

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**ANTIOXIDANTES EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.), FACTORES QUE
AFECTAN SU CONCENTRACION Y SUS BENEFICIOS PARA LA SALUD HUMANA.**

Monografía presentada a la Facultad
de Ciencias Agropecuarias y
Forestales de la Universidad de La
Frontera. Como parte de los requisitos
para optar al título de Ingeniero
Agrónomo.

ÁLVARO ANDRÉS URREA HUİLIPANG

TEMUCO - CHILE

2013

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



ANTIOXIDANTES EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.), FACTORES QUE AFECTAN SU CONCENTRACION Y SUS BENEFICIOS PARA LA SALUD HUMANA.

Monografía presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

ÁLVARO ANDRÉS URREA HUİLIPANG
PROFESOR GUIA: RODOLFO ISIDRO PIHÁN SORIANO

TEMUCO - CHILE

2013

TRABAJO DE TÍTULO

ANTIOXIDANTES EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.), FACTORES QUE AFECTAN SU CONCENTRACION Y SUS BENEFICIOS PARA LA SALUD HUMANA.

PROFESOR GUIA

: Rodolfo Isidro Pihán Soriano.
Ingeniero Agrónomo.
Facultad de Cs. Agropecuarias y Forestales.
Universidad de La Frontera

PROFESOR CONSEJERO

: Erick Sigisfredo Scheuermann Salinas.
Ingeniero en alimentos.
Doctor en Ciencia y Tecnología de los Alimentos.
Departamento de Ingeniería Química.
Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración.
Universidad de la Frontera.

CALIFICACION PROMEDIO MONOGRAFIA : _____

Esta monografía fue financiada con aportes del proyecto FONDEF D10R1016 “Desarrollo del tomate Angolino mediante denominación de origen con protocolo de producción”

INDICE

Capítulo		Página
1	INTRODUCCION	1
2	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	
2.1	Licopeno	4
2.2	Vitamina C	5
2.3	Polifenoles	6
3	FACTORES AGRONÓMICOS QUE INCIDEN EN EL CONTENIDO ANTIOXIDANTE	
3.1	Luz y temperatura	8
3.2	Variedad	24
3.3	Fertilización	34
3.4	Estado de madurez	43
3.5	Almacenamiento	45
3.6	Procesamiento	51
4	IMPACTO DE LOS ANTIOXIDANTES EN LA SALUD HUMANA	
4.1	Mecanismos de acción	61
4.2	Enfermedades no transmisibles	62
5	CONCLUSIONES	64

6	RESUMEN	67
7	SUMMARY	70
8	LITERATURA CITADA	72

1. INTRODUCCIÓN

El oxígeno es esencial para la vida, pero plantea una paradoja para los organismos aerobios. Este elemento desempeña una función importante como aceptor terminal de electrones durante la respiración celular y constituye lo que se conoce como el "soporte de la vida", pero también es el punto de partida para un tipo de daño celular conocido como "estrés oxidativo". El desbalance en la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) y la defensa antioxidante provoca el estrés oxidativo, el que lleva a una variedad de cambios fisiológicos y bioquímicos, los cuales provocan deterioro y muerte celular. Como resultado de la alta reactividad de estas especies se desarrollan fenómenos irreparables en diversas macromoléculas como: peroxidación lipídica, oxidación de aminoácidos como fenilalanina, tirosina, histidina y metionina, daño a el ácido desoxirribonucleico (ADN), ocurriendo fenómenos de mutaciones y carcinogénesis, pérdida de expresión o síntesis de una proteína por daño a un gen específico, modificaciones oxidativas de las bases, reordenamientos cromosómicos y desmetilación de citosinas del ADN que activan genes.

El estrés oxidativo se encuentra presente en todos los organismos aerobios, y los humanos no son excepción. Los mismos compuestos fitoquímicos y antioxidantes que se encuentran en las plantas, cumplen en nuestra especie importantes funciones de protección y estabilización frente a las especies activas de oxígeno. Se sabe que la ingesta de alimentos con altos niveles de compuestos antioxidantes y fitoquímicos se relaciona con mayores niveles de los mismos en el cuerpo humano. Del mismo modo, hay gran cantidad de reportes acerca de los diferentes efectos de diversos fitoquímicos y antioxidantes vegetales sobre la capacidad antioxidante de los órganos y tejidos del cuerpo humano, la resistencia a enfermedades, la prevención de accidentes vasculares, cáncer de próstata, pulmón y estómago.

El tomate es una de las hortalizas más consumidas a lo largo del año en todo el mundo. Por esta razón, se ha convertido en una fuente importante de minerales y componentes nutraceuticos, principalmente carotenoides, vitamina C y polifenoles. Los que tienen un papel

clave en la salud humana. Sin embargo, estos componentes pueden variar significativamente dependiendo de la especie, el cultivar, factores ambientales, las técnicas agrícolas, los tratamientos postcosecha y el almacenaje.

Para la realización del estudio se recopiló y analizó información existente en revistas electrónicas ISI de alto impacto mundial, tales como Journal Agricultural Food Chemistry, Plant Biology, Food Chemistry, Postharvest Biology and Technology, Food Technology, Food Research Internacional, Journal nutrition, Journal of Food Composition and Analysis, entre otras, a través del motor de búsqueda SCIENCE DIRECT, ESCOPUS, EBSCO, GOOGLE SCHOLAR. Esta información fue complementada con publicaciones especializadas en el agro, química y salud, disponibles en internet.

Para satisfacer los objetivos propuestos, la estructura del trabajo comprende tres capítulos centrales, más un capítulo final que expone las conclusiones obtenidas. El primer capítulo trata acerca de las principales características químicas del licopeno, vitamina C y polifenoles. El segundo capítulo aborda siete factores agronómicos que inciden en el contenido antioxidante del tomate, y como estos influyen en su producción. El tercer capítulo aborda el impacto de los antioxidantes en la salud humana, describiendo sus principales mecanismos de acción y su importancia en la prevención de enfermedades no transmisibles, como cáncer e infarto cardiaco. Al final del documento, se incluye un resumen.

En este contexto, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Presentar antecedentes actualizados en base a investigaciones de nivel científico mundial acerca de antioxidantes presentes en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), determinando los principales factores que intervienen en la producción de éstos, y su rol benéfico en la salud humana.

Objetivos específicos:

1. Especificar las características químicas de los antioxidantes licopeno, vitamina C y polifenoles.
2. Explicar cómo influyen los factores luz, temperatura, fertilización, variedad, estado de madurez, procesamiento y almacenamiento en el contenido de licopeno, vitamina C y polifenoles presentes en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).
3. Explicar los principales mecanismos de acción de los antioxidantes.
4. Identificar cuáles son los beneficios del consumo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en la salud humana.

2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

2.1 Licopeno.

El licopeno (Figura 1) es uno de los 600 carotenoides encontrados en la naturaleza. Este pigmento natural es sintetizado por plantas y microorganismos para absorber luz durante la fotosíntesis y para protegerlos contra la fotosensibilización. Es un carotenoide no cíclico que tiene la fórmula molecular $C_{40}H_{56}$, peso molecular de 536,85 Daltons, compuesto lipofílico insoluble en agua. Es un pigmento rojo que absorbe luz en el rango visible (Rao *et al.*, 2006).

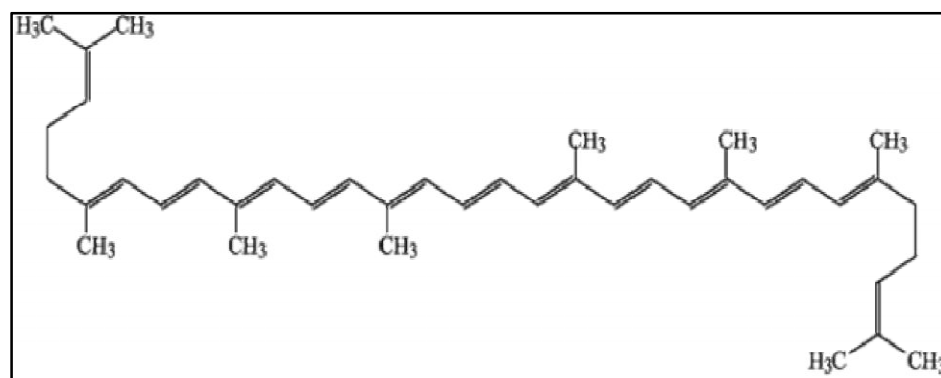


Figura 1. Estructura química del licopeno. Adaptado: Rao y Rao, (2007).

Su estructura consta de trece doble enlaces de los cuales once son conjugados, confiriéndole la particularidad de ser muy reactivo frente al oxígeno y a los radicales libres. Carece de un anillo de β -ionona, por lo cual no posee actividad provitamina A. Aunque el tomate contiene principalmente el isómero *trans* licopeno (79-91%), tanto el suero como los tejidos de los seres humanos y de los animales acumulan preferentemente los isómeros *cis* licopeno. La reactividad del licopeno se puede explicar debido a que se isomeriza rápidamente en la sangre y en los tejidos, desde la forma biosintética con configuración *trans* a una mezcla en la cual también participan los isómeros *cis*. Los isómeros geométricos *cis* presentan mayor biodisponibilidad, probablemente porque son más solubles en las micelas del ácido biliar y por lo

tanto pueden ser incorporados preferentemente en los quilomicrones (Vitale *et al.*, 2010). Los quilomicrones son partículas con densidad de flotación inferior a 0,95 mg/dL, formados a partir de la degradación y absorción de las grasas de la dieta en el intestino, transportan de 85 a 95% de triglicéridos exógenos, son relativamente pobres en colesterol (5%) y fosfolípidos (7%), y contienen un 2% de proteínas fundamentalmente apo B-48 (Madrazo y Madrazo, 2005).

2.2 Vitamina C.

Está compuesta por dos formas activas (Figura 2): el ácido ascórbico (AA), que por oxidación enzimática (ascórbico oxidasa) y química genera el ácido dehidroascórbico (DHA). Este último es también susceptible a la oxidación a ácido dicetogulónico que carece de actividad (Pighin y Rossi, 2010). El ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) tiene peso molecular de 176,13 Daltons, es hidrosoluble y posee propiedades ácidas y fuertemente reductoras. Es sintetizada químicamente a partir de glucosa, mediante una serie de reacciones catalizadas por enzimas, siendo la L-gulonog-lactona oxidasa (GLO) la última enzima involucrada en su síntesis (Serra y Cafaro, 2007).

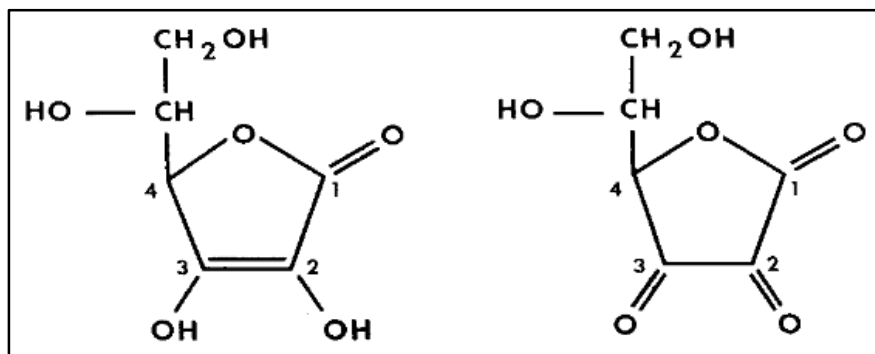


Figura 2. Estructura química del ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico respectivamente. Adaptado: Barbany y Javierre, (2006).

2.3 Polifenoles.

Los compuestos fenólicos constituyen un amplio grupo de sustancias (más de 8.000) presentes en el reino vegetal, aunque también existen compuestos de carácter sintético, que en su mayoría son potentes antioxidantes. Todos ellos comparten una estructura común, un grupo fenol, al que pueden asociarse núcleos aromáticos con diversos tipos de sustituyentes, predominando los grupos hidroxilos (Visioli *et al.*, 2000).

Sus estructuras químicas les permiten donar hidrógeno (electrones) a los radicales libres, lo que les confiere el carácter antioxidante. En estudios in vitro se ha demostrado que muchos polifenoles son mejores antioxidantes que las vitaminas C y E. La eficacia de estos antioxidantes depende en gran medida de la especie del radical libre generado, y de la naturaleza del oxidante (Halliwell y Gutteridge, 1999). De manera general son moléculas que tienen dos anillos bencénicos unidos a través de una cadena de tres átomos de carbono, puesto que cada anillo bencénico tiene 6 átomos de carbono, los autores los denominan simplemente como compuestos C6-C3-C6. Los principales componentes fenólicos en el tomate son flavonoides (quercetina, naringenina y rutina) y ácido clorogénico (ácido fenólico) (Luthria *et al.*, 2006). La Figura 3 muestra la estructura química de uno de los flavonoides más comunes: La quercetina.

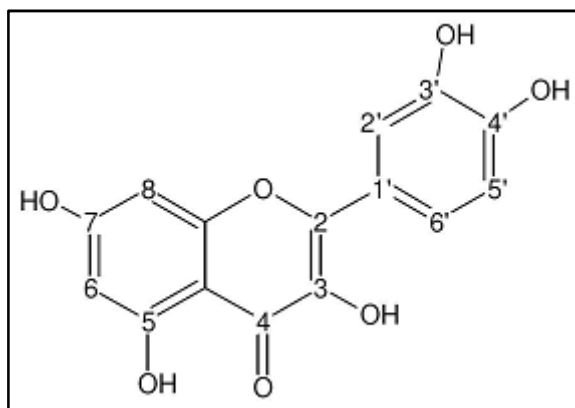


Figura 3. Estructura química de la quercetina. Adaptado: Gilet *et al.*, (2009).

Los compuestos fenólicos y polifenólicos, entre los que se destacan los bioflavonoides, son considerados antioxidantes no nutrientes. Tienen como estructura fundamental la flavona. Estos reducen la fragilidad y/o permeabilidad capilar, manteniendo la integridad vascular. Además pueden quelar iones metálicos evitando que estos actúen como catalizadores en las reacciones de formación de radicales libres (Shindo *et al.*, 1994).

Están presentes en organismos fotosintéticos, especialmente en plantas superiores, pero son poco abundantes en algas y hongos. Son considerados metabolitos secundarios de las plantas. Se localizan fundamentalmente en frutos, semillas, hojas y otros órganos vegetales. Intervienen en las características organolépticas de las frutas y verduras, contribuyendo al color, sabor amargo y astringente, así como al pardeamiento enzimático de los vegetales (Martínez-Valverde *et al.*, 2000). Se consideran los pigmentos responsables del color de las hojas y de los tonos amarillo, naranja y rojo en flores y frutos (Brouillard y Cheminant, 1988). Su presencia en tejidos animales está en relación directa con el consumo de alimentos vegetales (Scalbert y Williamson, 2000). La concentración de flavonoides varía con la especie vegetal, y también en respuesta al medio ambiente de la planta, pero se encuentra entre los 259,15 a 498,60 mg/kg de peso fresco (Zhou y Yu, 2006).

3. FACTORES QUE INCIDEN EN EL CONTENIDO ANTIOXIDANTE

3.1 Luz y temperatura.

Saavedra y Ciudad (2002), sostienen que los antioxidantes presentes en tomate “cosechan” luz, esto quiere decir que cumplen funciones de defensa, protegiendo a la planta del daño oxidativo que esta provoca. Durante el metabolismo celular se produce y se libera oxígeno altamente reactivo. Para cubrir las demandas energéticas del organismo, es necesaria que la glucosa, en su vía metabólica, sea desdoblada hasta la formación de anhídrido carbónico y agua por acción del oxígeno proveniente de la respiración. Parte de este oxígeno, aproximadamente un 2% pasa a formar radicales libres. Estos últimos como es sabido poseen alta toxicidad por tener un electrón desapareado, siendo muy reactivos dentro de la célula, causando destrucción de estructuras moleculares que son vitales para su normal desenvolvimiento. La manera de neutralizar esta toxicidad es con la presencia de sustancias reductoras como los antioxidantes (Licopeno, vitamina C y polifenoles), las que aumentan su concentración para ser componentes de defensa para la integridad celular.

Toor *et al.*, (2006) reportan los efectos provocados por la luz y temperatura en el contenido de licopeno, ácido ascórbico y polifenoles en tres variedades de tomate de crecimiento indeterminado en Nueva Zelanda. La temperatura y radiación media medida al interior del invernadero fue realizada entre los meses de Septiembre y Abril (Cuadro 1), registrándose una correlación positiva entre la temperatura y la intensidad de la radiación solar. Presentándose valores superiores de ambos factores en los meses de verano (Diciembre a Febrero).

Cuadro 1. Promedio de la radiación solar y la temperatura.

Época del año	Radiación solar promedio (J/cm ²)	Temperatura promedio (°C)
Septiembre	964	17,6
Octubre	1387	17,8
Noviembre	1666	18
Diciembre	1773	19,25
Enero	1756	19,8
Febrero	1610	19,4
Marzo	1478	18
Abril	1248	17,2

Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

El contenido de licopeno (Figura 4) de los tomates en diferentes épocas del año varió entre 19 a 35 (Excell), 26 a 73 (Tradiro), y 28 a 66 mg/100 g MS (Flavourine). El contenido de licopeno promedio de los tres cultivares en los meses de verano (Diciembre-Febrero) fue 31% menor en comparación con otras épocas del año. Los resultados mostraron que el aumento de la temperatura durante los meses de verano tuvo un efecto negativo sobre el contenido de licopeno, mientras que la radiación solar tenía un efecto ligeramente positivo (Toor *et al.*, 2006). El efecto de la temperatura y la intensidad de luz sobre el contenido de licopeno han sido observados en estudios anteriores. Chang *et al.*, (1977) informaron que la concentración de licopeno resultó inferior en fruta, que se maduró a 32°C en comparación a fruta madurada a 21°C. Cada variedad de tomate tiene un potencial de expresión, pero este puede ser modificado por el ambiente. La formación de licopeno depende del rango de temperaturas en que ocurra este proceso, el cual se realiza entre los 12 y 32°C y es restringida por el exceso o defecto de luz que incide sobre los frutos (Plana *et al.*, 2008). En el rango de temperaturas favorables (22-25°C), la síntesis de licopeno y demás carotenos pueden aumentarse con una suplementación en la iluminación del fruto del tomate durante el estadio de maduración. Por lo tanto, se puede suponer que enfriamiento adicional de un invernadero durante las horas más altas de radiación solar en los meses de verano, puede ayudar a aumentar el contenido de licopeno en el fruto (McCollum, 1954).

El efecto que tiene la temperatura sobre el contenido de carotenoides en el tomate es significativo. Temperaturas por debajo de 12°C inhiben fuertemente la biosíntesis de licopeno, mientras que temperaturas sobre 32°C la detiene totalmente (Leoni, 1992). Las altas temperaturas (35°C) inhiben específicamente la acumulación de licopeno estimulando la conversión de licopeno a β -caroteno (Dumas *et al.*, 2003).

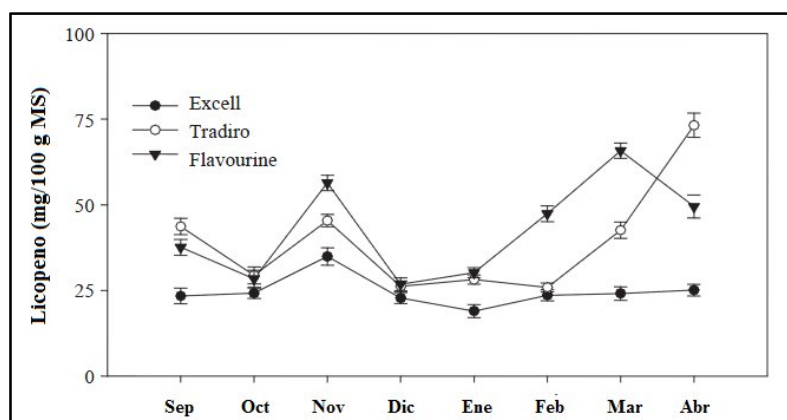


Figura 4. Variación de licopeno en diferentes momentos del año. Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

Los fenoles totales en los tomates (Figura 5) durante el período de estudio variaron entre 169 a 487 (Excell), 195 a 579 (Tradiro) y 173 a 482 mg GAE/100 g MS (Flavourine). El promedio de los compuestos fenólicos totales de los tres cultivares fue 62% mayor en las muestras recolectadas durante el verano (Diciembre-Febrero), que los muestreados en primavera (Septiembre-Noviembre). Esto es debido a un aumento en la cantidad de radiación ultravioleta, asociada con un aumento de la radiación solar recibida por las plantas. El aumento de la temperatura y el aumento de la edad de las plantas pueden haber causado también una acumulación de compuestos fenólicos. Durante marzo y abril, el contenido promedio de fenoles totales fue 72% mayor (Cuadro 2) que el promedio fenólico cuantificado durante los meses anteriores. El rendimiento de los frutos se redujo después de un corte de las puntas en crecimiento, efectuado a fines de Febrero. Esto pudo haber causado estrés fisiológico, el que pudo haber dado lugar a una mayor acumulación de compuestos fenólicos durante marzo y abril (Toor *et al.*, 2006). Hunt y Baker (1980) también reportaron que la luz estimuló la

producción de ácidos fenólicos y flavonoides en las cutículas del fruto de tomate. Ellos informaron que este efecto fue más pronunciado para los frutos que recibieron un suplemento de luz roja. La luz aumenta la tasa de biosíntesis de compuestos fenólicos en plantas por aumento de las actividades enzimáticas, especialmente fenilalanina amonio liasa (PAL) que desempeña un importante papel en la conversión de fenilalanina (formado a partir de lavía del ácido shikímico) en ácido cumárico, que es la primera molécula precursora que participa en la síntesis de los componentes fenólicos en plantas (Smith, 1973). Al respecto, se ha informado que tomates cultivados en campo recibirán mayor cantidad de luz y radiación ultravioleta. Estos contienen una mayor cantidad de flavonoides (quercetina y kaempferol) que los tomates cultivados en invernadero (Davies y Hobson, 1981). Howard *et al.*, (2002) reportaron una disminución del 50% en fenoles totales en espinacas cultivadas durante el otoño, en comparación con espinacas producidas en primavera.

