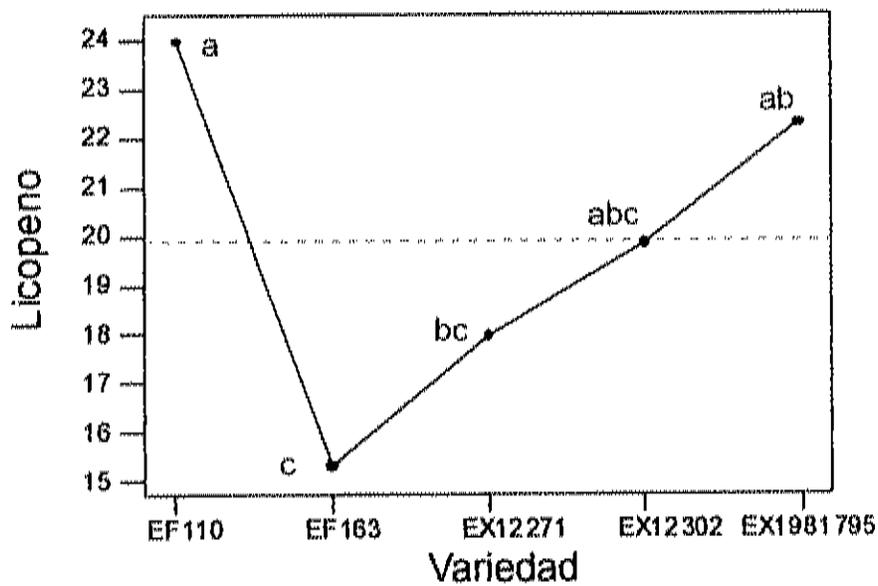


Figura 26. Gráfica de Efectos Principales para Licopeno Según Análisis de Varianza Realizado en Minitab.

Análisis de Correlación y Regresión

En el Cuadro 8 se presentan los coeficientes de correlación y los valores p que arrojó el análisis estadístico de los resultados. De acuerdo con éstos valores, las variables con mayor relación tanto con el contenido de carotenoides totales y el contenido de licopeno, fueron los parámetros de color externo, a y Hue ($p=0.00$).

Cuadro 8. Coeficientes de correlación entre los parámetros de color y el contenido de carotenoides totales y licopeno en tomates de diferentes variedades almacenados bajo condiciones de mercadeo

	L	a	b	Hue	Croma	Carotenoides Totales
a	-0.765 p = 0					
b	0.419 p = 0	-0.141 p=0.064				
Hue	0.777 p = 0	-0.992 p = 0	0.154 p=0.041			
Croma	-0.115 P= 0.131	0.397 p = 0	0.737 p = 0	-0.374 p = 0		
Carotenoides Totales	-0.759 p = 0	0.848 p = 0	-0.245 p=0.001	-0.845 p = 0	0.325 p = 0	
Licopeno	-0.728 p = 0	0.851 p = 0	-0.207 p=0.006	-0.847 p = 0	0.323 p = 0	0.86 p = 0

Tomando en cuenta a las variables que presentaron los mejores coeficientes de correlación, se procedió a realizar el análisis de regresión, para lo cual se transformaron logarítmicamente las variables para obtener los mejores modelos que cumplieran con la condición de varianza constante, así como una dispersión lineal de los datos (Neter y col., 1990; Devore, 1998). De ésta manera se obtuvieron varios modelos útiles para estimar el contenido de carotenoides totales y licopeno a partir de los parámetros de color. Estos modelos se representan en las Figuras 27 a la 30.

Es importante resaltar que todos los modelos obtenidos presentaron valores de coeficiente de determinación (R^2) cercanos al 90% y a que el análisis de varianza para la regresión en todos los casos resultó significativo ($p < 0.05$).

El coeficiente de determinación (R^2) es la proporción de la variación total observada que es explicada por el modelo de regresión lineal simple. Cuanto más alto sea el valor de R^2 , mejor será el modelo de regresión para explicar la variación. Generalmente en los modelos de regresión lineal simple, se aceptan valores de R^2 de 75% o mayores. (Devore, 1998).

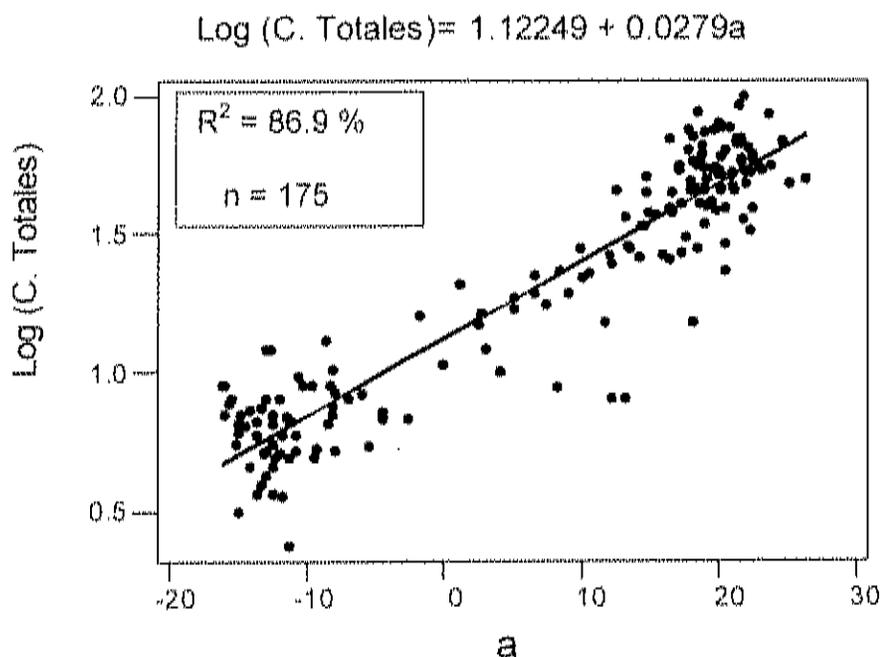


Figura 27. Relación entre el Contenido de Carotenoides Totales y el Valor de a^* Externo Medido en Tomates de 5 Variedades