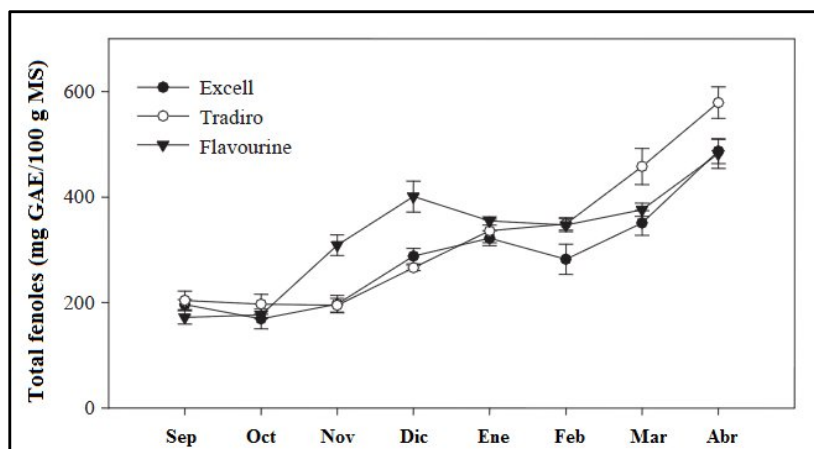


Figura 5. Variación del total de fenoles en diferentes momentos del año. Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

Toor *et al.*, (2006) observaron que el contenido de ácido ascórbico de tomate (Figura 6) varió desde 165 a 225 (Excell), 190 a 243 (Tradiro) y 184 a 252 mg/100 g MS (Flavourine). El contenido de ácido ascórbico se ha informado varía de 7 a 23 mg/100 g PF (Dumas *et al.*, 2003), mientras que en condiciones de campo, el ácido ascórbico varía de 17 a 22 mg/100 g PF en diferentes cultivares (Abushita *et al.*, 2000). En invernadero generalmente se encuentran menores

niveles de ácido ascórbico que aquellos cultivados al aire libre debido a la menor intensidad de la luz recepcionada (Dumas *et al.*,2003). Hamner *et al.*, (1945) informaron de que la mayor influencia en el contenido de ácido ascórbico en tomate, es producido por las variaciones en la intensidad de la luz durante el período justo antes de la maduración de las frutas. Ellos señalaron que frutos maduros producidos bajo sombra poseían bajo contenido de ácido ascórbico (15,5mg/100 g PF) en comparación con frutos producidos bajo condiciones de sol (25,8mg/100 g PF), y sugirieron que es deseable cosechar la fruta después de unos días de sol radiante, así se obtendrán máximos contenidos de ácido ascórbico.

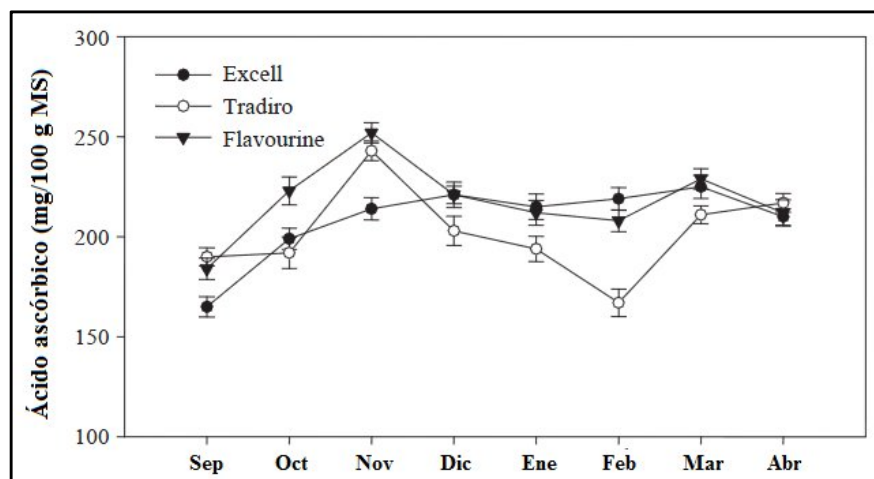


Figura 6. Variación del ácido ascórbico en diferentes momentos del año. Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

La actividad antioxidante soluble (Figura 7) de los tres cultivares durante el período de estudio, varió entre 1684 a 2035 (Excell), 1804 a 2923 (Tradiro) y desde 1704 a 3340 mM TEAC/100 g MS (Flavourine). Para los tres cultivares, un aumento en la radiación solar y temperatura tuvo un efecto positivo y significativo en la actividad antioxidante. El promedio de la actividad antioxidante de los tres cultivares fue 39% más alto en el verano (Diciembre-Febrero) que en primavera (Septiembre-Noviembre). La actividad antioxidante de todos los cultivares fue en aumento con la disminución de la carga de fruta después del corte del ápice a fines de Febrero. De esta forma durante marzo y abril, la actividad antioxidante en tomate fue 27% más alta que en otras épocas del estudio. Se observó una correlación positiva significativa entre la actividad

antioxidante y el contenido fenólico total. La mayor actividad antioxidante en los meses de verano se relaciona con el mayor contenido fenólico total que aumentó con la creciente radiación solar y temperatura (Toor *et al.*, 2006). Al respecto, Olsson *et al.*, (1998) informaron de que el grado medio de hidroxilación de flavonoides también se incrementó en condiciones de mucha luz, y esto lleva a un aumento en la actividad antioxidante. Howard *et al.*, (2002) reportaron una disminución del 21% en la actividad antioxidante de espinacas crecidas en otoño en comparación con espinacas producidas en primavera.

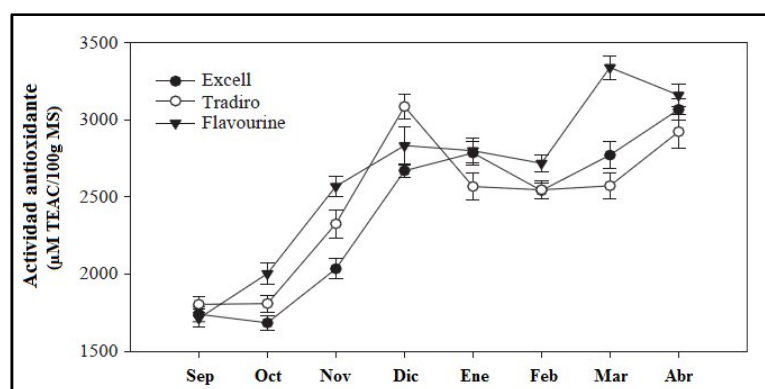


Figura 7. Variación de la actividad antioxidante en diferentes momentos del año. Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

Cuadro 2. Composición promedio antioxidante de las tres variedades de tomate durante el período de estudio.

Época del año	Fenoles (mg GAE/100 g MS)	Licopeno (mg/100 g MS)	Ácido ascórbico (mg/100 g MS)	Actividad antioxidante (μ M TEAC/100 g MS)
Septiembre	191 a	35 ad	180 a	1753 a
Octubre	181 a	27 b	205 bc	1832 a
Noviembre	234 b	46 ce	236 f	2310 b
Diciembre	318 c	25 b	215 de	2864 c
Enero	338 c	26 b	207 bcd	2718 d
Febrero	326 c	32 d	198 b	2603 d
Marzo	395 d	44 c	222 e	2895 e
Abril	516 e	49 e	213 cde	3051 f

Promedios con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes a un nivel de probabilidad de 0,05. Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

Al respecto Rosales *et al.*, (2006) evalúan los efectos producidos por la radiación global y la temperatura sobre el cultivar Naomi, crecido en invernadero en España. Tres muestras de fruta fueron tomadas sobre la producción completa. La primera toma de muestra fue realizada el 7 de enero de 2004, la segunda el 22 de marzo y la tercera el 30 de mayo. Los valores de temperatura y radiación solar total acumulada alcanzaron un máximo en el tercer muestreo, sin reducción del rendimiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Temperatura del aire, valores acumulados de radiación solar registrados dentro del invernadero experimental y producción de frutos de tomate cherry en tres diferentes etapas de la producción muestreada.

Días después del trasplante	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Radiación solar (MJ/m ²)	Producción (Kg/m ²)
85	27,2 b	11,4 b	589	1,06 a
160	26,7 b	12 b	1232	1,11 a
229	35,9 a	15,4 a	2190	1,06 a

Los valores seguidos por la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Duncan (DMRT) a $p \leq 0,05$. Adaptado: Rosales *et al.*, (2006).

En cuanto a la actividad antioxidante en la fracción del exocarpo de los frutos de tomate cereza, los resultados mostraron que el aumento de la temperatura y la radiación solar, disminuye

el contenido de licopeno y β -caroteno en el tercer muestreo (Cuadro 4), donde se registró la temperatura y radiación solar más alta, con inducción de pigmentación defectuosa (escaldaduras). Esto ocurrió simultáneamente con un aumento en la peroxidación de lípidos (Cuadro 5), cuantificado en la actividad de la enzima lipoxigenasa (LOX) y el contenido de malondialdehído (MDA). El aumento de los lípidos por oxidación a 229 días después del trasplante, indica claramente el estrés oxidativo, provocado por las altas temperaturas y la radiación solar intensa, lo que podría explicar la disminución del contenido de carotenoides como el licopeno y β -caroteno y de ahí la aparición de daño solar. En condiciones de estrés ambiental, la generación de especies reactivas del oxígeno es responsable por los daños a las macromoléculas y a la estructura de la célula. El análisis de la peroxidación lipídica, expresada como actividad LOX y MDA indica la prevalencia y la activación de especies reactivas del oxígeno en los tejidos como consecuencia del estrés oxidativo (Rosales *et al.*, 2006).

Cuadro 4. El contenido de compuestos antioxidantes en la fracción del exocarpo en frutos de tomate cherry, en tres etapas de la producción de fruta.

Días después del trasplante	Licopeno ($\mu\text{g/g}$ PF)	β -caroteno ($\mu\text{g/g}$ PF)	Antocianinas (absorbancia/g PF)
85	19,8 a	7,37 a	0,026 a
160	17,1 a	7,66 a	0,026 a
229	12,1 b	5,76 b	0,023 a

Los valores seguidos por la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Duncan (DMRT) a $p \leq 0,05$. Adaptado: Rosales *et al.*, (2006).

Cuadro 5. Peroxidación lipídica en fracción del exocarpo de tomate cherry en tres etapas de producción de fruta durante el ciclo del cultivo.

Días después del trasplante	LOX (U/g PF)	MDA (nmol/g PF)
85	23,2 b	80,7 b
160	24,4 b	76,3 b
229	36,7 a	104,9 a

Los valores seguidos por la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Duncan (DMRT) a $p \leq 0,05$. Adaptado: Rosales *et al.*, (2006).

Es conocido que en tejidos expuestos a altas temperaturas, se deprime la síntesis de licopeno, y se estimula la degradación de β -caroteno, debido a la presencia de especies activas del oxígeno (Foyer *et al.*, 2005). Además, una mayor actividad de la enzima lipoxigenasa (LOX) en estas condiciones intensifica la peroxidación de lípidos, provocando muerte celular y la subsiguiente necrosis del tejido (Mittler, 2002). Por otro lado, específicamente en el exocarpo, los informes señalan que la fuerte radiación solar bloquea la acumulación de licopeno, resultando zonas decoloradas, comúnmente conocidas como mancha solar. Estas manchas son anulares y de color amarillo anaranjado, aparecen rodeando la zona de abscisión, siendo esto, el resultado de síntesis de licopeno reducida, o bien la oxidación de este a β -caroteno. Estos resultados coinciden con hallazgos previos sobre frutos de tomate, donde 32°C y temperaturas más elevadas inducen la degradación de licopeno en tomate cherry, alcanzando su punto máximo en las frutas entre 17 y 26°C (Dumas *et al.*, 2003).

El contenido y la síntesis de β -caroteno se ha demostrado disminuyen desde 40°C hacia arriba (Gautier *et al.*, 2005). Por otro lado, la radiación solar tiene un fuerte efecto sobre el contenido de carotenoides. La exposición de los frutos de tomate a la radiación solar intensa, recalienta la superficie, inhibiendo la síntesis de carotenoides y causando decoloración (Dumas *et al.*, 2003).

En relación con el metabolismo de ascorbato, la temperatura más alta y la fuerte radiación solar en el tercer muestreo, aumentaron la oxidación del ascorbato reducido (AsA Red) a dehidroascorbato (DHA), debido a la intensificación de las enzimas ascorbato peroxidasa (APX) y ascorbato oxidasa (AO), que catalizan esta reacción. Hubo una depresión en la actividad de la enzima dehidroascorbato reductasa (DHAR). Se sabe que este compuesto (AsA) está directamente implicado en la eliminación de especies reactivas del oxígeno a través del ciclo ascorbato/glutación o la vía de Halliwell-Asada y por lo tanto su metabolismo es determinante en las respuestas de adaptación a diferentes tipos de estrés. El compuesto principal de este ciclo es el ácido ascórbico (AsA), el cual puede inactivar peróxido de hidrógeno (H_2O_2), oxidándose, y generando en este proceso monodehidroascorbato (MDHA) a través de la enzima ascorbato

peroxidasa (APX). El MDHA puede regenerar nuevamente a ácido ascórbico mediante la acción de la enzima monodehidroascorbato reductasa (MDHAR) o se puede transformar en dehidroascorbato (DHA), que se reduce por la acción de la enzima dehidroascorbato reductasa (DHAR) para producir nuevamente AsA (Foyer y Noctor, 2005).

Por otra parte, el ácido ascórbico (AsA) puede ser transportado hacia el apoplasto, sitio de la enzima ascorbato oxidasa (AO), que lo transforma en MDHA y DHA. Este DHA es luego transportado al citoplasma y se reduce nuevamente a través de la acción de DHAR a AsA (Green y Fry, 2005).

El cuadro 6 proporciona los valores de las diferentes formas de ascorbato y la actividad de las diferentes enzimas que controlan su oxidación y regeneración a la forma reducida. Como se refleja en esta tabla, la concentración de ascorbato total aumentó significativamente en el tercer muestreo con respecto a los muestreos anteriores, ya que el dehidroascorbato (DHA) aumentó en la última toma de muestras y la forma reducida de AsA (ácido ascórbico) se mantuvo constante en los tres muestreos. Esta acumulación de dehidroascorbato (DHA) en el tercer muestreo coincide, además, con alto nivel de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en el exocarpo de los frutos, asociado al estrés oxidativo, que explica en cierta medida, el aumento de las actividades de las enzimas APX y MDHAR, que participan en su desintoxicación. De ahí el aumento de la oxidación de AsA a los 229 días después del trasplante se explica claramente por las actividades de APX y AO en este muestreo (Rosales *et al.*, 2006).

En contraste, la regeneración de la AsA a partir de DHA fue inhibida en el tercer muestreo seguramente porque la actividad control de este proceso (DHAR) disminuyó significativamente en la muestra. Sin embargo, entre el segundo y tercer muestreo, se detectó una mayor actividad de la enzima MDHAR, que colaboró en la regeneración de AsA a los 229 días después del trasplante. Los resultados para el aumento de las actividades de las enzimas APX y AO y por lo tanto la acumulación de DHA, indican condiciones de estrés en el tercer muestreo, induciéndose así la desintoxicación de especies reactivas del oxígeno. Sin embargo, la reducción

de la regeneración de AsA por las enzimas DHAR y MDHAR a 229 días después del trasplante, podría perjudicar la capacidad de adaptación de las frutas a altas temperaturas y fuerte radiación solar (Rosales *et al.*, 2006).

En resumen, el aumento de la oxidación de AsA por APX en la fracción de exocarpo de los frutos de tomate, bajo condiciones de estrés ambiental a los 229 días después del trasplante, podría constituir una respuesta eficaz para el impedimento del grave daño oxidativo. Esto podría explicar la ausencia de variaciones en rendimiento durante el período de estudio. Sin embargo, la regeneración mínima de ácido dehidroascórbico (DHA) bajo condiciones de estrés podría causar perjuicio, como la degradación de los carotenoides (licopeno y β -caroteno), y por lo tanto, la aparición de mancha solar y disminución de la calidad nutricional y comercial. Por último, a pesar de la reducción mínima de DHA por las enzimas DHAR y MDHAR en el tercer muestreo, la concentración de ácido ascórbico reducido se mantuvo. En virtud de las condiciones de estrés ambiental en la disminución de las actividades de DHAR y MDHAR, se provocaría una respuesta alternativa en la planta, sucediendo nueva síntesis de AsA a partir de sus precursores (D-glucosa-6P). Esto explica que en el tercer muestreo, a pesar del aumento de la actividad APX y la depresión de DHAR y MDHAR, el nivel de ácido ascórbico reducido se mantuviera constante (Rosales *et al.*, 2006).

Cuadro 6. Parámetros del metabolismo del ácido ascórbico en fracción del exocarpo en frutos de tomate cereza, en tres etapas del período de producción de frutas.

DDT	AsA Total (mmol/g PF)	AsA Red (mmol/g PF)	DHA (mmol/g PF)	H ₂ O ₂ (μ mol/g PF)	APX (μ mol AsA oxidado/g PF/min)	DHAR (μ mol DHA reducido/g PF/min)	MDHAR (nmol NADH oxidado/g PF/min)	AO (nmol AsA oxidado/g PF/min)
85	2,72 b	2,23 a	0,49 b	60,9 b	0,61 b	6,26 a	85,4 a	0,35 b
160	3,12 ab	2,01 a	1,11 a	51,1 b	0,68 ab	1,60 b	34,0 c	0,31 b
229	3,72 a	2,17 a	1,55 a	72,7 a	0,78 a	1,34 b	60,9 b	0,43 a

DDT: Días después del trasplante. Min: minuto. Los valores seguidos por la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Duncan (DMRT) a $p \leq 0,05$. Adaptado: Rosales *et al.*, (2006).

Al respecto Torres *et al.*, (2006) observaron que tanto con o sin radiación ultravioleta, el fruto del tomate expuesto durante 5 horas a una radiación solar elevada presentaba un 30% menos de ascorbato reducido (AsA red) y un 20% menos de dehidroascorbato (DHA) en el epicarpio, sugiriendo una degradación parcial del *pool* total de ascorbato.

Tal como señalan Saavedra y Ciudad (2006), el tomate hace frente a la radiación ultravioleta, como un mecanismo de defensa aumentando su contenido antioxidante, esto es respaldado por Luthria *et al.*, (2006) quienes demuestran el efecto de la radiación ultravioleta sobre el contenido de polifenoles en tomates cultivados en un invernadero. Uno de los invernaderos contaba con una cubierta, que transmitía la radiación en el rango de 290 a 400 nm (designado + UV), comparándose su efecto con una cubierta que permitía el paso de radiación sobre 380 nm (designado - UV). Quedo de manifiesto el aumento en el contenido de ácidos fenólicos y total fenólico en los tomates expuestos a radiación solar ultravioleta ambiente (290-400 nm). Estos poseían aproximadamente un 20% más (Figura 8) de ácidos fenólicos (ácido cafeico, p-cumárico y ácido ferúlico) y un 10-16% más (Figura 9) del contenido en fenoles totales que frutos crecidos bajo condiciones de exclusión de luz ultravioleta (UV).

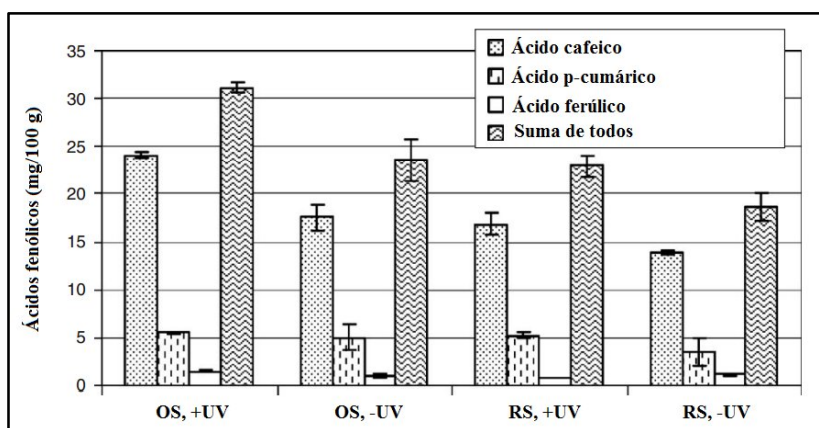


Figura 8. Determinación del contenido de ácidos fenólicos en tomate “Oregón Primavera” (OS) y “Red Sun” (RS) usando el método de cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC). Frutos obtenidos de las plantas cubiertas con un transmisor de UV (+ UV) o un UV bloqueador (-UV). Adaptado: Luthria *et al.*, (2006).

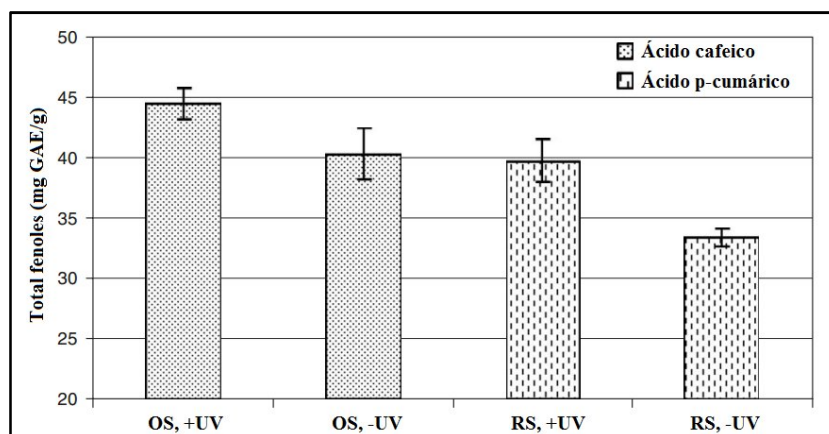


Figura 9. Estimación de ácidos fenólicos totales en extractos de frutos de “Oregon Spring” (OS) y “Red Sun” (RS), utilizando el procedimiento de Folin-Ciocalteu. Adaptado: Luthria *et al.*, (2006).

Como ya se ha mencionado bajo una radiación solar excesiva o ultravioleta de sólo unas pocas horas se podría producir un daño foto oxidativo o foto inhibición y reducir la síntesis de licopeno. Al respecto, Torres *et al.*, (2006) observaron un descenso en los carotenoides totales después de 5 horas de exposición a radiación ultravioleta (UV). Es por eso que los tomates cultivados al aire libre requieren de una buena cubierta de follaje, para proteger los frutos de la exposición directa al sol, y evitar así quemaduras o mancha solar (Dumas *et al.*, 2003). Al respecto, el follaje denso de la planta de tomate es recomendable, ya que la síntesis de licopeno está ligada a la exposición medida de radiación solar y luz ultravioleta (ENCICLOPEDIA DE NUTRACEUTICOS, 2012).