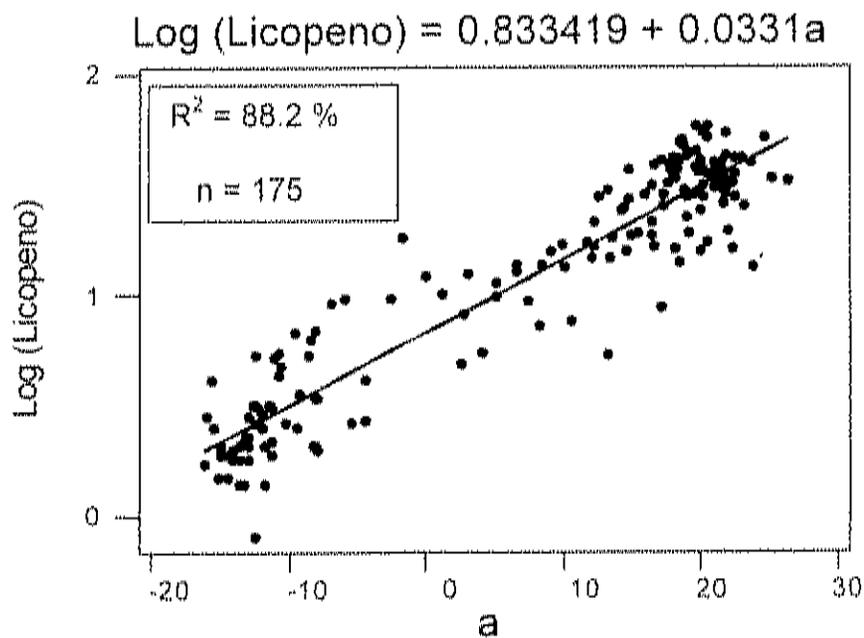


Figura 28. Relación entre el Contenido de Licopeno y el Valor de a^* Externo Medido en Tomates de 5 Variedades

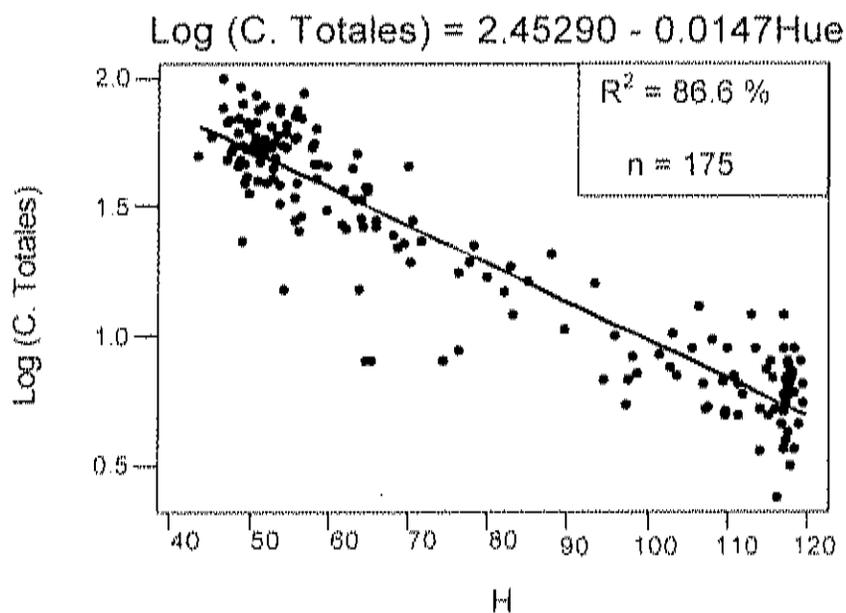


Figura 29. Relación entre el contenido de Carotenoides Totales y el Valor de Hue Externo Medido en Tomates de 5 Variedades

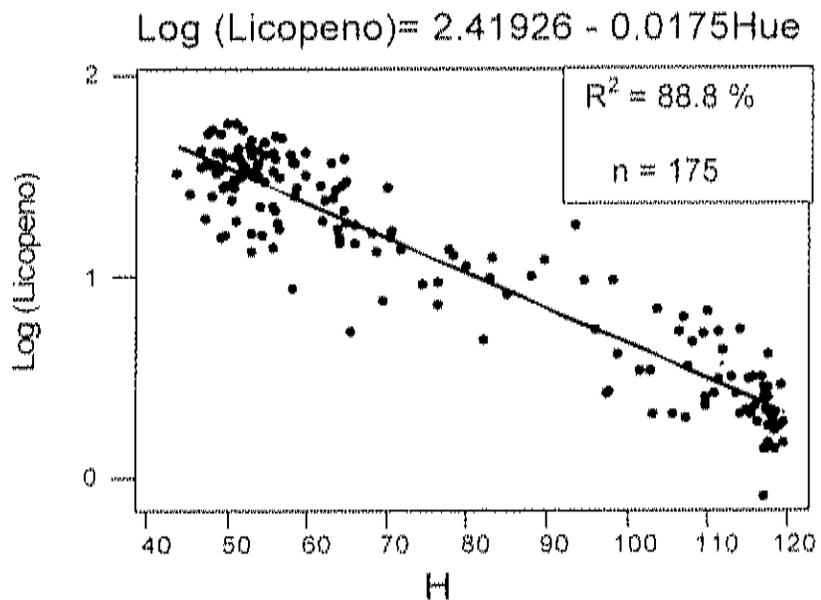


Figura 30. Relación entre el contenido de Licopeno y el Valor de Hue Externo Medido en Tomates de 5 Variedades