La luz no es necesaria para la maduración del tomate cuando es recogido en el estado pre climatérico, la exposición del fruto a un fotoperiodo de 8 horas no da lugar a niveles de licopeno tan elevados como los de los frutos con 24 horas en exposición (Cox *et al.*, 2003).

Últimamente, se ha comprobado que la calidad de la luz también es un factor determinante en la calidad nutricional del fruto. La luz roja estimula la acumulación de carotenoides en el tomate (Figura 10), mientras que la luz roja lejana reduce la producción de carotenoides como el licopeno, por la inactivación de fitocromos-localizados (Alba *et al.*, 2000). La luz emitida por lámparas Gro-Lux es predominantemente en la región del rojo, esta se

ha informado ser más eficaz para estimular la producción de carotenoides que la emitida por las lámparas blancas frías, que tienen muy poca luz en la región roja (Thomas y Jen, 1975).

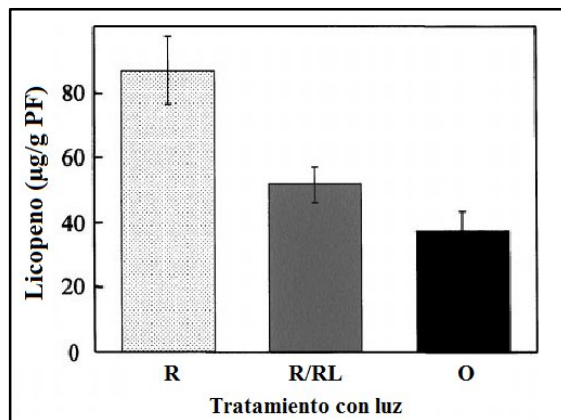


Figura 10. Después de la cosecha, la fruta recibió tres tratamientos de luz: R: 5 minutos de luz roja. R/RL: 5 minutos de luz roja seguida de inmediato por 15 minutos de luz roja lejana, el tratamiento O: fruta madurada en oscuridad. Adaptado: Alba *et al.*, (2000).

Gautier *et al.*, (2004) constatan este efecto en distintos tratamientos con filtración de determinadas bandas lumínicas (Cuadro 7). Se determina que durante la maduración del fruto, aumentando la filtración de radiación fotosintéticamente activa (Figura 11) y más concentradamente la luz azul (Figura 12), se produce incremento en el contenido de licopeno.

Cuadro 7. Efecto de la infiltración de distintos rangos lumínicos en el contenido de vitamina C y licopeno.

Infiltración de luz (%)	Luz FA (350–700 nm)	Luz azul (350–500 nm)	Luz roja (600–700 nm)	Luz infrarroja (700–1100 nm)	Azúcar (g/100 g PF)	Vitamina C (mg/100 g PF)	Licopeno (mg/100 g PF)
Tratamiento							
Sin filtro	100	100	100	100	7,2±0,2 a	52,9±3,5 ab	5,20±0,61 ab
Filtro transparente	97	96	98	98	7,0±0,2 a	55,6±4,1 a	5,63±0,55 a
Filtro plateado perforado	28,5	28	29	29	6,5±0,3 b	45,3±6,9 b	3,98±0,48b
Filtro verde	27	42	6	90	6,8±0,2 ab	50,0±2,3 ab	4,74±0,55 ab
Filtro rojo	29	0	64	94	7,2±0,3 a	56,8±4,7 a	4,47±0,49 ab
Filtro oscuro	3	0	3	93	6,9±0,2 ab	55,8±2,8 a	4,00±0,67b

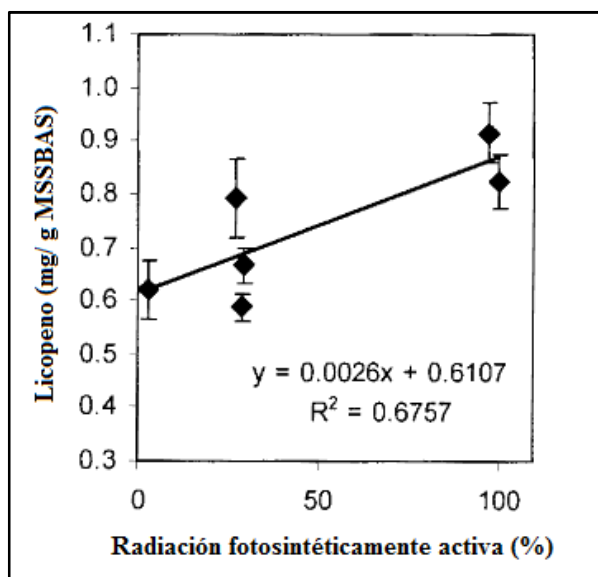


Figura 11. Efecto de la radiación fotosintéticamente activa sobre el contenido de licopeno. MSSBAS: materia seca sin base de azúcares solubles. Adaptado: Gautier *et al.*, (2004).

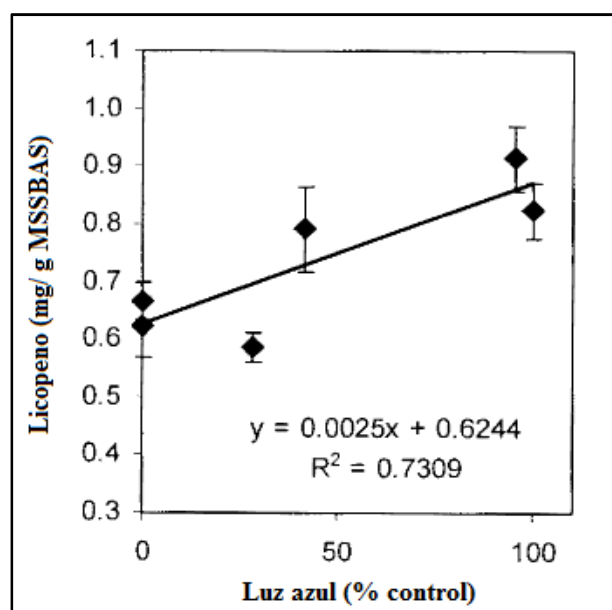


Figura 12. Efecto de la luz azul sobre el contenido de licopeno. MSSBAS: materia seca sin base de azúcares solubles. Adaptado: Gautier *et al.*, (2004).

Los contenidos más altos de licopeno se detectaron en las frutas crecidas sin un filtro y en el marco del filtro transparente. Esto confirma la conclusión de Khudairi (1972), donde el nivel de licopeno más alto se obtiene bajo la exposición solaral completo espectro. Gautier *et al.*, (2004) obtuvieron más rápidamente frutos maduros en aquellos tratamientos donde la llegada de luz roja era mayor. Esto está de acuerdo con el hallazgo de Khudairi (1972), quien determinó que las frutas maduran más rápidamente bajo la luz roja debido a una foto destrucción mayor de clorofila y una mayor acumulación de carotenoides (Thomas y Jen 1975). En tanto los frutos cosechados bajo el filtro verde, se retrasó la maduración, ya que este simulaba la sombra producida por el follaje.

Gautier *et al.*, (2004) demostraron que el contenido en ascorbato incrementa con la exposición de luz infrarroja de 700-1100 nm (Cuadro 7). Esta respuesta podría ser debida a un efecto combinado de la calidad espectral y la temperatura del fruto, que afecta al metabolismo de los azúcares y consecuentemente al contenido en ascorbato. En relación a la temperatura la luz infrarroja calienta el fruto, aumentando a su vez su metabolismo, por consiguiente, este requerirá

o demandara mayor cantidad de carbohidratos o energía a partir de la fuente (follaje), por lo tanto, dentro de este habrá mayor *input* de carbohidratos que le permitan sintetizar vitamina C.

Aunque la luz no es esencial en la síntesis de ascorbato, la cantidad y la intensidad de luz durante la estación de crecimiento influyen en su contenido en el fruto, ya que el ascorbato se sintetiza a partir de azúcares suministradas a través de la fotosíntesis (Lee y Kader, 2000). De hecho, existe una correlación positiva entre el contenido de azúcares del fruto y el contenido en ascorbato (Gautier *et al.*, 2005).

De forma contraria la biosíntesis de flavonoides en el fruto maduro es un proceso dependiente de la luz (Lancaster, 1992), que requiere de una señal fotomorfogénica mediado por foto receptores. Así, varios autores han sugerido la participación en este proceso de foto receptores UV-B, fitocromos o criptocromos (Giliberto *et al.*, 2005). Por ello, para promover la producción fotosintética de carbohidratos se necesita de una energía suficiente de luz, ya que los carbohidratos son sustrato en la biosíntesis de flavonoides a través de las rutas del ácido shikímico y fenilpromanoide. La formación de flavonol-glucósidos como kaempferol y quercetina también requieren luz, pero no toda la síntesis de fenoles es sensible a la luz (Rosales, 2008).

3.2 Variedad.

Se ha evidenciado que las fuentes de mayor contenido antioxidante se encuentra en variedades silvestres. Dentro de ellas se encuentra *Solanum pimpinellifolium* L. Esta especie es un pariente silvestre del tomate doméstico, produce frutas pequeñas, que contienen 40 veces más licopeno que los tomates regulares y son considerados para la crianza de nuevos híbridos de tomate (Hedges y Lister, 2005). En ensayos previos, se ha visto que los niveles de vitamina C varían considerablemente según la especie considerada (desde 80 mg/Kg peso fresco en

variedades cultivadas hasta 1.113 mg/Kg peso fresco en *Solanum pimpinellifolium* L. (Galiana-Balaguer *et al.*, 2001).

En cuanto a los carotenoides se han observado grandes variaciones entre distintos cultivares de tomate (el beta caroteno varía de 0,5 a 20 mg/kg peso fresco y el licopeno de 8 a 250 mg/kg peso fresco (Chandra y Ramalingam, 2011). Normalmente, los tomates contienen cerca de 3 a 5 mg de licopeno por 100 g de material crudo, mientras que las variedades amarillas contienen sólo cerca de 0,5 mg/100 g peso fresco (Waliszewski, 2010). El licopeno se relaciona con la rojez del tomate, algunos cultivares, tales como los amarillos y los “larga vida” (con las características de maduración lentas, criadas para cultivares de mercado), son las que contienen cantidades mínimas de licopeno (Adalid *et al.*, 2010). Nuñez (2012), señala que el tomate Jubilé (variedad amarilla), contiene solo trazas de licopeno y poco β -caroteno a diferencia del tomate rojo, el cual contiene hasta 150 veces más licopeno y 4,5 veces más de β -caroteno. Sin embargo, la dulzura y el contenido de vitamina C son prácticamente iguales entre los tomates de color amarillo y rojo.

El origen exacto del tomate cultivado permanece sin resolver; no obstante, en México la especie continua diversificándose en los trópicos y subtrópicos, donde es conocida como tomatillo (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*) o con otros nombres locales, como reportó Jenkins (1948). Este corresponde a un tomate de tamaño pequeño tipo cereza. Particularmente, el tomate cereza (“Cherry”) tiende a generar valores nutricionales y antioxidantes más acentuados que los tomates de tipos Saladette y Bola, proporcionándole un sabor característico.

Raffo *et al.*, (2002) determinaron concentraciones de licopeno de 141 mg/100 g en base peso seco por cromatografía líquida en la variedad tipo “Cherry”, cultivar Naomi F1. George *et al.*, (2004) por espectrofotometría encontraron una variación en licopeno de 3,78 a 6,94 mg/100 g y de 2,04 a 5,22 mg/100 g en base peso fresco en tres variedades tipo “Cherry” y ocho variedades tipo Saladette y Bola, respectivamente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Variaciones en el contenido de licopeno según el genotipo.

Variedades	Contenido de Licopeno (mg/100g)			
	Epidermis		Endodermis	
	PBF	PBS	PBF	PBS
*818 cereza	14,1 (1)	115 (1)	6,9 (1)	81,9 (6)
DT-2	8,1 (8)	81,1 (9)	5,2 (2)	125 (1)
*BR -124 cereza	10,2 (5)	90,8 (6)	4,8 (3)	76,8 (5)
5656	10,7 (4)	104 (4)	4,0 (4)	90,9 (4)
7711	9 (7)	87,9 (7)	4,3 (5)	106 (2)
Rasmi	10,8 (3)	99 (5)	4,3 (6)	101 (3)
Pusa Gaurav	10,2 (6)	107 (3)	3,9 (7)	84,3 (5)
*T56 cereza	12,0 (2)	109 (2)	3,7 (8)	54 (10)
DTH-7	4,8 (12)	63,3 (11)	2,7 (9)	57,2 (9)
FA-180	7,6 (9)	82,4 (8)	2,4 (10)	63,6 (7)
FA-574	6,1 (11)	68,0 (10)	2,1 (11)	54 (10)
R-144	6,2 (10)	72,1 (9)	2,0 (12)	51,1 (12)

Los valores, son medias de tres muestras hechas dos veces. Los valores entre paréntesis representan el orden de graduación. PBF: Peso básico fresco PBS: Peso básico seco. *Cereza: variedades pequeñas (*Lycopersicon pimpinellifolium*). Adaptado: George *et al.*, (2004).

Riadh *et al.*, (2011) estudiaron la actividad antioxidante en seis cultivares de alto contenido de licopeno (Lyc0 1, Lyc0 2, HLY 02, HLY 13, HLY 18 y Kalvert) versus uno tradicional (Donald) en el sur de Italia en condiciones de campo (Figura 13), encontrando en todos los cultivares de tomate de alto licopeno, con la excepción de Kalvert, una mayor cantidad de total de vitamina C (particularmente HLY 13, Lyc0 2 y HLY 18) que en el cultivar Donald (Figura 14). Estos resultados proporcionan evidencia adicional de que un fenotipo de alto licopeno, determina o va acompañado en algunos de los nuevos cultivares, en un aumento dramático en la producción de importantes antioxidantes, tales como vitamina C. En este estudio, el contenido de flavonoides en HLY 18, HLY 13, Lyc0 1 y Kalvert eran 2,1 a 3,5 veces mayor que en el cv Donald. Las variaciones se pueden atribuir a los rasgos de alto licopeno. De hecho, se ha informado de que en mutantes de alto pigmento, el aumento en el contenido de carotenoides, es acompañado por una elevada biogénesis de plástidos y síntesis de otros compuestos tales como los flavonoides y vitamina C (Kolotilin *et al.*, 2007).

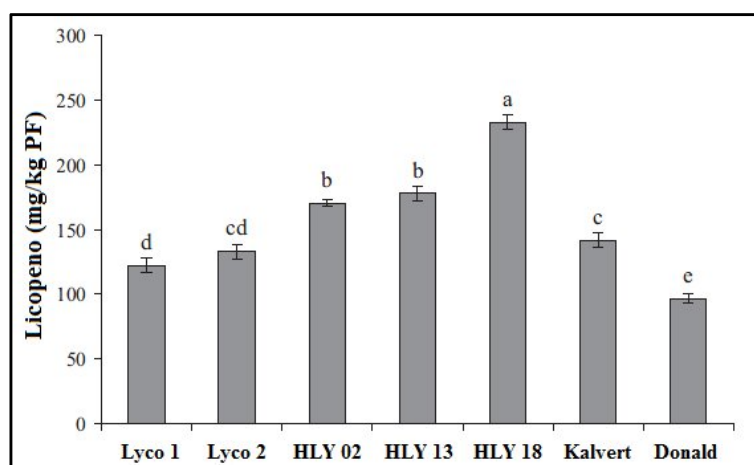


Figura 13. Contenido de licopeno en un cultivar ordinario (Donald) y seis cultivares de alto licopeno cultivados a campo abierto. Los valores representan la media $\pm$ E.E. de tres repeticiones. Barras marcadas con las mismas letras no son significativamente diferentes (prueba LSD, $p < 0,05$). Adaptado: Riadh *et al.*, (2011).

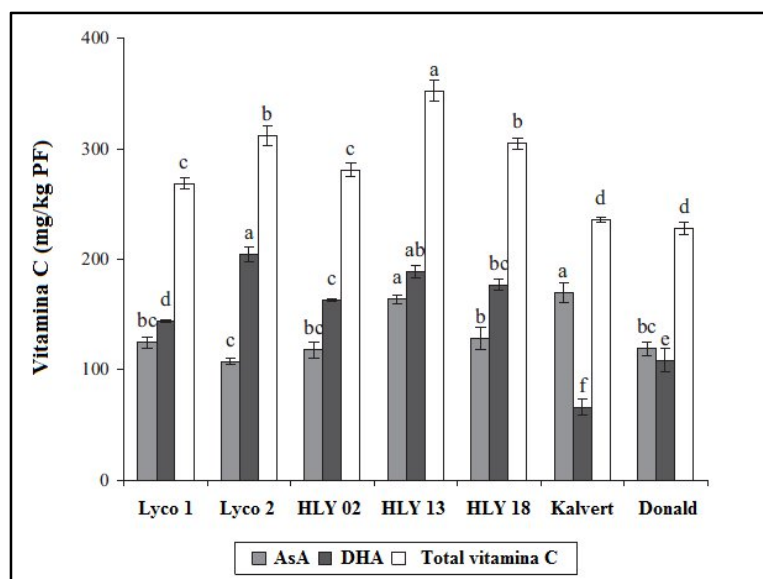


Figura 14. Á. ascórbico (AsA), Á. dehidroascórbico (DHA) y contenido total de vitamina C en un cultivar ordinario (Donald) y en seis cultivares de alto contenido de licopeno. Los valores representan la media $\pm$ E.E. de tres repeticiones. Barras marcadas con las mismas letras no son significativamente diferentes (prueba LSD, $p < 0,05$). Adaptado: Riadh *et al.*, (2011).

Adalid *et al.*, (2010) realizaron una investigación sobre 49 accesiones de germoplasma de tomate procedentes de 24 países. Fueron evaluadas 14 accesiones de tipos comunes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), 28 tomates cherry (de tipo *Solanum lycopersicum* var. cerasiforme L.) y 7 accesiones de especies de frutos pequeño (*Solanum pimpinellifolium* L.). Las accesiones de tomate tipo cereza o cherry presentaron el contenido más alto de ácido ascórbico, en particular la accesión BGV012627 (311 mg/L ASA) y BGV008354 (299 mg/L ASA). Estas accesiones presentaron más de 3 veces el contenido de ácido ascórbico que dos cultivares controles con niveles normales de ácido ascórbico y carotenoides, un híbrido comercial (85 mg/L ASA) y una línea experimental (91 mg/L ASA). En el caso del licopeno las accesiones de tomate tipo cherry BGV008148 (167 mg/Kg) y BGV006875 (117 mg/Kg) fueron 3,4 y 2 veces mayores, respectivamente, que el contenido del mejor control (49 mg/Kg). Sin embargo, la accesión más destacado para el contenido de licopeno fue BGV008166 (271 mg/Kg) encontrado en *Solanum pimpinellifolium* L.), con un contenido de 9,3 veces mayor que el control híbrido (29 mg/Kg) y 5,5 veces más alto que la línea experimental local (49 mg/Kg). Este nivel de licopeno significa que esta accesión podría ser un padre donante interesante en programas de mejoramiento para el desarrollo de nuevos cultivares (Cuadro 9). Por lo general los tomate tipo cereza siempre han mostrado un mayor contenido en licopeno que los tomates comunes con valores superiores del rango considerado normal (60 mg/kg). Por ejemplo cultivares como: Top Rubino, Placer del jardinero, Naomi y Lump Sugar presentan contenidos de 43, 48,9, 60 y 63,6 mg/kg, respectivamente (Lenucci *et al.*, 2006).

Cuadro 9. Especies que destacan por su alto contenido antioxidante.

Accesión	Licopeno (mg/kg)	AsA (mg/L)	Especie
CAMBRIA	29 ± 9	85 ± 29	<i>S. esculentum</i>
BGV012406	49 ± 13	91 ± 41	<i>S. esculentum</i>
BGV012627*	58 ± 0,5	311 ± 118	<i>S. esculentum</i> var. cerasiforme
BGV008354*	27 ± 1	299 ± 12	<i>S. esculentum</i> var. cerasiforme
BGV008148*	167 ± 2	85 ± 1	<i>S. esculentum</i> var. cerasiforme
BGV006875*	117 ± 4	132 ± 52	<i>S. esculentum</i> var. cerasiforme
BGV008166 *	271 ± 3	144 ± 23	<i>S. pimpinellifolium</i> .

*Deseable como padre donante en programas de cría por su alto contenido en un componente antioxidante. Adaptado: Adalid *et al.*, (2010).

Adalid *et al.*, (2010) revelaron dos grupos interesantes. El primer grupo (Cuadro 10) de las accesiones ideales incluye cinco accesiones de tomate tipo cereza (*Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme) y una accesión de *Solanum pimpinellifolium* L., lo que confirma informes anteriores, que indicaban que estas especies son las mejores fuentes de antioxidantes con propiedades nutraceuticas (George *et al.*, 2004). Las accesiones de tipo cereza incluidos en este primer grupo ideal (BGV008057, BGV006863, BGV012627, BGV008060 y BGV008354) son muy deseables para el consumo directo por su propiedad nutraceutica alta y equilibrada. Estos tomates generalmente se consumen crudos en ensaladas con aceite de oliva, lo que aumenta la biodisponibilidad de tales moléculas, y, por consiguiente, sus efectos benéficos sobre la salud humana (Bohm y Bitsch, 1999). La accesión *Solanum pimpinellifolium* L. (BGV008166) incluido en este grupo resultaría ser deseable como un padre donante en los programas de cría para aumentar el contenido de licopeno de las variedades comerciales. De manera similar las accesiones BGV012627 y BGV008354 tipo cereza también podrían ser utilizadas como padres donantes en los programas de cría para aumentar el contenido de ácido ascórbico de nuevas variedades.

Cuadro 10. Primer grupo de accesiones de tomate.

Accesión	Especie	Ácido ascórbico (mg/L)	Licopeno (mg/L)
BGV008057	2	231±27	78,9±0,2
BGV006863	2	162±33	89±2
BGV012627*	2	311±118	58±0,5
BGV008060	2	166±10	82±1
BGV008354*	2	299±12	27±1
BGV008166*	3	144±23	271±3

Especie: 2 = *S. esculentum* var. Cerasiforme; 3 = *S. pimpinellifolium*. * Deseable como padre donante en programas de cría. Adaptado: Adalid *et al.*, (2010).