Relación Entre el Contenido de Pigmentos y el Color Externo

Siller y col. (2001) basados en numerosos estudios realizados por años con diversas variedades de tomate, clasifican los valores de color correspondientes a los diferentes estados de madurez. De acuerdo con éstos autores, los valores de Hue para cada estado de madurez son los siguientes: 117.7 para "Green-mature", 107.2 para "Breaker", 98.6 para "Turning", 73.6 para "Pink", 65.4 para "Ligh Red" y 48.8 para "Red". Con base a esta clasificación y en los modelos matemáticos obtenidos del análisis de regresión, se estimó el contenido de licopeno en tomate para los distintos estados de madurez y los datos obtenidos se relacionaron en el Cuadro 9. Este es un ejemplo de la utilidad que pueden tener los modelos obtenidos para estimar de manera rápida, económica y no destructiva el contenido de licopeno en tomate en función de los valores de color (Hue).

Algunos autores han realizado otros trabajos donde relacionan los valores de color con el contenido de pigmentos. Utilizando un modelo de regresión lineal, Singha y Townsend (1989), estimaron el contenido de clorofila en hojas de manzana, uva y durazno, a partir de los parámetros de color L, a* y b*. Posteriormente, D'Souza y col. (1992) en tomate y Tourjee y col. (1998) en durazno, también obtuvieron modelos de regresión para estimar el contenido de pigmentos con diversos resultados. Por otra parte, Thompson y col. (2000) hicieron pruebas de regresión con los valores de Hue de la piel de tomates de

diferentes variedades, así como de homogenizados preparados de estos frutos y encontraron que este último es mejor indicador del contenido de licopeno que el valor Hue externo.

Cuadro 9. Predicción del contenido de licopeno en tomate a partir de los valores de Hue

Estado de madurez	Hue	Contenido de licopeno ($\mu\text{g/g}$)
Green-mature	117.7	2.3
Breaker	107.2	3.6
Turning	98.6	4.95
Pink	73.6	13.5
Light Red	65.4	18.8
Red	48.8	36.8

En los diferentes estudios donde se encontraron modelos de regresión para predecir contenido de pigmentos, se obtuvieron mayores coeficientes de determinación con los datos de cada variedad manejados por separado, en este trabajo se observó esta misma tendencia alcanzándose valores de R^2 mayores a 90 % cuando se realizó el análisis de regresión en tres variedades. Por ejemplo para la variedad EX12302 el modelo para estimar el contenido de licopeno a partir del valor de Hue se representa en la Figura 31. Las gráficas para los modelos correspondientes a cada variedad se incluyeron en las Figuras 32 a la 34.

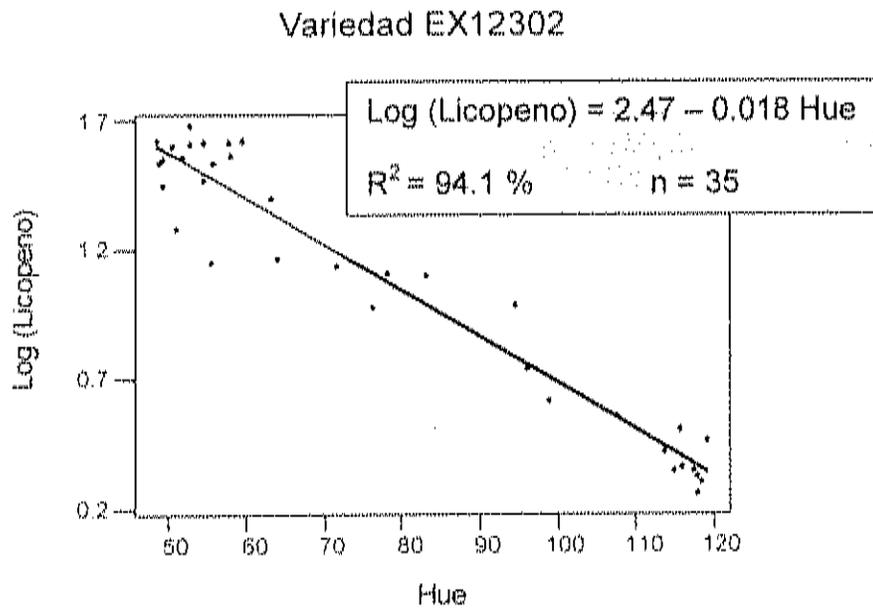


Figura 31. Relación entre el Contenido de Licopeno y los Valores de Hue Externo Medidos en Tomates de la Variedad EX12302

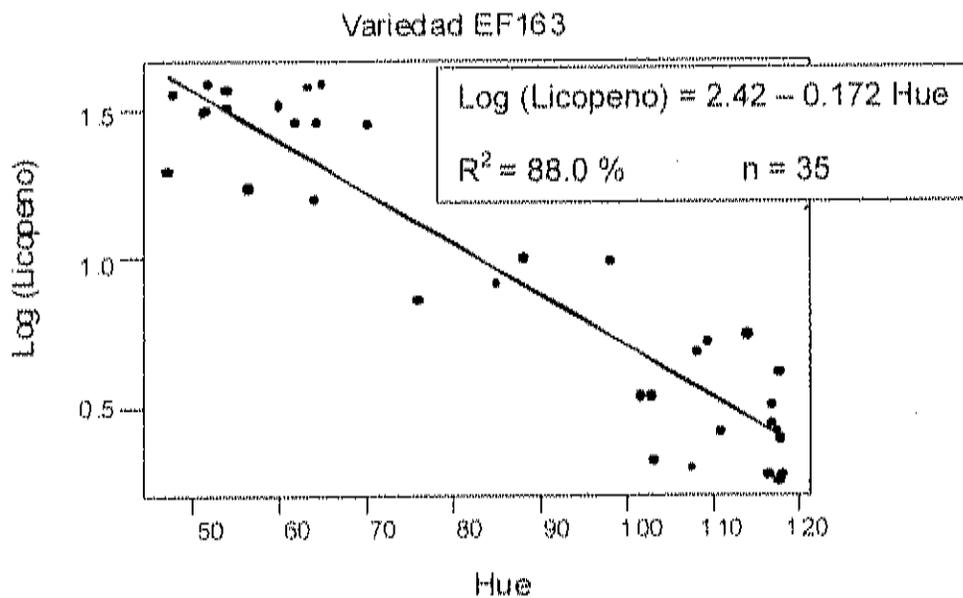


Figura 32. Relación entre el Contenido de Licopeno y los Valores de Hue Externo Medidos en Tomates de la Variedad EF163

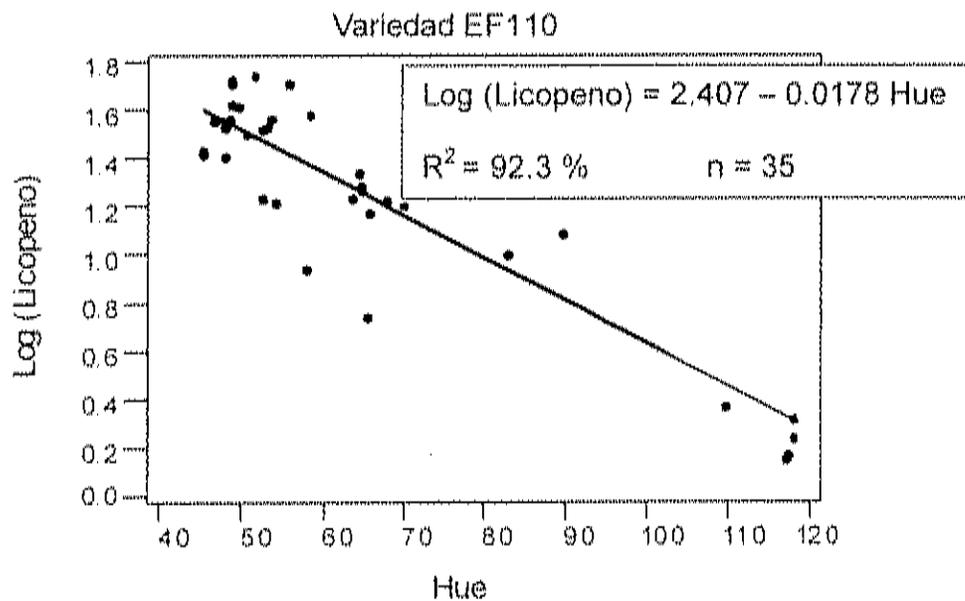


Figura 33. Relación entre el Contenido de Licopeno y los Valores de Hue Externo Medidos en Tomates de la Variedad EF110

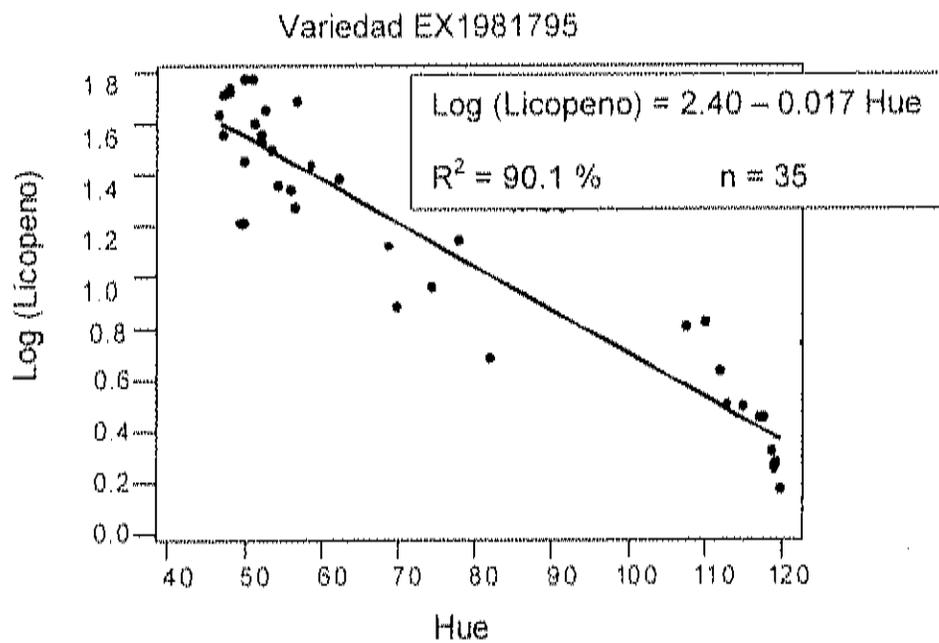


Figura 34. Relación entre el Contenido de Licopeno y los Valores de Hue Externo Medidos en Tomates de la Variedad EX1981795