Adalid *et al.*, (2010) exponen un segundo grupo ideal (Cuadro 11). Este grupo incluye dos accesiones de tomate común, 11 accesiones de tomate tipo cereza y dos accesiones de *Solanum pimpinellifolium* L. Todas estas accesiones están más allá de los contenidos medios de antioxidante. En este caso la accesión *Solanum pimpinellifolium* L. no es de ningún interés como padre donante potencial porque, a pesar de su contenido de antioxidante equilibrado, no es excepcional en al menos un contenido de antioxidante, lo que es una exigencia esencial para comenzar un programa de cría.

Cuadro 11.Segundo grupo de accesiones de tomate.

Accesión	Especie	Ácido ascórbico (mg/L)	Licopeno (mg/L)
BGV012406	1	91±4	49±13
BGV011512	1	127 ±13	1±1
BGV008148	2	85±1	167±2
BGV006875	2	132±52	117±4
BGV006923	2	113±28	88±7
BGV006777	2	145±5	102±2
BGV006923	2	113±28	88±7
BGV006777	2	145±5	102±2
BGV008109	2	164±18	88±0,2
BGV008224	2	196±4	92±0,4
BGV012640	2	212±45	11,7±0,1
BGV008061	2	234±41	60±3
BGV012639	2	200±45	18,4±0,1
BGV008230	3	134±37	7,7±0,6
BGV008068	3	30±1	120±11

Especie: 1 = *S. esculentum*; 2 = *S. esculentum* var. Cerasiforme; 3 = *S. pimpinellifolium*. Adaptado: Adalid *et al.*, (2010).

Adalid *et al.*, (2010) grafican los resultados obtenidos mediante un análisis biplot (Figura 15). El primer grupo de las accesiones ideales incluye todas las accesiones dentro del cuarto círculo. (Situado en el lado derecho del eje de AAE, y en consecuencia, con un contenido de antioxidantes en promedio mayor que los controles). El segundo grupo ideal incluye todas las accesiones dentro del quinto círculo concéntrico.

La línea con flecha única es la abscisa AAE lo que indica un promedio alto del contenido de antioxidantes. Así, la accesión BGV008166 presentó el mayor valor promedio de antioxidantes seguida de BGV008354, BGV008057, BGV012627; el control BGV012406 presentó un contenido de antioxidantes medio similar a la media global, y es por lo tanto una buena referencia de control situado cerca del origen del eje; BGV008008 (51) mostró el contenido promedio más bajo de antioxidantes. La línea con flecha doble es la ordenada AAE, la

cual indica un desequilibrio mayor en el contenido de antioxidantes en cualquier dirección. Así, BGV008166 (licopeno superior e inferior contenido de ácido ascórbico que la media) y BGV008354 (superior ácido ascórbico y menor contenido de licopeno que la media) fueron altamente desequilibrados mientras que BGV008060 fue altamente equilibrado (Adalid *et al.*, 2010).

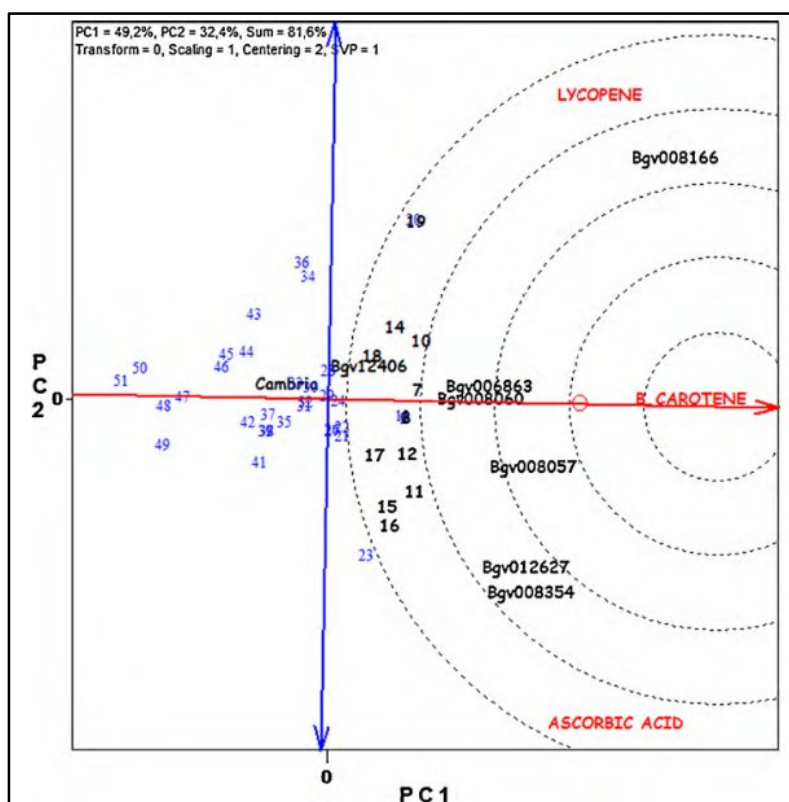


Figura 15. Evaluación de accesiones basada en una entrada ideal, con un alto y equilibrado contenido de antioxidantes (licopeno, β-caroteno y ácido ascórbico). Adaptado: Adalid *et al.*, (2010).

Arabbi *et al.*, (2004) constatan un mayor contenido de polifenoles en muestras de tomate cherry (Cuadro 12). Cantidades significativas de quercetina fueron detectadas en las muestras. En tomate Saladette y Caqui el compuesto quercetina se detectó en niveles de 0,5 y 1,3 mg/100 g PF, respectivamente. Sin embargo, tomates cherry presentaron un contenido mucho mayor de 4,2 mg de quercetina/100 g de PF. Estos resultados son similares a los encontrados por Crozier *et al.*, (1997), quienes observaron que la quercetina variaba mucho entre los cultivares normales (0,2 a 1,2 mg / 100 g de PF) y tomates cherry (0,2 a 20 mg/100 g de PF). Las clases principales identificados en las cutículas de las variedades de tomate fueron los derivados de la quercetina y la chalconaringenina. Los niveles de chalconaringenina fueron similares para tomate Saladette y tomate Caqui, pero en tomate cherry resultó 1,5 veces superior.

Cuadro 12. Contenido de flavonoides (mg/100g PF) en distintas muestras de tomate.

Muestra	%H ₂ O	Quercetina (mg/100g PF)	Chalconaringenina (mg/100g PF)	Total
Tomate Saladette var. Esculentum	94,1	0,5 ± 0,0	1,7 ± 0,1	2,2
Tomate Caqui cv. Momotaro	94,4	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,0	2,6
Tomate cherry var. Cerasiforme (Dunal)	91,6	4,2 ± 0,6	4,0 ± 0,2	8,2

Los valores representan la media ± D.E. Adaptado: Arabbi *et al.*, (2004).

3.3 Fertilización.

Los efectos de la disponibilidad hídrica, de los nutrientes minerales (nitrógeno, fósforo, potasio o calcio) y reguladores del crecimiento han sido estudiados también, pero los resultados son algunas veces contradictorios y a veces los datos están a menudo incompletos (Taber *et al.*, 2008). En general, la mayor disponibilidad de minerales en la matriz de intercambio del suelo resultará en frutas y hortalizas con mayor concentración de ascorbato, ácido fólico y carotenoides, a excepción del nitrógeno cuya concentración se asocia de forma negativa con la acumulación de ácido ascórbico (Lester, 2006).

Los primeros estudios en cuanto a fertilización han demostrado que el contenido de carotenoides en tomates incrementa con cantidades crecientes de potasio (K) en la solución nutritiva (Trudel y Ozbun, 1971). Los análisis obtenidos por estos autores en frutos, mostraron que los contenidos de licopeno aumentaron marcadamente con mayores aplicaciones de potasio, hasta un 56% (Cuadro 13). Los investigadores concluyeron que el licopeno es el pigmento más sensible a la deficiencia de potasio. Siendo este un cofactor esencial en la síntesis de proteínas, su deficiencia produce una reducción en las reacciones enzimáticas que intervienen en la síntesis de carotenos y precursores. Un estudio realizado en Texas revela que los contenidos de carotenoides en pomelo (licopeno y β -caroteno), y de vitamina C se incrementaron con la fertilización foliar en base nitrato de potasio (KNO_3). La fertilización con NPK también incrementó el contenido de licopeno y sólidos solubles (dulzor) en sandía en otro estudio llevado a cabo en Oklahoma (Dibb *et al.*, 2005).

Cuadro 13. Contenido de carotenoides (mg/kg PF) en tomate para mercado, en respuesta a los niveles de potasio (K) en la solución nutritiva.

Nivel de K (meq/L)	Total Carotenoides	Fitoeno	Fitoflueno	β -caroteno	Licopeno
0	72	11,8	4,1	3,5	36,8
1	75	12,7	4,1	3,6	41,9
2	91	16,2	5,4	3,1	53,6
4	92	15,2	4,9	2,8	52,7
6	110	14,7	5	2,8	59,3
8	111	15,1	4,8	2,6	61,5
10	104	16,3	5,3	2,4	52,4

Adaptado: Trudel y Ozbun (1971).

Constán-Aguilar *et al.*, (2012) realizan un ensayo y determinan que para un tratamiento de 5 mM KCl se consigue disminución del contenido en los derivados del ácido clorogénico y de la quercetina durante la post cosecha, esto en torno a un 20% y un 27% respectivamente (Cuadro 14). Por el contrario en el caso de un tratamiento con mayor nivel de fertilizante (15 mM KCl) la diferencia en la concentración de los derivados del ácido clorogénico entre la cosecha (T0) y 21 días post cosecha (T21) disminuía cerca de un 5% y los de la quercetina aumentaron en torno a un 15%.

Cuadro 14. Efecto de los tratamientos de KCl sobre el contenido en algunos fenoles en frutos de tomate cherry en cosecha y después de 21 días de postcosecha en almacenamiento en frío a 4°C.

Días	KCL (nM)	Derivados del ácido clorogénico (mg/kg PS)	Derivados de la quercetina (mg/kg PS)
0	5	2,30 $\pm$ 0,12	3,80 $\pm$ 0,19
	10	2,81 $\pm$ 0,24	3,68 $\pm$ 0,41
	15	2,40 $\pm$ 0,10	3,15 $\pm$ 0,14
21	5	1,85 $\pm$ 0,21	2,76 $\pm$ 0,11
	10	2,50 $\pm$ 0,19	3,32 $\pm$ 0,12
	15	2,30 $\pm$ 0,17	3,55 $\pm$ 0,52

Los valores son medias (n = 9) y las diferencias entre las medias se compararon mediante la prueba de Fisher diferencia menos significativa (LSD, p = 0,05). Adaptado: Constán-Aguilar *et al.*, (2012).

Estos datos sugieren que una fertilización con 15 mM KCl podría ser beneficiosa durante la post cosecha en frío del tomate cherry puesto que mantendría los niveles de los fenoles, lo cual podría evitar, por su acción antioxidante y protectora, una drástica reducción del porcentaje de materia seca y pérdida de peso fresco (Constán-Aguilar *et al.*, 2012).

El uso de pequeñas cantidades de elementos traza como el selenio y plata, al ser absorbidos por la planta, desencadenan una respuesta oxidativa que, a su vez, se traduce en un incremento en la cantidad total de antioxidantes en las plantas (Cabrera de la Fuente *et al.*, 2006; Rosales-Velázquez *et al.*, 2006). En general se considera que el selenio se relaciona con el metabolismo antioxidante (Rayman, 2008) y se sabe que el selenito induce más efectivamente esta actividad que el selenato (Cartes *et al.*, 2005). Casi todos los cultivos, entre ellos el tomate, son del tipo denominado no acumulador de selenio, es decir, son plantas para las cuales más de 25 µg de selenio/1 g de peso seco de raíces y hojas resulta en toxicidad (White *et al.*, 2004). Al respecto Becvort-Azcurra *et al.*, (2011) determinan que la capacidad antioxidante de los frutos disminuye al aplicar selenio en concentración de 10 y 20 mg/L en solución fertilizante, pero aumento al aplicarlo en concentración de 2,5 y 5 mg/L. Las aspersiones foliares con 10 y 20 mg/L de selenio incrementaron igualmente la capacidad antioxidante total del fruto (Figura 16).

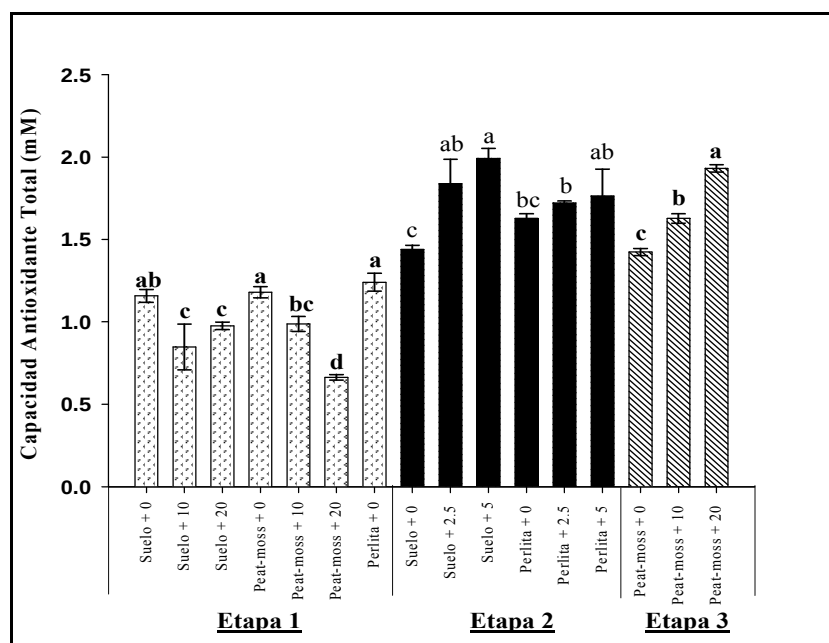


Figura 16. Efecto de la aplicación de selenio en la capacidad antioxidante total (TAS) de los frutos de tomate. Letras distintas en la misma etapa experimental indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0,05$). La Etapa 1 se refiere a la aplicación de selenio en la solución fertilizante en concentraciones de 0, 10 y 20 mg/L, usando tres sustratos: suelo, *peat moss* y perlita. La Etapa 2 se realizó aplicando selenio en la solución fertilizante en concentraciones de 0, 2,5 y 5 mg/L utilizando dos sustratos: suelo y perlita. La Etapa 3 se llevó a cabo aplicando 10 y 20 mg/L de selenio por aspersión foliar. Adaptado: Becvort-Azcurra *et al.*, (2011).

Se ha demostrado que la aplicación de un estrés moderado en plantas de tomate aumenta el contenido de licopeno y otros antioxidantes en el fruto, con respuestas específicas desde un rango de 30 a 85% de incremento en comparación con las plantas no estresadas. Incrementos de la conductividad eléctrica provocadas por la adición de NaCl a una solución nutritiva, conducen a altos contenidos en licopeno y beta caroteno. Por lo tanto, la aplicación de estrés controlado a las plantas puede probablemente incrementar la concentración de componentes deseables. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la salinidad es un problema para los vegetales. Los cultivos de tomate en esa condición sufren daño a largo plazo, relacionado fundamentalmente con una excesiva acumulación de sodio (Na) y cloro (Cl) en las hojas (Martínez *et al.*, 2010).

Toor *et al.*, (2006) evaluaron el contenido de licopeno con la aplicación de distintos fertilizantes (Cuadro 15). Se obtuvo bajo contenido de licopeno en los tomates cultivados con

mulch de trébol (10,2 mg/100 g) y NH_4^+ con alto nivel de cloro en la solución nutritiva (12,7 mg/100 g) en comparación con otros tratamientos (18,3 mg/100 g).

Cuadro 15. Efecto de diferentes tratamientos fertilizantes en el contenido de licopeno.

Tratamiento	Licopeno (mg/100g)	S (g/Kg PS)
NO_3^- dominante	20,8±4,64a	2,2±0,09 a
NH_4^+ dominante + Cl^-	12,7±1,45ab	1,6±0,04 b
NH_4^+ dominante + SO_4^{2-}	18,6±2,87ab	2,3±0,13 a
Guano de pollo	18,3±4,57ab	2,4±0,10 a
Mulch de trébol	10,2±2,23b	0,9±0,03 c

(Medias ± error estándar, n= 4). Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

Estos resultados coincidieron con las concentraciones más bajas de azufre observado en los tomates cultivados con mulch de trébol y alto nivel de cloro. La estructura de las proteínas es determinada en gran medida por los grupos azufre (Brady, 1990). Se ha informado anteriormente (López *et al.*, 1996) que la limitación de la fuente de azufre en las plantas de tomate puede afectar el color de los tomates y también causar tasa fotosintética reducida y en consecuencia reducir el contenido de clorofila. En un anterior estudio, se observó que la absorción de azufre en plántulas se redujo en presencia de cloro y fue al parecer debido a la competencia entre semejante carga iones o análogos para la absorción (Singh y Singh, 1978). La biosíntesis de licopeno en las plantas proviene del ácido mevalónico, el cual se forma a partir de la unión de tres moléculas de acetil coenzima A (AcCoA), la que contiene en su estructura S-aminoácido cisteína (Brunhold, 1993).

Toor *et al.*, (2006) evaluaron el efecto de distintas fuentes fertilizantes en el nivel de ácido ascórbico en el fruto de tomate (Cuadro 16), determinando que el contenido de ácido ascórbico fue significativamente menor en tomates cultivados utilizando altos niveles de NO_3^- (97,5 mg/100 g) en comparación con otros tratamientos (120,2- 148,8 mg/100 g).

Cuadro 16.Efecto de diferentes tratamientos fertilizantes en el contenido de ácido ascórbico.

Tratamiento	Ácido Ascórbico (mg/100g)
NO ₃ ⁻ dominante	97,5±1,56b
NH ₄ ⁺ dominante + Cl ⁻	120,2±7,53a
NH ₄ ⁺ dominante + SO ₄ ²⁻	128,8±11,39a
Guano de pollo	147,6±16,1a
Mulch de trébol	148,8±17,09a

(Medias ± error estándar, n= 4).Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

El contenido mediodo ácido ascórbico en los tomates cultivados utilizando guano de pollo y mulch paja de trébol, fue 29% superior al de los tomates producidos usando las soluciones de nutrientes minerales. Esto es probablemente debido a que la planta dispara su biomasa al utilizarsoluciones de nutrientes minerales, en comparación con estiércol de pollo y hierba de trébol mantillo, las cuales liberan lentamente los nutrientes y permiten un crecimiento paulatino del follaje (Cuadro 17).

Cuadro 17. Rendimiento total acumulado de tomates rojos durante cuatro semanas de cosecha y biomasa aérea de la planta (Kg PF/planta).

Tratamiento	Rendimiento	Biomasa aérea de la planta
NO ₃ ⁻ dominante	1,91	1,02a
NH ₄ ⁺ dominante + Cl ⁻	2,13	1,11a
NH ₄ ⁺ dominante + SO ₄ ²⁻	2,13	1,04a
Guano de pollo	1,86	0,89b
Mulch de trébol	1,72	0,72c

Valores con diferentes letras en cada columna significa que son significativamente diferentes (p <0.05).

Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

Se ha informado que la exposición a la luz de los frutos es favorable para la acumulación de ácido ascórbico (Dumas *et al.*, 2003). Sin embargo, el mayor desarrollo de follaje en plantas cultivadas usando soluciones minerales puede tener un efecto de sombreado en los tomates, lo cual causa una disminución de su contenido en ácido ascórbico. Dumas *et al.*, (2003) reportaron

que la aplicación de dosis altas de nitrógeno podrían causar algo de descenso en ácido ascórbico, probablemente de forma indirecta; dado por un aumento del follaje y por lo tanto, en fruta sombreada. Anteriormente, Hamner *et al.*, (1945) informaron que el fruto de tomate producido bajo sombra tenía bajo contenido de ácido ascórbico (15,5 mg/100 g fresco peso) en comparación con la fruta producida en condiciones de sol (25,8 mg). Los niveles inferiores de ácido ascórbico han sido reportados con el uso de altas tasas fertilizantes nitrogenados en otros estudios previos (Mozafar, 1993).

Premuzic *et al.*, (1998) compararon el contenido de ácido ascórbico de tomates que habían sido cultivadas en sustrato orgánico con el contenido de ácido ascórbico de tomates que fueron hidropónicamente irrigados con una solución de nutriente completo. Se informó de una mayor concentración de ácido ascórbico en los tomates cultivados en compost de lombriz que en tomates cultivados en sustratos hidropónicos. La fertilización orgánica ha sido reportada para dar un rendimiento bajo de tomates, con un alto contenido de ácido ascórbico, mientras que la fertilización mineral sumada a fertilización orgánica produce un rendimiento alto de frutos con un contenido de ácido ascórbico inferior (Dumas *et al.*, 2003).

La presencia de polifenoles en las plantas se relaciona con varios mecanismos de defensa frente a situaciones adversas del ambiente como la luz, la temperatura y la humedad, y otros internos como diferencias genéticas, contenido en nutrientes y hormonas (Hahkonen *et al.*, 2001). A través de su hipótesis del balance carbono-nitrógeno, Coley *et al.*, (1985) argumentan que ante una baja disponibilidad de nitrógeno las plantas sintetizan polifenoles con el exceso de carbono. Ellos establecen que en situaciones limitantes de determinados recursos, las plantas no pueden satisfacer en forma simultánea todos los requerimientos para sus procesos fisiológicos. Es así que una deficiencia en nitrógeno restringe el crecimiento más que la fotosíntesis, lo que implica un excedente de carbohidratos que se acumularán en forma de polifenoles.

Existe una relación inversa entre la disponibilidad de nitrógeno y la concentración de polifenoles en el tejido vegetal, originada en que la producción de proteínas y la de polifenoles

comparten el mismo precursor, la fenilalanina, por lo cual toda condición favorable para la biosíntesis de proteínas resultará en una disminución de los polifenoles (Jones y Hartley, 1999). Es por ello que un elevado contenido de polifenoles en tejido es un estimador de deficiencia de nitrógeno (Cartelat *et al.*, 2005).

El aumento en la cantidad de proteína y de aminoácidos libres observado en plantas con elevada disponibilidad de nitrógeno está generalmente acompañado de un aumento en su crecimiento. El modelo de competencia de Jones y Hartley (1999), predice que una gran demanda para la biosíntesis de proteínas como consecuencia de mayor cantidad de nitrógeno y aumento en el crecimiento del cultivo, estará acompañada por una menor biosíntesis de polifenoles (Bragazza y Freeman, 2007).