Relación Entre el Contenido de Pigmentos y el Color Interno

Al igual que con los valores de color externo, se encontraron modelos matemáticos para estimar el contenido de carotenoides totales y licopeno a partir de los valores de Hue interno, con valores de R^2 similares (Figura 3.5). Esto sugiere que tienen igual valor de predicción que los modelos matemáticos de color externo descritos anteriormente, sin embargo, los modelos basados en el color interno, resultan poco prácticos por requerir de un método destructivo para obtener los valores de Hue. De acuerdo con Watada (1989), las investigaciones deben dirigirse en el sentido de desarrollar métodos no destructivos para realizar las evaluaciones de calidad en los productos hortícolas frescos, por lo que en este caso se recomienda utilizar los modelos matemáticos basados en los valores de color externo, en lugar de color interno.

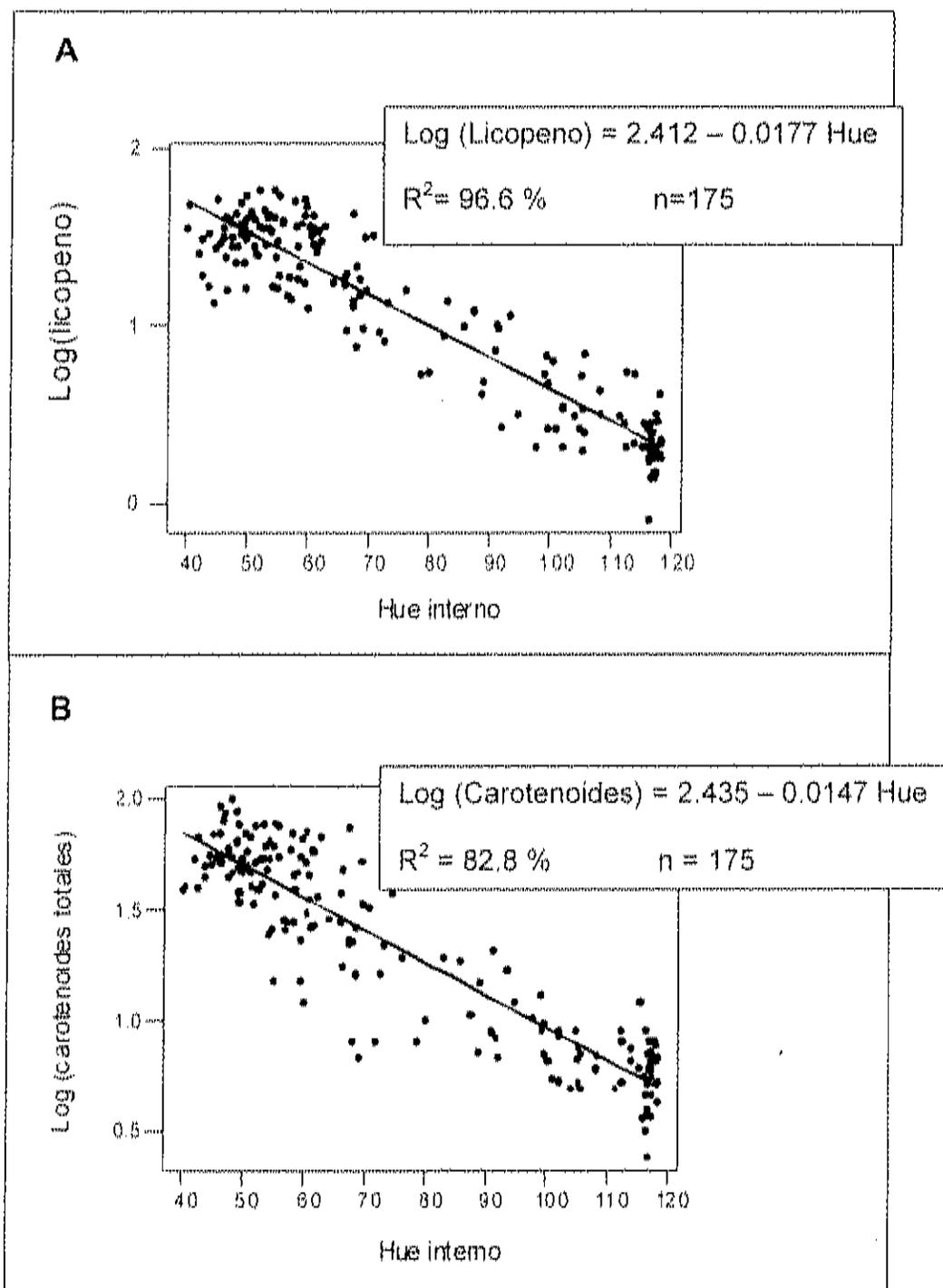


Figura 35. Predicción del Contenido de Licopeno (A) y Carotenoides Totales (B) a Partir de los Valores de Hue de Color Interno en Tomates de 5 Variedades Almacenados en Condiciones de Mercadeo

CONCLUSIONES

1. Se obtuvieron modelos matemáticos con los que es posible estimar satisfactoriamente el contenido de carotenoides totales y de licopeno en frutos de tomate utilizando los valores de color externo a^* y Hue.
2. Los tomates que resultaron con las mejores características de calidad en general fueron los de la variedad comercial EF110 y los de la variedad en evaluación EX1981795.
3. Los tomates de la variedad EF163, resultaron ser los de menor contenido de licopeno y carotenoides totales, así como de menor color en comparación con los frutos de las demás variedades, a pesar de ser una variedad comercial.