Al respecto Toor *et al.*, (2006) realizan un estudio evaluando el contenido de polifenoles utilizando distintas fuentes de fertilización. Los tomates cultivados utilizando estiércol de pollo y mulch paja de trébol tenía un 17,6% más fenoles solubles (media: 450 mg GAE/100 g) que las soluciones de nutrientes minerales (Media: 383 mg GAE/100 g), sin embargo, estos resultados fueron estadísticamente no significativos (Cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto de diferentes tratamientos fertilizantes en el contenido de fenoles solubles.

Tratamiento	Fenoles solubles (mg GAE/100g)
NO ₃ ⁻ dominante	409±60,9
NH ₄ ⁺ dominante + Cl ⁻	374±81,5
NH ₄ ⁺ dominante + SO ₄ ²⁻	368±63,6
Guano de pollo	442±77,9
Mulch de trébol	457±91,2

(Medias ± error estándar, n= 4). Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

Estos resultados están en acuerdo con los observados por Asami *et al.*, (2003), que reportaron un mayor nivel de fenoles totales en un cultivo ecológico de marionberries y maíz, que en los crecidos inorgánicamente. Ellos atribuyeron estos resultados a la posibilidad de

presiones más altas en patógenos en los métodos orgánicos de cultivo, en el que no se usan pesticidas, que a su vez puede haber producido tensiones bióticas y abióticas provocando un aumento en los niveles de flavonoides producido por las plantas.

Se ha informado que las plantas no pueden, simultáneamente asignar recursos para el crecimiento y la defensa, existiendo una competencia entre la síntesis proteica y fenólica con un precursor común implicado en su biosíntesis, L-fenilalanina (Riipiet *al.*, 2002). En el presente estudio, la liberación lenta de nutrientes desde el estiércol de pollo y mulch paja trébol explica el crecimiento relativamente lento de las plantas que utilizan fertilizantes orgánicos.

La biomasa de brotes en las plantas crecidas utilizando soluciones de nutrientes minerales fue significativamente superior en comparación con las plantas tratadas orgánicamente (Cuadro 19). También es probable que, debido al denso follaje de las plantas tratadas con las soluciones de nutrientes, los frutos de tomate en desarrollo recibieron menos luz. Esto pudo haber influido en la síntesis de los compuestos fenólicos en el fruto. La luz es uno de los principales controles ambientales de la producción de fenoles, con niveles más altos reportados en las plantas iluminadas (Par y Bolwell, 2000).

Cuadro 19. Rendimiento total acumulado de tomates rojos durante cuatro semanas de cosecha y biomasa aérea de la planta (Kg PF/planta).

Tratamiento	Rendimiento	Biomasa aérea de la planta
NO ₃ ⁻ dominante	1,91	1,02a
NH ₄ ⁺ dominante + Cl ⁻	2,13	1,11a
NH ₄ ⁺ dominante + SO ₄ ²⁻	2,13	1,04a
Guano de pollo	1,86	0,89b
Mulch de trébol	1,72	0,72c

Valores con diferentes letras en cada columna significa que son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Adaptado: Toor *et al.*, (2006).

3.4 Estado de madurez.

El contenido en compuestos bioactivos puede verse afectado por diversos factores previos a la recolección. Entre ellos cabe destacar el estado de madurez en el que se recolecta el fruto (Raffo *et al.*, 2002).

García-Alonso *et al.*, (2007) realizan un estudio en el que observa la evolución de compuestos bioactivos durante la maduración del tomate. Mediante un análisis cromatográfico constata que el carotenoide mayoritario en el tomate variedad Ronaldo, es el licopeno, el que alcanza valores superiores a los 100 mg/kg de peso fresco en el estado de madurez total. En cuanto a la evolución del contenido en licopeno, se observa una clara tendencia a aumentar a medida que el fruto se acerca a la madurez avanzada. En particular, el aumento más destacable se observa cuando empieza a materializarse la coloración rojiza del fruto (Figura 17). Una tendencia similar se observa en el caso de los isómeros *cis* del licopeno, los cuales son ya detectables en el estado de madurez intermedio caracterizado por la coloración rosácea del fruto.

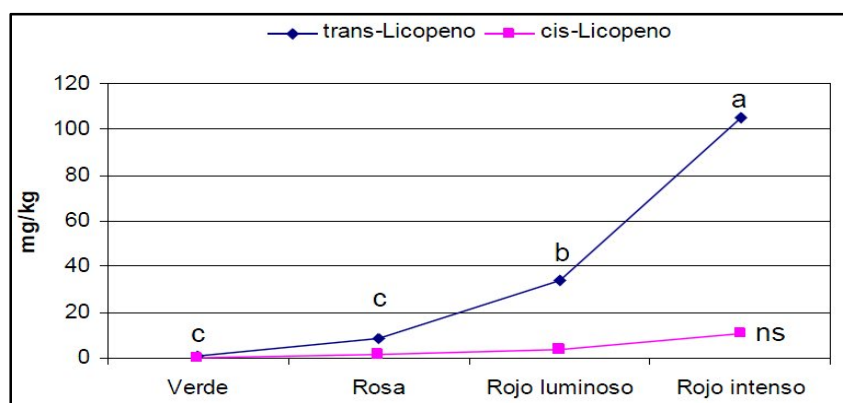


Figura 17. Evolución de los carotenoides en función del estado de maduración. Evolución de isómeros *cis* y *trans* del licopeno. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD 5%). (ns), no significativo. Adaptado: García-Alonso *et al.*, (2007).

En el caso de la vitamina C, se ha observado que la evolución de esta difiere de la observada en carotenoides. En general aumentan en los estados intermedios de la maduración. Así por ejemplo se observa una estrecha relación entre el comportamiento de la actividad antioxidante total y la evolución de los niveles de vitamina C, siendo esta uno de los compuestos bioactivos con principal contribución a los valores de actividad antioxidante (Prior *et al.*, 2005).

García-Alonso *et al.*, (2007) describen un comportamiento similar de los principales antioxidantes hidrosolubles (compuestos fenólicos y vitamina C), los cuales muestran valores más elevados en los estadios intermedios de la maduración (Cuadro 20), lo que se traduce en un aumento de la actividad antioxidante total en dichos estadios y por tanto en valores más bajos de actividad en el estado verde y maduro.

Cuadro 20. Evolución de la actividad antioxidante total y compuestos bioactivos con el grado de madurez.

Estado de madurez	TEAC (mmol Trolox/kg)	FRAP (mmolFe ²⁺ /kg)	Polifenoles (mg/kg)	Vitamina C (mg/kg)	5-MTF (µg/kg)
Verde	0,52±0,02c	1,4±0,07c	312,0±8,14b	0,00±0,0d	135,5 ±13,74c
Rosa	1,03±0,2a	2,04±0,05b	326,82±3,54a	100,4 ±1,0a	180,5 ±5,87b
Rojo luminoso	1,07±0,03a	2,35±0,03a	324,0±2,64a	67,5 ±0,2b	201,7 ±16,63a
Rojo intenso	0,8±0,03b	1,41±0,13c	286,63±7,09c	45,8 ±3,5c	172,5 ±7,66b

Superíndices distintos dentro de cada columna indican diferencias significativas (LDS 5%). Adaptado: García-Alonso *et al.*, (2007).

El cuadro 20 muestra la evolución de la actividad antioxidante total, polifenoles, vitamina C y folatos, en función del estado de maduración. En este caso observamos que la evolución de estos parámetros difiere de la observada en el caso de los carotenoides, ya que estos en general aumentan en los estados intermedios de la maduración. Así por ejemplo se observa una estrecha relación entre el comportamiento de la actividad antioxidante total y la evolución de los niveles de compuestos fenólicos y vitamina C, ya que estos compuestos bioactivos son los principales contribuidores a los valores de actividad antioxidante por ambos métodos (Prior *et al.*, 2005).

3.5 Almacenamiento.

El tiempo entre la recolección y el consumo de frutas u hortalizas pueden ser de hasta varias semanas. Reacciones fitoquímicas en respuesta a las condiciones ambientales de la fruta cosechada durante este período pueden cambiar el nivel de actividades biológicas y medicinales de compuestos particulares. Por lo tanto, la cuantificación de tales efectos fitoquímicos es un punto crítico en el diseño de los estudios de valor nutricional. El tomate es un fruto altamente perecedero y normalmente es almacenado y distribuido a temperatura de 10-12°C para controlar la maduración, ya que es susceptible al daño por frío. El periodo de almacenamiento a estas temperaturas es corto y limita la posibilidad de comercio a países distantes que representan una oportunidad de mercado para los productores. Una alternativa para este inconveniente es el uso de atmósferas controladas (AC), tecnología que implica el almacenamiento en concentraciones bajas de O₂ y/o elevadas de CO₂ para retrasar la velocidad de respiración, la producción de etileno y la pérdida de peso, y por tanto, el deterioro del fruto (Crisosto *et al.*, 2002).

López *et al.*, (2011) señalan que la fruta almacenada en atmósfera controlada posee una menor velocidad de respiración, una reducida sensibilidad al etileno y a la transpiración, resultando en un retraso del proceso de maduración que mantendrá la calidad de la fruta.

Es sabido que el ácido ascórbico es muy inestable debido principalmente a la actividad de la enzima ácido ascórbico oxidasa y su reacción con oxígeno en presencia de iones metálicos y luz (Lee y Kader, 2000). El ácido ascórbico es oxidado reversiblemente para formar ácido dehidroascórbico, que también exhibe actividad biológica, pero es muy inestable y se oxida rápidamente a ácido dicetogulónico que no presenta actividad biológica. Esta reacción puede ser catalizada por ascorbato oxidasa, una enzima abundante en vegetales. Al respecto López *et al.*, (2011) observan baja degradación de ácido ascórbico en frutos de atmósfera controlada (4 kPa O₂ + 96 kPa N₂). Esto se debe a una reducida actividad de la ascorbato oxidasa y ascorbato peroxidasa que requieren altas concentraciones de O₂ para actuar (Zou *et al.*, 2006).

En un estudio realizado por López *et al.*, (2011) se determinaron los cambios en el contenido de ácido ascórbico y licopeno durante la maduración del tomate a 23°C. Esto después de haber almacenado frutos en estado de madurez comercial por 3 y 21 días a 12 °C en dos tipos de tratamiento, uno en atmósfera controlada (4 kPa O₂+ 96 kPa N₂) y el otro en aire (12°C y 90 ±2% de humedad relativa). En los frutos que fueron almacenados por 3 días, los niveles de ácido ascórbico disminuyeron aproximadamente un 40% en ambos tratamientos durante el periodo de maduración (de 27,3 a 16,4 para la fruta de atmósfera controlada y de 18,5 a 11,7 mg/100 gPF para la de aire), permaneciendo más altos en los correspondientes a atmósfera controlada. Esta observación está de acuerdo con Kalt (2005), quien reportó que el contenido de vitamina C de frutos almacenados en atmósfera controlada disminuía en manzanas (25-30%), fresas (42%) y frambuesas (15%). Al final del periodo de maduración (12 días), las frutas de atmósfera controlada mostraron valores significativamente mayores de ácido ascórbico que las frutas del tratamiento de aire. Esto fue observado previamente por Kader (2003), quien reportó que atmósferas de bajo O₂retuvieron el ácido ascórbico y otras vitaminas resultando en una mejor calidad nutricional (Figura 18).

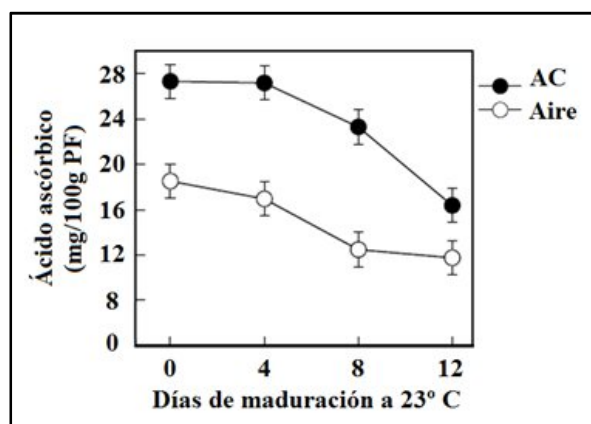


Figura 18. Contenido de ácido ascórbico durante la maduración de tomate ‘Imperial’ después de su almacenamiento durante 3 días en condiciones de aire ambiental y atmósfera controlada. Cada punto representa la media de tres réplicas. Adaptado: López *et al.*, (2011).

Después de 21 días de almacenamiento a 12°C (Figura 19), el efecto de la atmósfera controlada sobre la retención de ácido ascórbico fue menor, lo cual puede estar relacionado con el hecho de que el contenido de esta vitamina era cercano a su nivel de equilibrio ya que no cambió significativamente el resto del periodo de maduración. A pesar de que el contenido de esta vitamina disminuyó continuamente durante la maduración en ambas condiciones de almacenamiento, las diferencias en sus niveles fueron similares durante el periodo de maduración. Estos resultados indican que para un tiempo de almacenamiento a 12°C, el efecto principal sobre el contenido de ácido ascórbico puede ser atribuido al tipo de almacenamiento (atmósfera controlada o aire). Los contenidos de ácido ascórbico de las frutas de atmósfera controlada variaron de 19,1 a 11,6 mg/100 gPF, mientras que los de la fruta de aire variaron de 16,3 a 9,15 mg/100 gPF. Aunque las pérdidas de ácido ascórbico fueron significativas en la fruta almacenada en atmósfera controlada, los valores finales fueron cercanos a los reportados por McGlasson, (2003) para tomate rojo maduro.

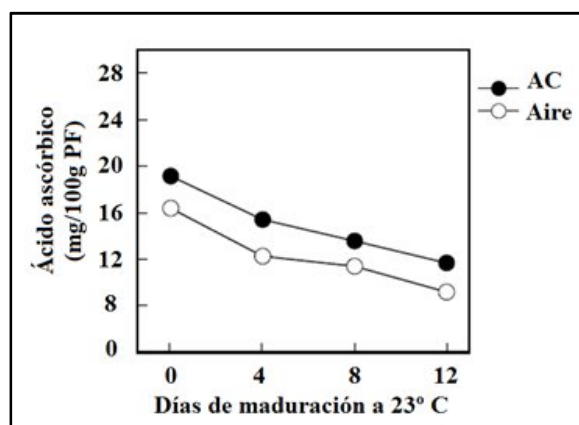


Figura 19. Contenido de ácido ascórbico durante la maduración de tomate ‘Imperial’ después de su almacenamiento durante 21 días en condiciones de aire ambiental y atmósfera controlada. Cada punto representa la media de tres réplicas. Adaptado: López *et al.*, (2011).

López *et al.*, (2011) estudiaron el contenido de licopeno durante la maduración de tomate ‘Imperial’ después de su almacenamiento durante 3 y 21 días en condiciones de aire ambiental y atmósfera controlada (Figura 20). En este experimento, determinan que el licopeno fue el carotenoide más abundante y sus valores oscilaron entre 0,11 y 5,2 mg/100 gPF durante la

maduración de la fruta almacenada por tres días a 12°C, mientras que para la fruta almacenada por 21 días a 12°C los valores estuvieron entre 1,3 y 3,7 mg/100 gPF. Un aumento en el contenido de licopeno fue observado para ambas condiciones de almacenamiento. Después de tres días de almacenamiento a 12°C, la fruta de atmósfera controlada tuvo muy bajo contenido de licopeno durante los primeros cuatro días de maduración a 23°C, lo cual indica que las bajas condiciones de oxígeno inhibieron la síntesis de este pigmento. Sin embargo, este efecto se perdió gradualmente y para el final del periodo de maduración, la fruta de atmósfera controlada tuvo un contenido mayor al de la fruta almacenada en aire. Thompson *et al.*, (2000) reportaron incrementos similares en el contenido de licopeno durante la maduración de cuatro cultivares de tomate, con valores cercanos a 5 mg/100 gPF en la etapa de rojo-maduro, los cuales son similares a los observados en este estudio.

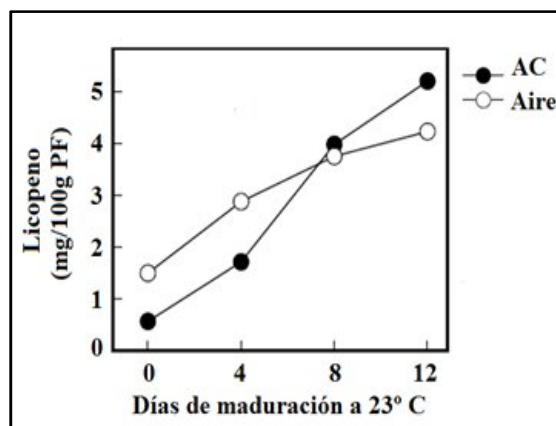


Figura 20. Contenido de licopeno durante la maduración de tomate ‘Imperial’ después de su almacenamiento durante 3 días en condiciones de aire ambiental y atmósfera controlada. Cada punto representa la media de tres réplicas. Adaptado: López *et al.*, (2011).

Se observó un retraso en la acumulación de licopeno durante la maduración de la fruta previamente almacenada por 21 días a 12°C (Figura 21), aunque las diferencias entre tratamientos fueron mayores que las observadas al día tres. La fruta de atmósfera controlada tuvo un contenido de licopeno menor y significativo ($P \leq 0,05$) durante los primeros ocho días de maduración; no obstante, después de 12 días a 23°C ambos tratamientos tuvieron valores similares. Esto sugiere que aunque el almacenamiento en atmósfera controlada fue capaz de

retrasar la síntesis de licopeno, esto no afectó negativamente al final de la maduración (López *et al.*, 2011).

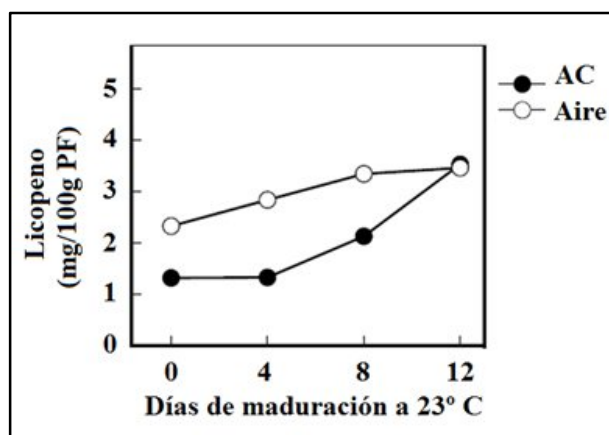


Figura 21. Contenido de licopeno durante la maduración de tomate 'Imperial' después de su almacenamiento durante 21 días en condiciones de aire ambiental y atmósfera controlada. Cada punto representa la media de tres réplicas. Adaptado: López *et al.*, (2011).

En este estudio las frutas almacenadas en aire y en atmósfera controlada (4 kPa O₂+ 96 kPa N₂) alcanzaron un color rojo similar. El contenido de licopeno incrementó durante la maduración de la fruta como consecuencia de la reducida ciclación y de la presencia de actividad de fitoeno sintasa promovida por la maduración (Fraser *et al.*, 2002). En este estudio, la síntesis reducida de licopeno en la fruta de atmósfera controlada se atribuye a una actividad reducida de las enzimas fitoeno desaturasa y Z-caroteno desaturasa, que catalizan la conversión de fitoeno a licopeno en reacciones dependientes de oxígeno (Beyer *et al.*, 1994).

La temperatura es un factor preponderante en almacenamiento y el efecto que producen en los principales compuestos antioxidantes en tomate es diverso. El almacenamiento de tomates y otros productos de origen tropical o subtropical, a temperaturas críticas, los predispone a daño por frío (Yanuriati *et al.*, 1999). Al respecto Maul *et al.*, (2000) observaron que cuando los tomates de color rojo claro se almacenan por debajo de 13°C, fueron significativamente ($p \leq 0,05$)

más bajos en aroma y sabor, generándose sabores desagradables en comparación con tomates almacenados a 20°C.

Toor y Savage (2006) reportaron que tomates almacenados a 15 y 25°C desarrollan un color rojo más brillante que los tomates almacenados a 7°C. El incremento en el enrojecimiento de los tomates durante la maduración se debe a la acumulación de licopeno, en asociación con el sistema de la membrana interna (Grierson y Kader, 1986). El contenido medio de licopeno de los tomates almacenados a 15 y 25°C resultó ser 1,8 veces mayor que la de los tomates refrigerados. Este efecto también se ha observado anteriormente por Ajlouni *et al.*, (2001) quienes informan de aumento en el valor de licopeno, desde un nivel inicial de 3,6 a 9,0 mg/100 g, en tomates cultivados en invernadero durante el almacenamiento a 22°C durante un período de 14 días. Sin embargo, durante el almacenamiento a 4°C, no se observaron cambios significativos en el contenido licopeno.

Toor y Savage (2006) determinan que los polifenoles en almacenamiento a distintas temperaturas (7, 15 y 25°C) por un periodo de 10 días, afecta solamente ligeramente su contenido. Pero es interesante destacar de que a pesar de que el contenido no es afectado notoriamente, la variación sufrida se debe principalmente a que existe ruptura de la estructura celular, debido al daño por frío a 7°C, y exceso de maduración de los frutos a los 15 y 25°C cuando se almacena durante 10 días.

Las vacuolas en la célula es el compartimento principal en el que los compuestos fenólicos se acumulan (Macheix *et al.*, 1990). A temperaturas de refrigeración, hay un cambio en la permeabilidad de las membranas celulares, y la actividad de las enzimas unidas a la membrana (Yanuriatiet *al.*, 1999), lo que provoca una acumulación de productos intermedios tóxicos en las células (Macheixet *al.*, 1990). Esto crea estrés fisiológico en las células de las plantas, y por lo tanto, los niveles de fenilalanina amonio liasa (PAL) y hydroxycinnamoylquinatotransferasa (HQT), enzimas implicadas en la síntesis de los flavonoides y los ácidos clorogénicos,

respectivamente, aumentan considerablemente, esto sólo cuando los tomates están almacenados por debajo de 10°C (Macheix *et al.*, 1990).