BIBLIOGRAFÍA

- ◆ Adamicki, F., Potaczek, H. 1989. Storage Life and Quality of F1 Hybrid Tomatoes With Non Ripening Gene. *Acta Horticulturae* 258. Postharvest 88.
- ◆ A.O.A.C., 1990. Official Methods of Analysis. Asociation of Official Analytical Chemists. AOAC International. Guithersburg, MD. USA.
- ◆ Arias, R., Lee, T-Ch., Logendra, L., Janes, H. 2000. Correlation of Lycopene Measured by HPLC with the L*, a*, b* Color Readings of a Hydroponic Tomato and Relationship of Maturity with Color and Lycopene Content. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 1697-1702
- ◆ Azcon-Bieto, J., Talon, M., 1993. *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Ed. McGraw-Hill. España.
- ◆ Báez, F.M., 2001. *Calidad Postcosecha de Frutos Híbridos de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y su Relación con la Actividad de las Enzimas Poligalacturonasa (PG) y Carboximetilcelulasa (Cx)*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Culiacán. México.

- ◆ Bourne, M.C., 1980. Texture Evaluation of Horticultural Crops. HortScience. Vol. 15(1): 51-57.

- ◆ Buescher, R.W., Hardy, C., Tigchelaar, E.C. 1981. Postharvest Color Development in *nor* F₁ Tomato Hybrids as Influenced by Maturity State at Harvest. HortScience Vol. 16(3):329-330.

- ◆ Cantwell, M. 1994, Optimum Procedures for Ripening Tomatoes. En: Management of Ripening Fruits. Davis University of California. USA

- ◆ Chamarro, L. J., 1995. Anatomía y Fisiología de la Planta. En: Nuez, F., 1995. El Cultivo del Tomate. Capítulo 2. Ediciones Mundi-Prensa. España. p.44-91.

- ◆ Clevidence, B., Paetau, I., Smith, Jr., J. 2000. Bioavailability of Carotenoids from Vegetables. HortScience, Vol. 35(4), 585-588.

- ◆ Devore, J. L., 1998. Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias. 4^a Edición. International Thompson Editores. México.

- ◆ Dorais, M., Papadopoulos, A.P., Gosselin, A., 2001. Greenhouse Tomato Fruit Quality. En: Horticultural Reviews Volume 26, Ed. Janick Jules. Purdue University. USA.

- ◆ D'Souza, M. C., Singha, S., Ingle, M. 1992. Lycopene Concentration of Tomato Fruit can be Estimated from Chromaticity Values. HortScience 27(5):465-466.

- ◆ Esquinas - Alcazar, J., Nuez, V. F. 1995. Situación Taxonómica, Domesticación y Difusión del Tomate. En: Nuez, F., 1995. El Cultivo del Tomate. Capítulo 1. Ediciones Mundi-Prensa. España. p. 14-42.

- ◆ FAO, 2001. EstadísticaMundial.<http://apps.fao.org>. Noviembre 2001.

- ◆ Fraser, P.D., Römer, S., Kiano, J.W., Shipton, C.A., Mills, P.B., Drake, R., Schuch, W., Bramley, P.M., 2001. Elevation of Carotenoids in Tomato by Genetic Manipulation. Journal of Science of Food and Agriculture. 81:822-827.

- ◆ Gnanasekharan, V., Shewfelt, R.L., Chinnan, M.S., 1992, Detection of color changes in green vegetables. Journal of Food Science. Vol. 57 (1):149-154.

- ◆ Grierson, D.G.; Kader, A. A. 1986. Fruit Ripening and Quality. In: The Tomato Crop: A Scientific Basis for Improvement, First Edition. Atherton, J. G. and Rudich, J., Eds. Chapman and Hall London.

- ◆ Gross, J., 1991, Pigments in Vegetables. Chlorophylls and Carotenoids. Avi Book. NY, USA.

- ◆ Hutchings, J. B. 1999. Food Color and Appearance. Second Edition. Chapman & Hall Food Science Book. Aspen Publishers, Inc. USA.

- ◆ INEGI. 1999. Anuario Estadístico de la Producción agrícola. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México

- ◆ INEGI. 2000. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos en 1998. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

- ◆ INNSZ. 1998. Tablas de Valor Nutritivo de los Alimentos de Mayor Consumo en Latinoamérica. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. Edición Internacional Español-Inglés. Editorial Pax. México. p. 88.

- ◆ Kader, A.A., 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops. Second Edition. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. USA. 295 p.

- ◆ Kader, A.A., Morris, L.L., Stevens, M.A., Albright-Holton, M., 1978. Composition and Flavor Quality of Fresh Market Tomatoes as Influenced by Some Postharvest Handling Procedures. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103 (1): 6-13.

- ◆ Kader, A.A., Stevens, M.A., Albright-Holton, M., Morris, L.L., Algazi, M., 1977. Effect of Fruit Ripeness when Picked on Flavor and Composition in Fresh Market Tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102 (6): 724-731.