Toor y Savage (2006) observan una ligera acumulación de ácido ascórbico durante el almacenamiento de tomates a tres temperaturas de almacenaje por un periodo de 10 días (7, 15 y 25°C). Kalt *et al.*, (1999) observaron que no existen pérdidas en el contenido de ácido ascórbico durante el almacenamiento postcosecha de las fresas y los arándanos. La alta acidez titulable es responsable de la estabilidad del ácido ascórbico en los frutos (Mapson, 1970) y como el tomate es una fruta altamente ácida, se espera que el contenido de ácido ascórbico en el fruto sea relativamente estable durante el almacenamiento posterior a la cosecha. Además, las sustancias fenólicas también han sido reportadas como compuestos protectores sobre el ácido ascórbico (Miller y Rice Evans, 1997). Por lo tanto, la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides en células de tomate contribuyen a mantener el contenido de ácido ascórbico en almacenamiento.

3.6 Procesamiento.

La biodisponibilidad del licopeno, es decir, la cantidad que vamos a absorber en nuestro sistema digestivo aumenta cuando en vez de ingerir el tomate crudo lo hacemos con tomate cocinado y, mucho mejor aún, si hemos añadido algo de aceite, ya que el licopeno es soluble en grasas y, por tanto, su absorción mejora en presencia de estas. A diferencia de la creencia más generalizada, para el aporte de licopeno, es preferible que el tomate sea cocinado, aunque al hacerlo perdemos otros nutrientes, como la vitamina C, dado que ésta es muy sensible al calor y se destruye al cocinar el alimento; no obstante, si consumimos una dieta rica en frutas y vegetales no vamos a tener problema en obtener la cantidad diaria recomendada de este nutriente (Kiran *et al.*, 2006).

Al respecto Dewanto *et al.*, (2002) evalúan el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de licopeno, vitamina C, polifenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante. Este

tratamiento consistió en aplicar temperatura de 88°C a tomate triturado, por 2, 5 y 15 minutos. En el caso del licopeno (Figura 22) se observó un efecto favorable conforme aumentaba el tiempo de ensayo. El tomate crudo tenía $2,01 \pm 0,04$ mg de *trans*-licopeno/g de tomate. Luego del tratamiento el contenido aumentó a $3,11 \pm 0,04$, $5,45 \pm 0,02$, y $5,32 \pm 0,05$ mg de *trans*-licopeno/g de tomate (incrementos de 54,39, 171,11 y 164,26% respectivamente). El contenido total de *cis*-licopeno también incrementó con el aumento del tiempo en calentamiento a 88°C. En tomate crudo se presentó el menor contenido total de *cis*-licopeno ($0,86 \pm 0,09$ mg/100 g de tomate). Luego del tratamiento el contenido de *cis*-licopeno aumentó a $0,91 \pm 0,15$, $1,01 \pm 0,13$, y $1,16 \pm 0,21$ mg/100 g de tomate (incrementos de 5,81, 17,44 y 34,88% respectivamente). El procesamiento térmico aumentó significativamente el contenido de licopeno bioaccesible en tomate. Esto se debe principalmente al aumento de la liberación de fitoquímicos desde la matriz celular, haciéndolos más accesibles para un proceso extractivo. Los niveles de las *trans*-licopenos en 15 y 30 minutos de procesado por calor fueron similares porque la liberación completa de licopeno a partir de la matriz de la célula ya se había alcanzado. Se ha informado de que el procesamiento de alimentos, como el cocinado o la molienda, mejora la biodisponibilidad de licopeno, rompiendo las paredes de las células que lo contienen. Nguyen y Schwartz (1999), señalan que los productos procesados del tomate presentan una mayor proporción de licopeno como consecuencia de la concentración, deshidratación y calentamiento aplicados durante el proceso industrial, lo que repercute en una mayor contribución a la dieta. Clinton (1998), destaca que el proceso de calentamiento de los alimentos previo a su consumo, puede mejorar la biodisponibilidad de los carotenoides al disociarse estos de los complejos formados con las proteínas (Clinton, 1998), produciéndose a su vez el ablandamiento o la ruptura de las paredes celulares (Castenmiller y West, 1998).

Las propiedades biológicas, así como las funciones de los carotenoides están determinadas por las propiedades químicas de estos compuestos y, por lo tanto, por su estructura química. Al depender su efecto biológico de su estructura química, la forma y el tamaño de la molécula son determinantes de las funciones que pueden realizar in vivo. Las formas *trans* presentes en los alimentos son moléculas lineales, largas y rígidas, mientras que sus isómeros

*cis*son moléculas más cortas y pueden ser más fácilmente solubilizados, absorbidos y transportados a nivel celular. Las formas *cis* son ligeramente más polares, presentan menor tendencia a la cristalización y son más solubles en aceites y solventes hidrocarbonados (Sies y Stahl, 1998).

Estudios realizados recientemente con técnicas *in vivo* e *in vitro* han puesto de manifiesto que la biodisponibilidad de isómeros *cis* de licopeno es mayor a la del isómero *trans*, probablemente asociado al hecho de que los isómeros *cis* son más solubles en las micelas de los ácidos biliares, por lo que pueden incorporarse más fácilmente por difusión pasiva a las células de la mucosa intestinal, incorporándose con mayor preferencia a los quilomicrones de las lipoproteínas (Boileau *et al.*, 1999). Por lo tanto, si el procesamiento de los alimentos induce la reacción de isomerización de las formas *trans* licopeno a las formas *cis*, es normal esperar una mayor biodisponibilidad de este carotenoide en todos los productos procesados a base de tomate (Porrini *et al.*, 1998).

Re *et al.*, (2002) encontraron que el contenido de licopeno aumentaba en varios productos procesados, hasta 30% en una pasta de tomate. Los diferentes tratamientos térmicos aplicados en diversos estudios aumentan la bioaccesibilidad de licopeno, por lo que es más fácilmente extraíble de la matriz de tomate durante la etapa de extracción con disolvente asistida. En efecto, el procesamiento térmico rompe las membranas celulares y paredes celulares, facilitando así la liberación de licopeno. Así también, Abushita *et al.*, (2000) señalan que el contenido de licopeno aumenta significativamente con el tratamiento térmico. Lo cual se debe a la interrupción de las estructuras de unión de los carotenoides. El procesamiento industrial causa la ruptura de las estructuras de la pared celular y membranas de los cloroplastos. Debido a la pérdida de agua durante el procesamiento térmico, el contenido de licopeno aumenta en función del peso húmedo, confiriendo una función protectora a estos productos (Palomo *et al.*, 2010).

Georgé *et al.*, (2011) señalan que el procesamiento de tomate rojo puede generar una gran variabilidad con respecto al contenido de carotenoides, que depende principalmente del tiempo y las condiciones de temperatura utilizadas. Por lo tanto en la elaboración del concentrado de tomate se pueden obtener productos diferentes según la temperatura de tratamiento inmediatamente después del triturado del fruto, para la inactivación o no de enzimas pécticas. En este sentido Wu y Nelson (1997), indican que mediante un proceso *hot-break* donde los tomates se calientan rápidamente por encima de los 82°C inmediatamente después del triturado, se logra inactivar enzimas pécticas obteniéndose un producto de mayor consistencia. Este tratamiento también afecta al contenido en licopeno y β -caroteno, ya que la inactivación enzimática no solo actúa sobre las enzimas pécticas, sino también, en otras del grupo oxidasas que interfieren en la oxidación de los carotenoides durante el resto del proceso de elaboración de concentrado de tomate, manteniendo mejor su color rojo característico. Si el tratamiento se lleva a cabo a temperatura ambiente el proceso se denomina *cold-break*, obteniéndose zumo de tomate con menor consistencia (Lozano *et al.*, 2002).

Lozano *et al.*, (2002) señalan que la concentración de licopeno es significativamente mayor ($p < 0,05$) para el tomate *hot-break* (510 $\mu\text{g/g}$) que para el *cold-break* (391 $\mu\text{g/g}$), que representa un 23,4% menos. En el proceso *hot-break* los tomates se calientan a temperaturas cercanas a los 100°C, inmediatamente después del triturado.

Los productos procesados del tomate requieren de cierta concentración final de grados Brix, de esta forma el contenido inicial que posea los frutos frescos de tomate influirán en la cantidad de tiempo de procesado para alcanzar esta concentración, por lo tanto a medida que el tiempo de tratamiento térmico se extienda se puede llegar a perder hasta un 28,9% de carotenoides de la muestra (Takeoka, 2001).

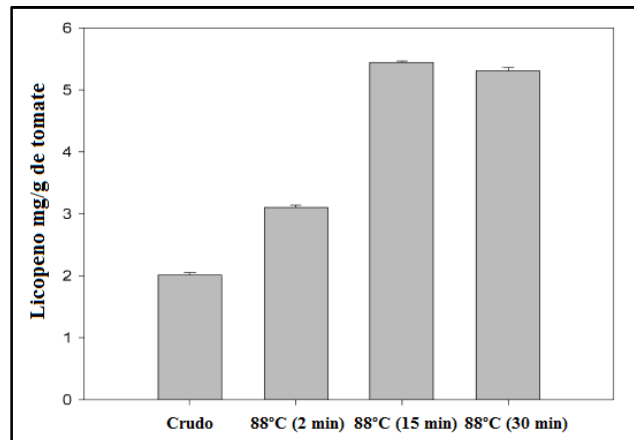


Figura 22. Efecto del tratamiento térmico a 88°C en el contenido de licopeno (media $\pm$ DE, n = 3). Adaptado: Dewanto *et al.*, (2002).

No se presentaron cambios significativos en el total de flavonoides (Figura 23), ni en los fenoles totales (Figura 24). El contenido fenólico total de la muestra de tomate crudo fue $142,4 \pm 6,5$ mg/g de tomate. Con el tratamiento térmico (88°C a 2, 15, y 30 minutos) fue de $148,7 \pm 6,5$, $146,5 \pm 8,4$ y $145,9 \pm 3,7$ mg/g de tomate, respectivamente. El contenido total de flavonoides de la muestra de tomate crudo fue $9,42 \pm 1,17$ mg/g de tomate. Con el tratamiento térmico resultó en $9,38 \pm 1,58$, $9,53 \pm 0,88$, y $10,35 \pm 1,97$ mg/g de tomate, respectivamente. Aunque las muestras tratadas con calor tenían un contenido ligeramente más alto de fenoles totales y flavonoides, no existieron diferencias significativas entre todos los tratamientos. Por lo tanto, no hubo ninguna pérdida o ganancia en el contenido de fenoles totales o flavonoides, con el procesamiento térmico a 88°C durante 2, 15, y 30 minutos (Dewanto *et al.*, 2002).

Los ácidos fenólicos se producen en las plantas como productos metabólicos intermedios, acumulándose en las vacuolas. El tratamiento térmico puede liberar más ácidos fenólicos, producto de la descomposición de los constituyentes celulares. Aunque la ruptura de paredes celulares también libera enzimas oxidativas e hidrolíticas que pueden destruir los antioxidantes en las frutas y verduras, el tratamiento térmico a 88°C desactiva estas enzimas, evitando la pérdida de ácidos fenólicos (Dewanto *et al.*, 2002).

Se han demostrado efectos distintos del tratamiento térmico sobre el contenido de polifenoles. Georgé *et al.*, (2011) observaron que el contenido de estos, disminuyó significativamente durante procesamiento térmico tradicional en tomate rojo (43%) y amarillo (28%). Estos resultados coinciden con los de Pérez-Conesa *et al.*, (2009), que también encontraron una disminución significativa en el contenido fenólico total, la que atribuyeron a la etapa de pasteurización. En contraste, un aumento en el contenido fenólico total fue observado por Gahler *et al.*, (2003) durante el procesamiento de zumo de tomate y salsa de tomate; este resultado es posiblemente debido a la liberación de compuestos fenólicos de la matriz de tomate. A diferencia del estudio realizado por Dewanto *et al.*, (2002) en el que no se encontró ningún cambio significativo en contenido de fenoles totales.

Gómez (2009), observa que el contenido de polifenoles no disminuye con un tratamiento térmico de deshidratado. Re *et al.*, (2002) explicaron este comportamiento al identificar y cuantificar fenoles presentes en una variedad de tomate del mediterráneo. Ellos observaron que al someter el tomate a un proceso térmico, la concentración de algunos fenoles como el ácido clorogénico, ácido cafeico y el ácido p-cumárico aumentan, mientras que la rutina, el ácido ferúlico y la narangenina disminuyen con el proceso de calentamiento. Lo anterior puede explicar porque no se observa una disminución en el contenido total de fenoles en el estudio realizado por Dewanto *et al.*, (2002), ya que algunos disminuyeron su concentración mientras que otros la aumentaron. En conjunto, estos datos sugieren que la extensión de la degradación de polifenoles podría depender no sólo del tratamiento térmico, sino también del tipo fenol. La degradación podría explicarse por oxidación de las moléculas debido a las enzimas oxidativas e hidrolíticas que se liberan durante el proceso (Re *et al.*, 2002).

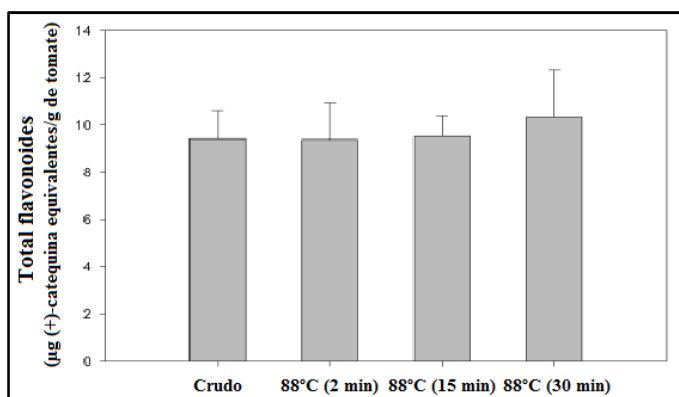


Figura 23. Efecto del tratamiento térmico a 88°C en el contenido total de flavonoides (media $\pm$ DE, n = 8). Adaptado: Dewanto *et al.*, (2002).

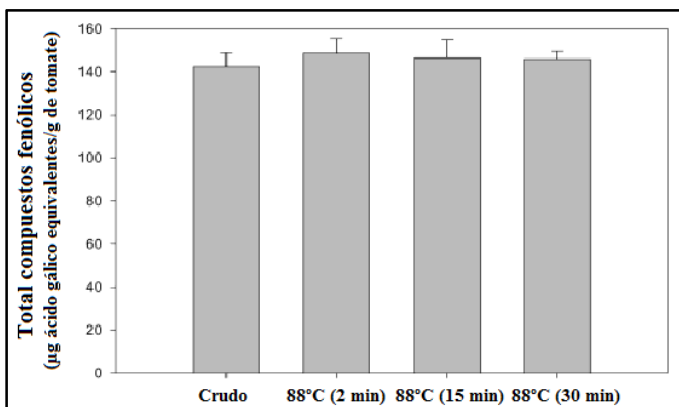


Figura 24. Efecto del tratamiento térmico a 88°C en el contenido total de compuestos fenólicos (media $\pm$ DE, n = 8). Adaptado: Dewanto *et al.*, (2002).

En el caso de la vitamina C, el tomate crudo presentaba $0,76 \pm 0,03$ μmol de vitamina C/g de tomate. Después de 2, 15, y 30 min de calentamiento a 88°C, el contenido disminuyó significativamente a $0,68 \pm 0,02$, $0,64 \pm 0,01$, y $0,54 \pm 0,02$ μmol de vitamina C/g de tomate, respectivamente (disminución de 10,53, 15,79, y 28,95%). Esta baja fue estadísticamente significativa entre la muestra tratada térmicamente y el tomate crudo (Figura 25). La pérdida fue estimada bajo el valor $D_{88^\circ\text{C}}$, que corresponde al tiempo necesario para la reducción del 90% del contenido de vitamina C inicial en 88°C, correspondiendo este a 276 minutos. Este valor es consistente con el estudio de la cinética de la pérdida de vitamina C en los guisantes en conserva, con un valor $D_{121^\circ\text{C}}$ de 246 minutos. La pérdida de vitamina C se produce principalmente por la

degradación química que implica la oxidación del ácido ascórbico en ácido dehidroascórbico (DHA), seguido de un proceso hidrolítico a 2,3-ácido dicetogulónico y polimerización adicional para formar un producto nutricionalmente inactivo (Dewanto *et al.*, 2002). Se ha informado que el contenido de vitamina C de los derivados de tomate (tomate al horno, salsa y sopa) disminuye durante el procesamiento térmico, correspondiendo al antioxidante más lábil y más afectado por las condiciones de almacenamiento (Re *et al.*, 2002).

El ácido ascórbico presenta gran solubilidad, existiendo la posibilidad que se produzcan importantes pérdidas por lixiviación, durante el corte o daños físicos de la superficie del fruto (Fennema, 2000). Badui (2006), señala que la vitamina C es lábil e inestable, además es muy sensible a la oxidación cuando la reacción está catalizada por iones metálicos como el Cu^{+2} y Fe^{+3} . Asimismo, el calor y la luz aceleran el proceso.

Gahler *et al.*, (2003) señalan que las pérdidas continuas en el contenido de ácido ascórbico son debidas al calentamiento prolongado durante el procesamiento del tomate. Lavelli *et al.*, (1999) reportaron pérdidas de un 88% en tomates deshidratados a 80°C; mientras que Zanoni *et al.*, (1998) reportaron pérdidas significativas de 40 y 80% a temperaturas entre 80 y 110°C, respectivamente. Heid y Maynard, (1981) señalan que las pérdidas máximas alcanzadas durante el procesamiento podrían ser hasta de un 100%. Georgé *et al.*, (2011) en un estudio del efecto del procesamiento sobre el contenido de vitamina C en puré de tomate reportaron que el tratamiento térmico disminuye un 80% el contenido de vitamina C en los tomates, indicando que las pérdidas pueden incrementarse con el tiempo de calentamiento, número de pasos de procesamiento y la temperatura del proceso. En otros estudios, alrededor de la mitad de la vitamina C se pierde durante el procesamiento térmico de tomates (Abushita *et al.*, 2000).

Peinado *et al.*, (2007) determinan que el producto de tomate cherry seco obtenido tras el secado, presentó menores niveles de ácido ascórbico cuando la muestra se llevó a 30 que a 60% de humedad. Esto pone de manifiesto la elevada relevancia del factor tiempo sobre la evolución de esta vitamina. Así pues, los resultados obtenidos son coherentes con los obtenidos por los

autores anteriores, que evidenciaron una significativa perdida de ácido ascórbico tanto más acusada conforme aumento la temperatura, la presencia de oxígeno y tiempo del tratamiento (Chang *et al.*, 2006).

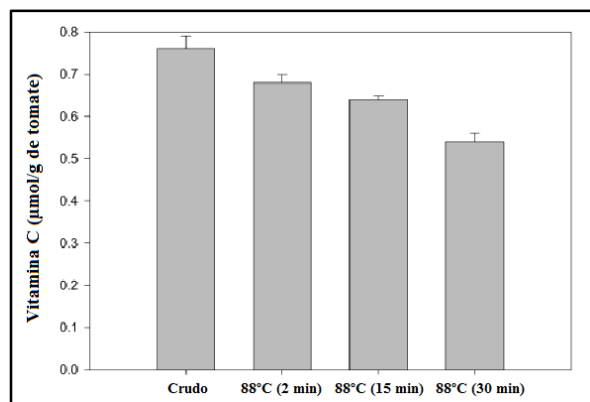


Figura 25. Efecto del tratamiento térmico a 88°C en el contenido de vitamina C (media $\pm$ DE, n = 6). Adaptado: Dewanto *et al.*, (2002).

El tratamiento térmico a 88°C aumentó la actividad antioxidante total de la muestra (Figura 26). El valor del tomate crudo poseía actividad antioxidante total de $10,42 \pm 0,91$ μmol de vitamina C equivalente/g de tomate. Con el tratamiento térmico a 88°C a 2, 15, y 30 minutos, la actividad antioxidante total en el muestras de tomate aumentó a $13,33 \pm 0,65$, $13,95 \pm 0,62$, y $16,89 \pm 0,64$ μmol de vitamina C equivalente/g de tomate, respectivamente. Estos fueron aumentos de 27,93, 33,88 y 62,09%. El aumento en la actividad antioxidante total entre la muestra cruda y los tomates tratados fue estadísticamente significativo (Dewanto *et al.*, 2002).

El aumento de la capacidad antioxidante total de los tomates procesados por calor podría explicarse por el aumento en la cantidad de licopeno, un fitoquímico importante en tomates, y otros fitoquímicos liberados desde la matriz celular con un tratamiento térmico a 88°C. Otra razón podría ser los efectos aditivos y la sinergia de otros fitoquímicos tales como los compuestos fenólicos y flavonoides (Eberhardt *et al.*, 2000).

A pesar de la disminución observada en el contenido de ácido ascórbico, un incremento en la actividad antioxidante ha sido reportado en productos de tomate procesado. Ghaher *et al.*, (2003) reportaron un aumento en la actividad antioxidante (0,451-0,582 moles de $\text{Fe}^{2+}/100 \text{ g PF}$) en los extractos acuosos en muestra de salsa y sopas de tomate, lo cual se asoció con el incremento en el contenido de los compuestos fenólicos. Georgé *et al.*, (2011) reportaron un incremento del contenido de polifenoles y carotenoides (incluido el licopeno) como resultado del tratamiento térmico en tomates indicando que durante el calentamiento se facilita la liberación de licopeno presente en la fracción insoluble del tomate.

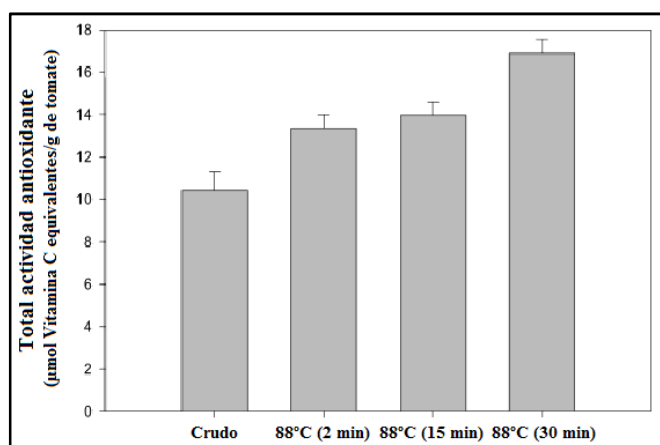


Figura 26. Efecto del tratamiento térmico a 88°C en la actividad antioxidante total (media $\pm$ DE, n = 6). Adaptado: Dewanto *et al.*, (2002).