- ◆ King, B.S., Tietjen, J.L., Vickner, S.S., 1999. Food and Agriculture: Consumer Trends and Opportunities. Vegetables. www.ca.uky.edu/agc/pubs/ip/ip58c/ip58c.htm Noviembre 2001.

- ◆ Little, C.A., 1975. Off on a Tangent. A Research Note. Journal of Food Science, Vo. 40: 410-411.

- ◆ López, M.L., Silveira, M.I., Báez, S.R., 1995. Evaluación de Componentes Objetivos de la Calidad del Tomate de Exportación Durante su Vida de Anaquel. Hort. Mex. Vol. 3(3):191-199.

- ◆ Lucier, G., Lin, B-H., Allshouse, J., Kantor, L.S., 2000. Factors Affecting Tomato Consumption in the United States. Vegetables and Specialties. Economic Research Service/USDA, USA.

- ◆ LycoRed Natural Products Industries, Ltd., 1995. Lycopene in Tomato Products. LycoRed Protocol No.MU-107, July; and LycoRed Protocol No. MU-103, July. Beer-Sheva, Israel.

- ◆ McGuire, R. G., 1992. Reporting of Objective Color Measurements. HortScience. Vol. 27(12): 1254-1255.

- ◆ Mencarelli, F. Botondi, R., Moraglia, D., 1989. Postharvest Quality Maintenance of New Varieties of Tomato, Pepper, and Eggplant with Small Size Fruits: Preliminary Results. Acta Horticulturae 244.

- ◆ Mencarelli, F., Salveit, E. Jr., 1988. Ripening of Mature-green Tomato Fruit Slices. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113(5):742-745.

- ◆ Mendoza, W. A., 1996. Características Cuticulares y Actividad de Poligalacturonasa Durante la Maduración y Senescencia de los Frutos de Tomate. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Hermosillo, Sonora. México.

- ◆ Minitab.1998. Making data analysis easier. Minitab for Windows, release 12. Minitab Inc. State College, USA.

- ◆ Minolta, 1994. Precise Color Communication. Minolta Co. Ltd. Japan.

- ◆ Nguyen, L.M., Schwartz, S.J., 1999. Lycopene: Chemical and Biological Properties. Food Technology. Vol.53, No. 2 (38-45).

- ◆ Nuez, F. 1995. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa. España. 793 p.

- ◆ Ojeda J., Silveira, I., Troncoso, R., Mercado, R., Baéz-Sañudo, R. 1995. Predicción de la Vida de Anaquel del Tomate Usando Características de Calidad. Horticultura Mexicana. Vol. 3: 201-206.

- ◆ Painter, D.C., 1999. Tomatoes, Tomato-Based Products, Lycopene, and Cancer: Review of the Epidemiologic Literature. *J. Natl Cancer Inst.* 91(4):317-331.

- ◆ Pantastico, E. R., B. 1979. Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales. Editorial CECSA. P. 377.

- ◆ Riquelme, B. F. 1995. Postcosecha del Tomate para Consumo en Fresco. En: Nuez, F., 1995. El Cultivo del Tomate. Capítulo 15. Ediciones Mundi-Prensa. España. p. 590-623.

- ◆ SAGAR. (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural), 2000. Estadística de Tomate, Cierres definitivos de cosecha, SAGAR, Delegación Estatal, Sinaloa, México.

- ◆ Sakiyama, R., Stevens, M.A., 1976. Organic Acid Accumulation in Attached and Detached Tomato Fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101(4):394-396.

- ◆ Salunkhe, D.K.; Desai, B.B., 1984. Postharvest Biotechnology of Vegetables. Vol. I. CRC Press Inc. Florida, USA. p. 55-82.

- ◆ Salveit, M.E., Sharaf, A.R., 1992. Ethanol Inhibits Ripening of Tomato Fruit Harvested at Various Degrees of Ripeness without Affecting Subsequent Quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(5):793-798.
- ◆ Shingha, S., Baugher, T. A., Townsend, E. C., D'Souza, M. C. 1991. Anthocyanin Distribution in "Delicious" Apples and the Relationship between Anthocyanin Concentration and Chromaticity Values. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(3):497-499.
- ◆ Shingha, S., Townsend, E. C. 1989. Relationship between Chromaticity Values and Chlorophyll Concentration in Apple, Grape, and Peach Leaves. *HortScience*, Vol. 24(6):1034
- ◆ Siller, C.J., Baez, S.M., Sañudo, B.A., 2001. Actividad Biológica de Smart Fresh para retrasar maduración en Tomate. Reporte Técnico entregado a Rohm & Haas. CIAD, A.C. Unidad Culiacán, Sinaloa, México. 25 p.
- ◆ Simandle, P.A., Brogdon, J.L., Sweeney, J.P., Mobley, E.O., Davis, D.W. 1966. Quality of Six Tomato Varieties as Affected by Some Compositional Factors. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol. 89: 532-538.

- ◆ Simon, P.W. 1997. Plant Pigments for Color and Nutrition. *HortScience* 32(1):12-13.

- ◆ Stommel, J.R., 2001. USDA 97L63, 97L66 and 97L97: Tomato Breeding Lines with High Fruit Beta-carotene Content. *HortScience*, Vol. 36(2):387-388.