4. IMPACTO DE LOS ANTIOXIDANTES EN LA SALUD HUMANA

4.1 Mecanismos de acción.

Los antioxidantes engloban un grupo de sustancias que presentan estructuras químicas y mecanismos de acción muy variados. Estos pueden inhibir o retardar la oxidación de dos formas: captando radicales libres, en cuyo caso se denominan antioxidantes primarios, o por mecanismos que no estén relacionados con la captación de radicales libres, en cuyo caso se conocen como antioxidantes secundarios (Zapata *et al.*, 2007).

Los antioxidantes primarios incluyen compuestos fenólicos, y se destruyen durante el período de inducción. Los antioxidantes secundarios operan a través de cierto número de mecanismos, incluyendo su unión a metales pesados, captación del oxígeno, conversión de hidroperóxidos a especies no radicales, absorción de radiación ultravioleta (UV) o desactivación del oxígeno singulete (Gordon, 2001). El ser humano está protegido del estrés oxidativo gracias a la acción de estas sustancias antioxidantes que poseen diferentes funciones (Shi *et al.*, 2001).

Los radicales superóxido se forman por la adición de un electrón al oxígeno molecular. Estas especies altamente reactivas pueden entonces adquirir otro electrón y combinarse con protones para formar peróxido de hidrógeno. En presencia de iones de metales de transición, tales como el Cu^{+2} y Fe^{+2} , el peróxido de hidrógeno se rompe para formar especies de oxígeno aún más reactivas con capacidad de dañar el DNA de forma directa o participar en las reacciones de propagación en cadena de los lípidos de membrana. Las células de los animales y las plantas se auto protegen contra estos efectos desplegando las así llamadas sustancias antioxidantes para atrapar o amortiguar los radicales libres y, por lo tanto, detener las reacciones dañinas provocadas por ellos. En los puntos más vulnerables al daño oxidativo, las células despliegan en el ambiente intra y extracelular una gran variedad de sistemas de defensa basados en antioxidantes, solubles en agua o en lípidos, y en enzimas antioxidantes. Muchos de estos

sistemas defensivos del cuerpo humano son dependientes de los antioxidantes que se derivan de la dieta (Zapata *et al.*, 2007).

2.2 Enfermedades no transmisibles.

El informe sobre "Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas" publicado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2003, reconoció que la evidencia científica asociada a la disminución del riesgo de ECV en las personas que consumen al menos 400 g de frutas y hortalizas al día era convincente y un elemento probable en la disminución del riesgo de algunos tipos de cánceres. Por su parte, el Fondo Internacional para la Investigación del Cáncer (WCRF) y el Instituto Americano de Investigación del Cáncer (AICR), en su informe "Alimentación, nutrición, actividad física y prevención del cáncer: una perspectiva mundial", confirman la evidencia científica entre la asociación de distintos tipos de cáncer y la alimentación, la actividad física y el peso de las personas. En la actualidad, los beneficios nutricionales del consumo de frutas y hortalizas, además de su reconocido aporte en vitaminas, minerales y fibra dietética, se asocian a su contenido en fitoquímicos con efecto antioxidante o con acciones específicas sobre algunas enzimas, que a su vez llevan a cabo importantes funciones que contribuyen a la prevención de diversas ENT (Palomo *et al.*, 2010).

Las enfermedades no transmisibles (ENT), especialmente las enfermedades cardiovasculares (ECV) y el cáncer, representan un importante problema de salud pública. Una de las estrategias para revertir esta situación es incrementar el consumo de frutas y hortalizas. El tomate, rico en licopeno, es la hortaliza de mayor consumo a nivel mundial y la que más se cultiva en Chile desde la década de los noventa, varios estudios epidemiológicos han mostrado que el consumo de tomate puede prevenir el desarrollo de eventos cardiovasculares (infarto agudo de miocardio y enfermedad cerebro vascular) y ciertos tipos de cáncer. Por su parte la vitamina C participa en la síntesis de colágeno (Libby y Aikawa, 2002) y juega un papel importante en la síntesis de hormonas esteroideas, carnitina y la degradación de la tirosina

(Harmeyer, 2002). Esta vitamina puede aumentar la biodisponibilidad del hierro (Nasolodin *et al.*, 1996), prevenir la mutación del ADN inducido por estrés oxidativo (Collins, 2004), modular la expresión génica y la función celular (con un interés particular en la diferenciación celular) (Duarte y Lunec, 2005).

Respecto a los mecanismos protectores de ECV se ha observado que el tomate presenta actividades antiplaquetaria, protectora del endotelio, antioxidante y antiaterogénica. Por su parte, entre los mecanismos por los cuales puede prevenir el cáncer, se han descrito las siguientes actividades: antioxidante, activación de apoptosis, disminución de la proliferación celular y disminución de la angiogénesis y metástasis, estos sucesos son provocados por la acción de los conocidos radicales libres. Se calcula cada célula del cuerpo padece unos 10.000 impactos de radicales libres al día (Youngson, 2004).

Las recomendaciones dietarias en los últimos años proponen el incremento del consumo de alimentos que contengan compuestos bioactivos, ya que éstos proveen efectos benéficos para la salud humana y juegan un papel importante en la prevención de enfermedades crónicas. Estas sustancias se denominan compuestos nutraceuticos (Jack, 1995), los que pueden variar dependiendo de la especie, el cultivar, los factores ambientales, las técnicas agrícolas, los tratamientos post cosecha y el almacenaje (Dumas *et al.*, 2003). Sin embargo, en Chile, el consumo de frutas y hortalizas se estima en 160 g/persona/día, cifra muy inferior a los 400 g/persona/día recomendados por la OMS (Palomo *et al.*, 2010).

5. CONCLUSIONES

Los antioxidantes naturales encontrados en las plantas responden a señales ambientales. Los factores ambientales mencionados son manipulables, en mayor o menor medida en los sistemas de producción comercial, esto significa que se encuentra al alcance la posibilidad de mejorar la calidad nutritiva de los productos vegetales que consumimos, respecto al contenido de antioxidantes.

Existen cultivares de tomate que dado su alto valor nutraceutico en un antioxidante determinado, pueden ser utilizados en programas de mejoramiento genético como padres donantes de esa característica. También existen tomates que poseen un valor antioxidante equilibrado en todos sus compuestos, por lo que son considerados preferentemente para consumo directo, ya que no presentan un valor excepcional en al menos uno de ellos.

El efecto mayoritario de la fertilización en el contenido antioxidante es de tipo indirecto, siendo fundamental el manejo del nitrógeno y su uso equilibrado. Esto para producir una cantidad de hojas ni excesiva ni escasa, permitiendo la llegada de luz al fruto de forma no directa y durante no todo el día. Así beneficiamos la formación de compuestos que actúan sobre el daño foto-oxidativo y a la vez se evita el daño por golpe de sol.

El tipo de fertilización orgánica juega un papel benéfico en la formación de antioxidantes por dos motivos; Al no utilizarse pesticidas, la planta se ve obligada a desarrollar mecanismos que le permitan hacer frente al estrés, por lo que aumenta su contenido principalmente de sustancias hidrosolubles como polifenoles y ácido ascórbico. Al ser los fertilizantes orgánicos de liberación lenta en nutrientes, la planta no forma sus compuestos fácilmente, sino al contrario, esto también genera un estrés controlado en la planta, al exponerla a un contenido limitado de elementos, por lo que también desarrollará mayor cantidad de antioxidantes como respuesta.

El licopeno es el pigmento más sensible a la deficiencia de potasio (K). Siendo este un cofactor esencial en la síntesis de proteínas, su deficiencia produce una reducción en las reacciones enzimáticas que intervienen en la síntesis de carotenos y precursores.

La respuesta de la planta frente a la luz representa un mecanismo de defensa frente al estrés. Al respecto hay que diferenciar que las bandas lumínicas producen un efecto distinto en el fruto, beneficiando la acumulación de antioxidantes, sin embargo, si esta radiación es excesiva (radiación ultravioleta) la planta se defenderá pero sólo hasta donde su potencial se lo permita, luego de ello se producirán daños irreparables como mancha solar.

No todos los compuestos evolucionan similarmente conforme avanza el estado de madurez, en el caso de los compuestos hidrosolubles (Vitamina C y polifenoles), estos se concentran en estadios intermedios de madurez, de esta forma si el propósito es consumirlos, no se deben ingerir frutos de color rojo intenso, caso contrario es para el licopeno, mientras más intenso el color del fruto, mayor es su contenido y mejor es su biodisponibilidad al desarrollarse la estructura *cis* licopeno.

El almacenamiento en atmósfera controlada (4 kPa O₂+ 96 kPa N₂a 12°C) es efectivo para retrasar los cambios de color, las velocidades de respiración, producción de etileno, la maduración y para mantener la firmeza de tomate. Después de 21 días de almacenamiento a 12 °C, el uso de bajo oxígeno disminuye la degradación de ácido ascórbico y afecta positivamente la síntesis de licopeno. Basado en la apariencia externa, la retención de firmeza y la calidad nutricional, se puede concluir que el almacenamiento en atmósfera controlada es una alternativa útil para extender la vida de anaquel y el periodo de comercialización de tomate, permitiendo almacenar la fruta por 21 días a 12°C seguido de un periodo de maduración comercial de 12 días a 23°C; por lo que los productores y distribuidores tendrán más tiempo para posicionar sus frutos en mercados distantes conservando el valor nutraceutico.

El procesamiento juega a favor de la concentración de antioxidantes en el producto final, esto porque se liberan desde la matriz (luego del rompimiento celular) carotenoides y polifenoles, siendo estos los compuestos más estables al tratamiento térmico, no así el caso del ácido ascórbico que representa el compuesto más sensible y lábil a la exposición a oxígeno, luz y temperatura, por lo que siempre será favorable ser rigurosos en tratamientos de tiempo y número de pasos reducidos.

6. RESUMEN

El tomate es una de las hortalizas más consumidas a lo largo del año en todo el mundo. Por esta razón, se ha convertido en una fuente importante de minerales y componentes nutraceuticos (licopeno, vitamina C y polifenoles), los cuales representan un papel clave en la salud humana. Estos compuestos son poderosos agentes que neutralizan a los temidos radicales libres, responsables de importante daño a los componentes de la célula (membrana celular, ADN, proteínas). Existe una fuerte evidencia científica que explica su mecanismo de acción, interviniendo en la reducción de la incidencia de cáncer prostático, cáncer de estómago y enfermedades cardiovasculares. Este hecho hace que los trabajos destinados a mejorar la actividad antioxidante del tomate sean de sumo interés.

Es reconocida la fuerte incidencia que ejercen los factores ambientales e industriales en el contenido total de antioxidantes en determinados frutos. Es por ello fundamental tener conocimiento de cómo debe ser el manejo que le otorguemos a la planta y al fruto de tomate, para obtener un contenido óptimo de antioxidantes. Al respecto el presente estudio tuvo como objeto analizar cómo influyen los factores luz, temperatura, fertilización, variedad, procesamiento, almacenamiento y estado de madurez en el contenido de antioxidantes en tomate.

El resultado del análisis de la información recopilada señala que el efecto de la luz sobre el tomate, corresponde a un mecanismo de defensa frente al estrés foto oxidativo con un potencial de respuesta limitado del fruto, principalmente incidencia de rayos ultravioleta e infrarrojos. Si la exposición del fruto es prolongada se producirán daños irreparables como quemaduras o mancha solar.

El efecto que tiene la temperatura sobre el contenido de carotenoides en el tomate es significativo. Temperaturas por debajo de 12°C inhiben fuertemente la biosíntesis de licopeno, mientras que temperaturas sobre 32°C la detiene totalmente. Altatemperatura (35°C) inhibe específicamente la acumulación de licopeno estimulando la conversión de este a β -caroteno. En

el rango de temperaturas favorables (22-25°C), la síntesis de licopeno y demás carotenos puede aumentarse con una suplementación en la iluminación del fruto del tomate durante el estadio de maduración. En tanto temperaturas moderadas reducen la respiración del fruto, resultando esto, en un incremento en la acumulación de azúcares o esqueletos carbonados favorables para la síntesis de polifenoles y vitamina C.

Existen diferencias significativas en el contenido de antioxidantes en diferentes variedades de tomate. Las variedades de tomate cherry, emparentadas filogenéticamente con *Solanum pimpinellifolium* L., alcanzan el mayor valor antioxidante.

La fertilización orgánica juega un papel benéfico en la formación de antioxidantes. Al no utilizarse pesticidas, la planta se ve obligada a desarrollar mecanismos que le permitan hacer frente al estrés, por lo que aumenta su contenido principalmente de sustancias hidrosolubles como polifenoles y ácido ascórbico.

El procesamiento juega a favor de la concentración de antioxidantes en el producto final, esto porque se liberan desde la matriz (luego del rompimiento celular) carotenoides y polifenoles, siendo estos los compuestos más estables al tratamiento térmico, no así para el caso del ácido ascórbico que representa el compuesto más sensible y lábil a la exposición a oxígeno, luz y temperatura.

El almacenamiento en atmósfera controlada (4 kPa O₂+ 96 kPa N₂ a 12°C) es efectivo para retrasar los cambios de color, las velocidades de respiración, producción de etileno, la maduración y para mantener la firmeza de tomate. Después de 21 días de almacenamiento a 12 °C y el uso de bajo oxígeno, se disminuye la degradación de ácido ascórbico y se afecta positivamente la síntesis de licopeno en un periodo posterior de maduración comercial a 23°C.

El contenido de licopeno aumenta en estados avanzados de madurez del tomate, mientras que el contenido de polifenoles y vitamina C es mayoritario en estadios intermedios.

Palabras claves: Licopeno, ácido ascórbico, polifenoles, tomate, variedades, antioxidante, enfermedades no transmisibles.

7. SUMMARY

The tomato is one of the most consumed vegetables throughout the year around the world. For this reason, it has become an important source of minerals and nutraceutical components (lycopene, vitamin C and polyphenols), which have a key role in human health. These compounds are powerful agents feared that neutralize free radicals responsible for extensive damage to the components of the cell (cell membrane, DNA, protein). There is strong evidence that their mechanism of action explains intervening in reducing the incidence of prostate cancer, stomach cancer and cardiovascular diseases. This fact makes the work to improve the antioxidant activity of tomato are of great interest.

It is recognized that exert strong incidence industrial and environmental factors in the total antioxidant content in certain fruits. It is therefore essential to have knowledge of what should be the management that we give to the plant and tomato fruit, to obtain an optimum content of antioxidants. In this regard the present study was to analyze the factors influencing how light, temperature, fertilization, variety, processing, storage and maturity stage on antioxidant content of tomatoes.

The result of the analysis of the collected information indicates that the effect of light on tomato corresponds to a defense mechanism against photo oxidative stress response with limited potential fruit mainly incidence of ultraviolet and infrared. If exposure is prolonged fruit irreparable damage will occur as burns or sunspot.

The effect of temperature on carotenoid content of tomato is significant. Temperatures below 12°C strongly inhibit biosynthesis of lycopene, whereas above 32°C completely stops. High temperature (35°C) specifically inhibits the accumulation of lycopene stimulating the conversion of β -carotene. In the favorable temperature range (22-25°C), the synthesis of lycopene and other carotenoids may be increased by supplementation lighting during tomato fruit ripening stage. At moderate temperatures reduce both the fruit respiration, this results in an

increased accumulation of sugars or favorable carbon skeletons for the synthesis of polyphenol and vitamin C.

There are significant differences in the content of antioxidants in different tomato varieties. The varieties of cherry tomatoes, phylogenetically related to *Solanum pimpinellifolium* L., reaching the highest antioxidant value.

The organic fertilization plays a beneficial role in the formation of antioxidants. When not used pesticides, the plant is forced to develop mechanisms to cope with stress, thereby increasing its content mainly soluble substances like polyphenols and ascorbic acid.

The process works in favor of the antioxidant concentration in the final product, because they are released from this matrix (after cell disruption) carotenoids and polyphenols, which are the most stable compounds to heat treatment, but not for the case of ascorbic acid which represents the most sensitive and labile compound upon exposure to oxygen, light and temperature.

The controlled atmosphere storage (4 kPa O₂+ 96 kPa N₂at 12°C) is effective for delaying the color changes, the rates of respiration and ethylene production, ripening and to maintain firmness of tomato. After 21 days of storage at 12°C and the use of low oxygen, is reduced degradation of ascorbic acid and positively affect the synthesis of lycopene in a commercial ripening subsequent period at 23°C.

The lycopene content increases in advanced stages of maturity of tomato, while the content of polyphenols and vitamin C is predominant in intermediate stages.

Key words: Lycopene, ascorbic acid, polyphenols, tomato varieties, antioxidant, non-communicable disease.

8. LITERATURA CITADA

- **Abushita, A.A., Dado, H.G., Biacs, P.A.** 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(6): 2075–2081.
- **Adalid, A., Roselló, S., Nuez, F.** 2010. Evaluation and selection of tomato accessions (*Solanum* section *Lycopersicon*) for content of lycopene, β - carotene and ascorbic acid. *Journal of Food Composition and Analysis*. 23(6): 613-618.
- **Adams, S.R., Cockshull, K.E., Cave, C.R.J.** 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany*. 88(5): 869-877.
- **Ajlouni, S., Kremer, S., Masih, L.** 2001. Lycopene content in hydroponic and non-hydroponic tomatoes during postharvest storage. *Food Australia*. 53(5): 195–196.
- **Alba, R., Cordonnier-Pratt, M.M., Pratt, L.H.** 2000. Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. *Plant Physiology*. 123(1): 363-370.
- **Amiot, M.J., Tourniaire, F., Margotat, A.** 2007. Flavonoids in food and wine. *Acta horticola (Canada)*. 744: 107-116.
- **Arabbi P.R., Genovese, M.I., Lajol, F.M.** 2004. Flavonoids in Vegetable Foods Commonly Consumed in Brazil and Estimated Ingestion by the Brazilian Population. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52 (5), 1124-1131
- **Asami, D.K., Hong, Y.J., Barrett, D.M., Mitchell, A.E.** 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(5): 1237–1241.
- **Badui, S.** 2006. Química de los alimentos. Cuarta Edición. Editorial Pearson - México. 251, 259-260.
- **Barbany J.R., Javierre, Casimiro.** 2006. Suplementación en vitamina c y rendimiento deportivo. *Revisión archivos medicina del deporte (España)*. 23 (111): 49-59.
- **Becvort-Azcurra, A.** 2011. Acumulación de selenio en tomate y su efecto en el crecimiento, productividad y capacidad antioxidante del fruto. *Revista Terra*

Latinoamericana. Tesis Ingeniero agrónomo. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista, México. 50 p.

- **Beyer, P., Nievelstein, V., Albabili, S., Bonk, M., Kleinig, H.** 1994. Biochemical aspects of carotene desaturation and cyclization in chromoplast membranes from *Narcissus pseudonarcissus*. *Pure and Applied Chemistry*. 66(5): 1047- 1056.
- **Boileau, A.C., Merchen, N.R., Wasson, K., Atkinson, C.A, Erdman, J.W.** 1999. *Cis*-lycopene is more bioavailable than *trans*-lycopene *in vitro* and *in vivo* in lymph-cannulated ferrets. *Journal Nutritional*. 129(6): 1176-1181.
- **Bohm, V., Bitsch, R.** 1999. Intestinal absorption of lycopene from different matrices and interactions to other carotenoids, the lipid status, and the antioxidant capacity of human plasma. *European Journal of Nutrition*. 38(3): 118–125.
- **Brady, N.C.** 1990. *The Nature and Properties of Soils*, 10th ed. Macmillan Publishing Company, New York. 621 p.
- **Bragazza, L., Freeman, C.** 2007. High nitrogen availability reduces polyphenol content in *Sphagnum* peat. *Science of the Total Environment*. 377(2-3): 439-443.
- **Brouillard, R., Cheminant, A.** 1988. Flavonoids and plant color. *Plant Flavonoids in Biology and Medicine: Biochemical, Cellular and Medicinal Properties*. 280: 93-106.
- **Brunhold, C.** 1993. Regulatory interactions between sulfate and nitrate assimilation. In: De Kok L.J., Stulen I., Rennenberg H., Brunold C., Rauser W.E. (eds): *Sulphur Nutrition and Assimilation in Higher Plants*. SPB Academic Publishing. The Hague: 61–75.
- **Cabrera-De la Fuente., M., A. Benavides-Mendoza, L.O. Fuentes-Lara, H. Ortega-Ortíz, H. Ramírez, J.L. Rosales-Velázquez.** 2006. Acumulación de plata por semillas de sandía expuestas a diferentes concentraciones de nitrato de plata. *Memoria del Simposio Internacional Alternativas para la Rehabilitación de Suelos Contaminados con Metales Pesados y Metaloides*. Colegio de Posgraduados y Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. ISBN. 970-92068-2-2.
- **Cartelat, A., Cerovic, Z.G., Goulas, Y., Meyer, S., Lelarge, C., Prioul, J.L., Barbottin, A., Jeuffroy, M.H., Gate, P., Agati, G., Moya, I.** 2005. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrógeno deficiency in wheat (*Triticumaestivum* L.). *Field Crops Research*. 91: 35-49.
- **Cartes, P., Gianfera, L., Mora, M. L.** 2005. Uptake of selenium and its antioxidative activity in ryegrass when applied a selenate and selenite forms. *Plant Soil*. 276: 359-367.

- **Castenmiller, J.J.M., West, C.E.** 1998. Bioavailability and bioconversion of carotenoids. *Ann. Rev. Nutr.* 18: 19-38.
- **Chandra, H.M., Ramalingam, S.** 2011. Antioxidant Potentials of Skin, Pulp, and Seed Fractions of Commercially Important Tomato Cultivars. *Food Science and Biotechnology.* 20: 15-21.
- **Chang, Y.H., Raymundo, L.C., Glass, R.W., Simpson, K.L.** 1977. Effect of high temperature on CPTA-induced carotenoid biosynthesis in ripening tomato fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 25, 1249–1251.
- **Chang, C.H., Lin, H.Y., Chang, C.H., Liu, H.C.** 2006. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering.* 77, 478-485.
- **Constán-Aguilar, C., Barrameda-Medina, Y., Montesinos-Pereira¹, D., Romero, L., Soriano, T., Ruiz, J.M.** 2012. Efecto de la biofortificación con potasio en la postcosecha de tomate cherry: implicación de algunos fenoles. Documento resumen XIV Simposio Hispano-Luso de nutrición mineral de las plantas. *Nutri planta.* Madrid, España. P.6.
- **Clinton, S.K.** 1998. Lycopene: Chemistry, biology and implications for human health and disease. *Nutritional Review.* 56, 35–51.
- **Coley, P.D., Bryant, J.P., Chapin, S.** 1985. Resource availability and plant antiherbivore defense. *Science.* 230: 895–899.
- **Collins, A.R.** 2004. Oxidative DNA damage: The link with fruit and vegetables. *Agro Food Industry Hi-Tech.* 15: 23.
- **Cox, S.E., Stushnoff, C., Sampson, D.A.** 2003. Relationship of fruit color and light exposure to lycopene content and antioxidant properties of tomato. *Canadian Journal of Plant Science.* 83(4): 913-919.
- **Crisosto, C.H., Garner, D., Crisosto, G.** 2002. High carbon dioxide atmosphere affect stored ‘Thompson Seedless’ table grape. *HortScience.* 37: 1074-1078.
- **Crozier, A., Lean, M.E.J., McDonald, M.S., Black, C.** 1997. Quantitative Analysis of the Flavonoid Content of Commercial Tomatoes, Onions, Lettuce, and Celery. *J. Agric Food Chem.*, 45, 590-595.

- **Davies, J.N., Hobson, G.E.** 1981. The constituents of tomato fruit—the influence of environment, nutrition, and genotype. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 15, 205–280.
- **Dewanto, V., Wu, X.Z., Adom, K.K., Liu, R.H.** 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(10), 3010–3014.
- **Dibb, D.W., Roberts, T. L., Welch, R. M.** 2005. De la cantidad a la calidad: La importancia de los fertilizantes en la alimentación humana. *Informaciones agronómicas*. (60): 2-9.
- **Duarte, T.L., Lunec, J.** 2005. When is an antioxidant not an antioxidant? A review of novel actions and reactions of vitamin C. *Free Radical Research*. 39: 671-686.
- **Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., Grolier, P.** 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 83 (5): 369-382.
- **Eberhardt, M.V., Lee, C.Y., Liu, R.H.** 2000. Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*. 405, 903-904.
- **ENCICLOPEDIA DE NUTRACEUTICOS.** 2012. <<http://nutraceuticos2012.blogspot.com/2012/10/ruta-biosintetica.html>> Conexión 13/12/2012.
- **Fennema, O.** 2000. *Food Chemistry*. Second Edition. Marcel Dekker, INC. Estados Unidos. 176, 198p.
- **Foyer, C.H., Noctor, G.** 2005. Oxidant and antioxidant signaling in plants: re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant Cell Environ*. 28:1056–1071.
- **Fraser, P.D., Romer, S., Shipton, C.A., Mills, P.B., Kyano, J.W., Misawa, N., Drake, R.G., Schuch, W., Bramley, P.M.** 2002. Evaluation of transgenic tomato plants expressing an additional phytoene synthase in a fruit-specific manner. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 99: 1092–1097.
- **Gahler, S., Otto, K., Bohm, V.** 2003. Alterations of vitamins C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *J. Agric. Food Chem*. 51: 7962-7968.

- **Galiana-Balaguer, L., Rosello, S., Herrero-Martínez, J.M., Maqueira, A., Nuez, F.** 2001. Determination of l-ascorbic acid in *Lycopersicon* fruits by capillary zone electrophoresis. *Analytical Biochemistry*. 296: 218–224.
- **Garcia-Alonso, F.J., Jacob k., Iniesta, M.D., Carmen, M., Martínez, G., Periago, M.J.** 2007. Evolución de compuestos bioactivos durante la maduración del tomate. V congreso iberoamericano de tecnología postcosecha y agro exportaciones. 978-84-95781-85-7.
- **Gautier, H., Rocci, A., Buret, M., Grasselly, D., Dumas, Y., Causse, M.** 2004. Effect of photo selective filters on the physical and chemical traits of vine-ripened tomato fruits. *Canadian Journal of Plant Science*. 85(2): 439-446.
- **Gautier, H., Rocci, A., Buret, M., Grasselly, D., Causse, M.** 2005. Fruit load or fruit position alters response to temperature and subsequently cherry tomato quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85 (6): 1009-1016.
- **George, B., Kaur, C., Khurdiya, D.S., Kapoor, H.C.** 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry*. 84, 45–51.
- **Georgé, S., Tourniaire, F., Gautier, H., Goupy, P., Rock, E., Caris-Veyrat, C.** 2011. Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. *Food Chem*. 124: 1603- 1611.
- **Gil, J.F., Gómez, M., Trejos, J.** 2009. Citotoxicidad y actividad anticancerígena de dos flavonoides aislados y purificados de *Brownea ariza* Brenth. *Vitae (Colombia)*. 16 (1): 93-101.
- **Giliberto, L., Perrota, G., Pallara, P., Weller, J.L., Fraser, P.D., Bramley, P.M., Fiore, A., Tavazza, M., Giuliano, G.** 2005. Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content. *Plant Physiology*. 137 (1): 199-208.
- **Gómez, M.S.** 2009. Deshidratado de tomate saladette en un secador de charolas giratorias. Tesis Ingeniero en alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajuapán de León, Oaxaca, México. 76 p.
- **Gordon, M.H.** 2001. El desarrollo del enranciamiento oxidativo en los alimentos. En: Pokorny, J., Yanishlieva, N., Gordon, M. *Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas*. Zaragoza: Ed. ACRIBIA. pp 7-21.

- **Green, M.A., Fry, S.C.** 2005. Degradation of vitamin C in plant cells via enzymatic hydrolysis of 4-O-oxalyl-L-threonate. *Nature*. 433:83-87.
- **Grierson, D., Kader, A.A.** 1986. Fruit ripening and quality. In J. G. Atherton & J. Rudich (Eds). *The tomato crop: A scientific basis for improvement* (pp. 241–280). London: Chapman and Hall.
- **Hahkonen, M., Hopia, A., Heinonen, M.** 2001. Berry phenolics and their antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49: 4076-4082.
- **Halliwell, B. y Gutteridge, J. M. C.** 1999. *Free radicals in biology and medicine* (3rd Ed). Oxford University Press.
- **Hamner, K.C., Bernstein, L., Maynard, L.A.** 1945. Effects of light intensity, day length, temperature, and other environment factors on the ascorbic acid content of tomatoes. *Journal of Nutrition*. 29, 85–97.
- **Harmeyer, J.** 2002. The physiological role of L-carnitine. *Lohmann Information*, 27: 15-22.
- **Hedges, L., Lister, C.** 2005. Nutritional attributes of tomatoes Crop & Food Research Confidential Report No. 1391.
- **Heid, J., Maynard, J.** 1981. *Fundamentals of food processing operations*. Ingredient, methods and packaging. Thirt Edition. United State of America. The Avi Publishing Company, Inc. 14-128p.
- **Howard, L.R., Pandjaitan, N., Morelock, T., Gil, M.I.** 2002. Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and growing season. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50, 5891–5896.
- **Hunt, G.M., Baker, E.A.** 1980. Phenolic constituents of tomato fruit cuticles. *Phytochemistry* 19, 1415–1419.
- **Jack, D.B.** 1995. Keep taking the tomatoes - the exciting world of nutraceuticals. *Molecular Medicine Today*. 1: 118-121.
- **Jenkins, J.A.** 1948. The origin of the cultivated tomato. *Economic Botany*. 2 (4): 379-392.
- **Jones, C.G., Hartley, S.E.** 1999. A protein competition model of phenolic allocation. *Oikos*. 86: 27-44.

- **Kader, A.A.** 2003. Physiology of CA treated produce. *Acta Horticulturae*. 600: 349-354.
- **Kalt, W., Forney, C.F., Martin, A., Prior, R.L.** 1999. Antioxidant capacity, Vitamin C, Phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 47, 4638–4644.
- **Kalt, W.** 2005. Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*. 70: 11-19.
- **Khudairi, A.K.** 1972. The ripening of tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 60: 696–707.
- **Kiran, K., Ahuja, M., Pittaway, J., Ball, M.** 2006. Effects of olive oil and tomato lycopene combination on serum lycopene, lipid profile, and lipid oxidation. *Nutrition* 22: 259–265.
- **Kolotilin, I., Koltai, H., Tadmor, Y., Bar-Or, C., Reuveni, M., Meir, A., Nahon, S., Shiomo, H., Chen, L., Levin, I.** 2007. Transcriptional profiling of high pigment-2dg tomato mutant links early plastid biogenesis with its overproduction of phytonutrients. *Plant Physiology*. 145 (2): 289–401.
- **Lancaster, J.E.** 1992. Regulation of skin colour in apples: a review. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 10 (6): 487-502.
- **Lavelli, V., Hippeli, S., Peri, C., Elstner, E.** 1999. Evaluation of radical scavenging activity of fresh and air dried tomatoes by three model reaction. *J. Agric. Food Chem.* 47: 3826-3831.
- **Lee, K.S., Kader, A.A.** 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*. 20 (3): 207–220.
- **Lenucci, M.S., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G., Dalessandro, G.** 2006. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 2606–2613.
- **Leoni, C.** 1992. Industrial quality as influenced by crop management. *Acta Horticulturae*, 301: 177-184.
- **Lester, G.E.** 2006. Environmental regulation of human health nutrients (ascorbic acid, β -carotene, and folic acid) in fruits and vegetables. *Hort Science* 41 (1): 59-64.
- **Libby, P., Aikawa, M.** 2002. Vitamin C, collagen, and cracks in the plaque. *Circulation*, 105: 1396-1398.

- **López, J., Tremblay, N., Voogt, W., Dube, S., Gosselin, A.** 1996. Effects of varying sulphate concentrations on growth, physiology and yield of the greenhouse tomato. *Scientia Horticulturae*. 67, 207–217.
- **López, J.A., Valverde, F.J., Mejía, S.L., López, G., Vega, M.O.** 2011. Efecto del almacenamiento en atmósfera controlada sobre la calidad postcosecha y nutricional del tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 17 (2):115-128.
- **Lozano, M., Montero de Espinosa, V., Hernández, M.T., Sabio, E., Castro, F.J., Bernalte, M.J.** 2002. Color del concentrado del tomate. *Revista digital horticultura*.
- **Luthria, D.L., Mukhopadhyay, S., Krizek, D.T.** 2006. Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 771-777.
- **Macheix, J.J., Fleuriet, A., Billot, J.** 1990. Fruit phenolics. Florida: CRC Press, Inc.
- **Madrazo, J.M., Madrazo, A.M.** 2005. Papel de los lípidos y lipoproteínas en la aterogénesis. *Revista Cubana de Medicina (Cuba)*. 44 (5-6).
- **Mapson, L.W.** 1970. Vitamins in fruits. In A. C. Hulme (Ed.), *Biochemistry of fruits and their products* (pp. 369–383). London: Academic Press.
- **Martínez-Valverde, I., Periago, M.J., Ros, G.** 2000. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición (España)*. 50 (1): 5-18.
- **Martínez, J.P., Antúnez, A., Pertuzé, R., Araya, H.** 2010. Tomate: El manejo de la salinidad cambia la productividad y calidad. *INIA Tierra Adentro (Chile)*. (91): 12-14.
- **Maul, E., Sargent, S.A., Sims, C.A., Baldwin, E.A., Balaban, M.O., Huber, D.J.** 2000. Tomato flavor and aroma quality as affected by storage temperature. *Journal of Food Science*. 65, 1228-1237.
- **McCollum, J.P.** 1954. Effects of light on the formation of carotenoids in tomato fruit. *Journal of Food Science*. 19: 182-189.
- **McGlasson, B.** 2003. Tomatoes. In: *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*. Caballero, B., Trugo, L.C., Finglas, P.M. (Eds), Academic Press Inc. New York, USA. 5800-5808.

- **Miller, N.J., Rice Evans, C.A.** 1997. The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink. *Food Chemistry*. 60, 331-337.
- **Mittler, R.** 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7:405–410.
- **Mozafar, A.** 1993. Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: a review. *Journal of Plant Nutrition*. 16, 2479-2506.
- **Mustilli, A.C., Fenzi, F., Gliento, R., Alfano, F., Bowler, C.** 1999. Phenotype of the tomato high pigment-2 mutant is caused by a mutation in the tomato homologue of de-etiolated 1. *The Plant Cell*. 11(2): 145-157.
- **Nasolodin, V.V., Rusin, V.Y., Dvorkin, V.A., Shipov, N.A., Gulevskaya, G.V.** 1996. Interrelationship between vitamin C and trace elements and their role in the prevention of iron-deficiency conditions - a review. *Gigiena i Sanitariya*, 6: 26-29.
- **Nguyen, M.L., Schwartz, S.J.** 1999. Lycopene: Chemical and biological properties. *Food Technology*. 53, 38-45.
- **Noctor, G., Foyer, C.H.** 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 49: 249-279.
- **Núñez, F.** 2012. Producción de tomate Amarillo en invernadero. *Boletín informativo Instituto de Ciencias Agrícolas (México)*. 3(17): 4.
- **Olsson, L.C., Veit, M., Weissenbock, G., Bornman, J.F.** 1998. Differential flavonoid response to enhanced UV-B radiation in *Brassica napus*. *Phytochemistry*. 49, 1021–1028.
- **Palomo, I. Moore-Carrasco, R., Carrasco, G., Villalobos, P., Guzmán, L.** 2010. El consumo de tomates previene el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cáncer: antecedentes epidemiológicos y mecanismos de acción. *Idesia*. 28(3): 121-129.
- **Palomo, I., Fuentes, Q., Carrasco, S., González, R., Moore-Carrasco, R.** 2010. Actividad antioxidante hipolipemiente y antiplaquetaria del tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) y el efecto de su procesamiento y almacenaje. *Revista Chilena de Nutrición*. 37(4): 524-533.

- **Par, A.J., Bolwell, G.P.** 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 80, 985–1012.
- **Peinado, I., Heredia, A., Andrés, A.** (2007). Influencia de la condiciones de deshidratación en los niveles de compuestos con actividad antioxidante del tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme). Tesis de máster en gestión y seguridad alimentaria. Universidad Politécnica de Valencia.
- **Pérez-Conesa, D., Garcia-Alonso, J., Garcia-Valverde, V., Iniesta, M.D., Jacob, K., Sanchez-Siles, L.M.** 2009. Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato puree. *Innovative. Food Science and Emerging Technology*. 10(2), 10 (12) 179–188.
- **Pighín, A.F., Rossi, A.L.** 2010. Espinaca fresca, supercongelada y en conserva: contenido de vitamina c pre y post cocción. *Revista chilena de nutrición (Chile)*. 37 (2): 201-207.
- **Plana, D., Florido, M., Álvarez, M., Moya, C., Dueñas, F., Regla, C., Rodríguez, J.L.** 2008. Efecto de la radiación solar en la intensidad y severidad de la mancha solar en frutos de tomate. *Cultivos tropicales*. 29 (4): 85-90.
- **Porrini, M., Riso, P., Testolin, G.** 1998. Absorption of lycopene from single or daily portions of raw and processed tomato. *Brit. J. Nutr.* 80: 353- 361.
- **Premuzic, Z., Bargiela, M., Garcia, A., Rendina, A., Iorio, A.** 1998. Calcium, iron, potassium, phosphorus, and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. *Hortscience*. 33, 255–257.
- **Prior, R.L., Wu, X., Schaich, K.** 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4290-4302.
- **Raffo, A., Leonardi, C., Fogliano, V., Ambrosino, P., Salucci, M., Gennaro, L., Bugianesi, R., Giuffrida, F., Quaglia, G.** 2002. Nutritional Value of CherryTomatoes (*Lycopersicon Esculentum* Cv. Naomi F1) Harvested at Different RipeningStages. *Journal. Agricultural. Food Chemistry*. 50, 6550-6556.
- **Rao A.V., Ray M.R. y Rao L.G.** 2006. *Advances in Food and Nutrition Research*. Lycopene. Steve L. Taylor. Ed Elsevier. Toronto, Canada. 369 p.
- **Rao, A.V., Rao, L.** 2007. Carotenoids and human health. *Pharmacological Research* 55 207–216.

- **Rayman, M. P.** 2008. Food-chain selenium and human health: emphasis on intake. *British Journal of Nutrition*. 100 (2): 254–268.
- **Re, R., Bramley, P.M., Rice, E.C.** 2002. Effects of food processing of flavonoids and lycopene status in Mediterranean tomato variety. *Free Radical Res.* 36, 803-810.
- **Riadh, I., Chafik, H., Marcello, L., Imen, T., Giuseppe, D.** 2011. Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. *Scientia Horticulturae*. 127 (3): 255-261.
- **Riipi, M., Ossipov, V., Lempa, K., Haukioja, J., Ossipova, S., Pihlaja, K.** 2002. Seasonal changes in birch leaf chemistry: are there tradeoffs between leaf growth and accumulation of phenolics. *Oecologia*. 130, 380–390.
- **Rivero, R.M., Ruiz, J.M., Romero, L.** 2004. Importance of N source on heat stress tolerance due to the accumulation of proline and quaternary ammonium compounds in tomato plants. *Plant biology*. 6 (6): 702-707.
- **Rosales, M.A., Ruiz, J.M., Hernández, J., Soriano, T., Castilla, N., Romero, L.** 2006. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86(10):1545-1551.
- **Rosales, M.A.** 2008. Producción y calidad nutricional en frutos de tomate cherry cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: respuestas metabólicas y fisiológicas. Tesis licenciado en biología. Universidad de Granada. Granada, España. 212 p.
- **Saavedra, G., Ciudad, C.** 2002. Interacción tomate-licopeno en la nutrición humana. *Tierra Adentro (Chile)*. (47): 38-40.
- **Scalbert, A., Williamson, Gary.** 2000. Dietary Intake and Bioavailability of Polyphenols. *The journal of nutrition*. 130 (8): 73-85.
- **Serra, H.M., Cafaro, T.A.** 2007. Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana (Argentina)*. 41 (4): 525-532.
- **Shi, H., Noguchi, N., Niki, E.** 2001. Introducción a los antioxidantes naturales. En: Pokorny, J., Yanishlieva, N., Gordon, M. *Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas*. Zaragoza: Ed. ACRIBIA. pp 141-151.

- **Shindo Y., Witt E., Han D., Epstein W., Parker, L.** 1994. Enzymic and non-enzymic antioxidants in epidermis and dermis of human skin. *Journal of Investigative Dermatology*. 102: 122-124.
- **Sies, H., Stahl, W.** 1998. Lycopene: antioxidant and biological effects and its bioavailability in the man. *Proceeding of the Society of Experimental Biology and Medicine*. 218: 121-124.
- **Singh, N., Singh, M.** 1978. Effect of cations and anions on the absorption of sulphur (S35) by raya seedlings (*Brassica juncea* coss). *Indian Journal of Plant Physiology*. 21, 34–40.
- **Smith, H.** 1973. Regulatory mechanisms in the photo control of flavonoid biosynthesis. In: Milborrow, B.V. (Ed.), *Biosynthesis and Its Control in Plants*. Academic Press, New York, pp. 303–320.
- **Taber, H., Perkins-Veazie, P., Li, S., White, W., Roderniel, S., Xu, Y.** 2008. Enhancement of tomato fruit lycopene by potassium is cultivar dependent. *Hortscience*, 43: 159-165.
- **Takeoka, G.R., Dao, L., Flessa, S., Gillespie, D.M., Jewell, W.T., Huebner, B.** 2001. Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49, 3713–3717.
- **Thomas, R.L., Jen, J.J.** 1975. Phytochrome-mediated carotenoid biosynthesis in ripening tomatoes. *Plant Physiol* 56: 452–453
- **Thompson, K.A., Marshall, M.R., Sims, C.A., Wei, C.I., Sargent, S.A., Scott, J.W.** 2000. Cultivar, maturity, and heat treatment on lycopene content in tomatoes. *Journal of Food Science*. 65: 791-795.
- **Toor, R.K., Savage, G. P.** 2005. Antioxidant activities in different fractions of tomato. *Food Research International*. 38, 487–494.
- **Toor, R., Savage, G., Heeb, A.** 2006. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 20–27.
- **Toor, R., Savage, G.** 2006. Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*. 99: 724–727.

- **Toor, R.K., Savage, G.P., Lister, C.E.** 2006. Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19 (1): 1-10.
- **Torres, C.A., Andrews, P.K., Davies, N.M.** 2006. Physiological and biochemical responses of fruit exocarp of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) mutants to natural photo-oxidative conditions. *Journal of Experimental Botany*. 7(9): 1933-1947.
- **Trudel, M.J., J.L, Ozbun.**1971. Influence of potassium on carotenoid content of tomato fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 96(6): 763-765.
- **Ubi, B.E.** 2004. External stimulation of anthocyanin biosynthesis in apple fruit. *Journal: Food, Agriculture & Environment*. 2(2): 65-70.
- **Visioli, F., Caruso, D., Galli, C., Viappiani, S., Galli, G., Sala, A.** 2000. Olive oils rich in natural catecholic phenols decrease isoprostane excretion in humans. *Biochemical and Biophysical Research Communications (Italy)*. 278(3): 797-799.
- **Vitale, A.A., Bernatene, E.A. y Pomilio, A.B.** 2010. Carotenoides en quimio prevención: Licopeno. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana (Argentina)*. 44(2): 195-238.
- **Waliszewski, K.N., Blasco, G.** 2010. Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud pública de México*. 52(3): 254-265.
- **White, P. J., Bowen, H.C., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W.P., Spiby, R.E.** 2004. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*. 55: 1927–1937.
- **Wu, J.S., Nelson, P.E.** 1997. Tomato Products. In: D.S. Smith, J.N. Cash, W.K. Nip, Y.H. Hui. Editors. *Processing Vegetables. Science and Tecnology*. Technomic Publishing Co. INC. 389-415.
- **Yanuriati, A., Savage, G. P., Rowe, R. N.** 1999. The effects of ethanol treatment on the metabolism, shelf life and quality of stored tomatoes at different maturities and temperatures. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 79, 995-1002.
- **Youngson, R.** 2004. ¿Qué son los radicales libres? (pp. 15-29), en: *Antioxidantes y radicales libres*. Madrid: Edit. ACRIBIA.
- **Zanoni, B., Peri, C., Nani, R., Lavelli, V.** 1998. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Res Int*. 31: 395-40.

- **Zapata, L.M., Gerard, L., Davies, C., Schvab, M.C.** 2007. Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. (35): 173-193.
- **Zhou, K., Yu, L.** 2006. Total phenolic contents and antioxidant properties of commonly consumed vegetables grown in Colorado. *Food Science and Technology*. 39: 1155-1162.
- **Zou, L., Li, H., Ouyang, B., Zhang, J., Ye, Z.** 2006. Cloning and mapping of genes involved in tomato ascorbic acid biosynthesis and metabolism. *Plant Science*. 170: 120-127.