- ◆ Thompson, K.A., Marshall, M.R., Sims, C.A., Wheel, C.I., Sargent, S.A., Scott, J.W. 2000. Cultivar, Maturity and Heat Treatment on Lycopene Content in Tomatoes. *Journal of Food Science*. Vol. 65, No. 5: 791-795.

- ◆ Tigchelaar, E.C., McGlasson, W.B., Buescher, R.W., 1978. Genetic Regulation of Tomato Fruit Ripening. *HortScience*. Vol. 13(5): 508-512.

- ◆ Tourjee, K.R., Barret, D.M., Romero, M.V., Gradziel, T.M., 1998. Measuring Flesh Color Variability among Processing Clingstone Peach Genotypes Differing in Carotenoid Composition. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123(3):433-437.

- ◆ USDA-NCC. Carotenoid Database for U.S. Foods- 1998. USA, www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/car98/car98.html. Novimebre 2001.

- ◆ USDA. United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes. 1977. Agricultural Marketing Service. U. S. Dep. Agric. Washington D. C.

- ◆ VanHaeff, J.N.M., 1990. Tomates. En: Manuales para la Educación Agropecuaria. Producción Vegetal. Cap. 16. Segunda Edición. Editorial Trillas, México.

- ◆ Watada, A. E., 1989. Nondestructive Methods of Evaluating Quality of Fresh Fruits and Vegetables. Acta Horticulturae 258 Postharvest 88, 321-329.

- ◆ Wills, R.B.H., McGlasson, W.B., Graham, Lee, T.H., Hall, E.G., 1989. Postharvest. An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables. BSP Professional Books. Third Revised Edition. USA.

- ◆ Wruck, K.L., 1995. Consumer Issues and Expectations for Funtional Foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 35(1&2):167:173.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de Análisis de Varianza para Pérdida de Peso

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	4.0545	1.0136	11.59	.000
Tiempo	6	313.0683	52.1781	596.58	.000
Var*Tiem	24	2.0991	0.875	0.86	.660
Error	140	14.3000	0.1021		
Total	174	333.5219			

Anexo 2. Tabla de Análisis de Varianza para Firmeza por Compresión

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	0.8109	0.2027	1.36	.279
Tiempo	6	40.2513	6.7085	44.87	.000
Var*Tiem	24	3.5885	0.1495	3.83	.000
Error	140	5.4637	0.0390		
Total	174	50.1144			

Anexo 3. Tabla de Análisis de Varianza para Firmeza por Punción

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	860.08	215.02	3.07	.036
Tiempo	6	20580.47	3430.08	48.95	.000
Var*Tiem	24	1681.84	70.08	2.18	.003
Error	140	4491.23	32.08		
Total	174	27613.63			

Anexo 4. Tabla de Análisis de Varianza para Luminosidad Externa

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	635.33	158.83	8.91	.000
Tiempo	6	2680.05	446.67	25.05	.000
Var*Tiem	24	428.03	17.83	1.64	.042
Error	140	1526.83	10.91		
Total	174	5270.24			

Anexo 5. Tabla de Análisis de Varianza para Valor de a externo

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	1572.9	393.22	3.52	.021
Tiempo	6	28963.26	4827.21	43.22	.000
Var*Tiem	24	2680.62	111.69	5.04	.000
Error	140	3105.22	22.18		
Total	174	36321.99			

Anexo 6. Tabla de Análisis de Varianza para Cromaticidad externa

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	133.158	33.289	3.29	.028
Tiempo	6	660.137	110.023	10.87	.000
Var*Tiem	24	242.942	10.123	1.24	.221
Error	140	1145.558	8.183		
Total	174	2181.825			

Anexo 7. Tabla de Análisis de Varianza para Hue externo

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	6681.4	1670.4	4.53	.007
Tiempo	6	102508.9	17084.8	46.37	.000
Var*Tiem	24	8841.8	368.4	3.94	.000
Error	140	13100.0	93.6		
Total	174	131132.0			

Anexo 8. Tabla de Análisis de Varianza para Hue Interno

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	6313.9	1578.5	4.26	.010
Tiempo	6	93404.4	15567.4	41.99	.000
Var*Tiem	24	8898.3	370.8	3.13	.000
Error	140	16557.7	118.3		
Total	174	125174.4			

Anexo 9. Tabla de Análisis de Varianza para Luminosidad Interna

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	319.73	79.93	1.82	.159
Tiempo	6	2067.07	344.51	7.83	.000
Var*Tiem	24	1056.04	44.0	2.75	.000
Error	140	2241.88	16.01		
Total	174	5684.72			

Anexo 10. Tabla de Análisis de Varianza para Cromaticidad Interna

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	74.191	18.548	1.94	.137
Tiempo	6	1833.457	305.576	31.9	.000
Var*Tiem	24	229.913	9.58	1.16	.285
Error	140	1151.316	8.224		
Total	174	3288.877			

Anexo 11. Tabla de Análisis de Varianza para Carotenoides Totales

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	4830.7	1207.7	7.13	.001
Tiempo	6	85012.4	14168.7	83.64	.000
Var*Tiem	24	4065.5	169.4	2.01	.006
Error	140	11783.0	84.2		
Total	174	105691.5			

Anexo 12. Tabla de Análisis de Varianza para Licopeno

Fuente	G. L.	S. C.	MS Adj	F	P
Variedad	4	1633.7	408.4	4.97	.005
Tiempo	6	32575.4	5429.2	66.02	.000
Var*Tiem	24	1973.6	82.2	1.41	.113
Error	140	8170.5	58.4		
Total	174	44353.3			