



Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Agronomía - Programa de Magíster en Ciencias Agronómicas

**PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL TOMATE (*Lycopersicon esculentum* L.) EN
RESPUESTA AL TIPO DE FERTILIZACIÓN Y LA COBERTURA CON MALLAS
SOMBRA**

**Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Agronómicas
Mención Producción y Protección Vegetal**

ÁLVARO ANDRÉS URREA HUILIPANG
CHILLÁN-CHILE
2019

Profesora Guía: Dra. Susana U. Fischer Ganzoni
Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción

PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL TOMATE (*Lycopersicon esculentum* L.) EN RESPUESTA AL TIPO DE FERTILIZACIÓN Y LA COBERTURA CON MALLAS SOMBRA.

Aprobada por:

Susana Fischer Ganzoni
Ing. Agrónomo, Dr. Cs. Agropecuarias.

Profesora Guía

Rosemarie Wilckens Engelbreit
Lic. en Biología, Dr. rer. nat.

Evaluadora interna

Richard Bastías Ibarra
Ing. Agrónomo, Mg. Hort. Ph.D, Fruticultura.

Evaluador interno

Macarena Gerding González
Ing. Agrónomo, PhD. en Microbiología.

Directora de Programa



TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Índice de figuras y tablas.....	iv
Resumen.....	vii
Summary.....	ix
Introducción.....	1
Hipótesis.....	7
Objetivo.....	7
1. Materiales y métodos.....	7
2. Resultados y discusión.....	17
Conclusiones.....	49
Literatura citada.....	50



ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		Página
Figura 1	Estructura utilizada para la instalación de mallas sombra blanca y negra en el cultivo de tomate al aire libre.....	11
Figura 2	Variación diaria de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) total (A y B) y difusa (C y D) bajo las mallas blanca y negra, en las temporadas productivas 2015/16 y 2016/17.	18
Figura 3	Variación de la temperatura máxima, promedio y mínima bajo las mallas blanca y negra, en las temporadas 2015/16 (A) y 2016/17 (B).....	20
Figura 4	Variación de la humedad relativa máxima, promedio y mínima bajo las mallas blanca y negra, en las temporadas 2015/16 (A) y 2016/17 (B)	21
Figura 5	Interacción entre el tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas, para la variable desecho en tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	32
Figura 6	Interacción entre el tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas, para la variable mancha solar en tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	35
Figura 7	Interacción entre el tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas, para la variable pudrición apical en tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	36
Tabla 1	Dosis, parcialización y momento de aplicación de los fertilizantes convencionales.....	10

Tabla 2	Dosis, parcialización y momento de aplicación de los fertilizantes orgánicos.....	10
Tabla 3	Valores <i>P</i> del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre el índice de área foliar (IAF) de plantas de tomate cultivadas bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	22
Tabla 4	Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre el índice de área foliar (IAF) de plantas de tomate cultivadas bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	23
Tabla 5	Valores <i>P</i> del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre los componentes de rendimiento de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	24
Tabla 6	Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre los componentes de rendimiento de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	26
Tabla 7	Valores <i>P</i> del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre el rendimiento total, comercial y desecho de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	29
Tabla 8	Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre el rendimiento total y comercial de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.	31
Tabla 9	Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas, sobre el desecho de tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	32

Tabla 10	Valores <i>P</i> del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre la mancha solar, pudrición apical y partidura de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	33
Tabla 11	Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas, sobre la mancha solar de tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	35
Tabla 12	Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre la pudrición apical de tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	36
Tabla 13	Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre la partidura de tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	37
Tabla 14	Valores <i>P</i> del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre los sólidos solubles y acidez titulable de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	39
Tabla 15	Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre los sólidos solubles y acidez titulable de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	40
Tabla 16	Valores <i>P</i> del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre la concentración de licopeno, polifenoles y vitamina C de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	42
Tabla 17	Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre la concentración de licopeno, polifenoles y vitamina C de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.....	44

PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL TOMATE (*Lycopersicon esculentum* L.) EN RESPUESTA AL TIPO DE FERTILIZACIÓN Y LA COBERTURA CON MALLAS SOMBRA.

PRODUCTION AND QUALITY OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum* L.) IN RESPONSE TO TYPE OF FERTILIZATION AND COVERAGE WITH SHADE NETS.

RESUMEN

Como alternativa al uso de fertilizantes convencionales, se ha planteado la fertilización orgánica como una opción amigable con el medio ambiente. Por otra parte, la cobertura de los cultivos con mallas sombra se está utilizando para protegerlos de la excesiva radiación solar. Sin embargo, se desconoce el efecto de estos factores sobre el contenido de antioxidantes del tomate. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tipo de fertilización y el uso de mallas sombra sobre los componentes de rendimiento, rendimientos, desordenes fisiológicos, indicadores químicos de calidad y contenido de antioxidantes del tomate. El experimento se realizó durante las temporadas 2015/16 y 2016/17 en la Estación Experimental "El Nogal" de la Universidad de Concepción (36°35'56" S, 72°04'51" O). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo de parcelas divididas; la parcela principal fue la cobertura del cultivo con mallas raschel (blanca o negra) al 35% de sombreado. Como control se dejaron plantas sin cubrir. La subparcela fue el tipo de fertilización (orgánica o convencional). En la temporada 2015/16, la malla blanca redujo en un 23% la radiación fotosintéticamente activa total (PAR_{total}), mientras que la malla negra lo hizo en un 33%. En la temporada 2016/17 la malla blanca redujo en un 24% la PAR_{total}, mientras que la malla negra lo hizo en un 34%. En la primera y segunda temporada, la PAR_{total} bajo malla blanca fue, respectivamente, un 14 y 15% superior a la registrada bajo malla negra, y la PAR_{difusa} bajo malla blanca fue, respectivamente, un 51 y 52% superior a la registrada en el control. En la temporada 2015/16 se observó una reducción del promedio de la temperatura con respecto al control, de 0,8°C bajo malla blanca y 1,7°C bajo malla negra. En la temporada 2016/17 se observó una reducción del promedio de la temperatura

respecto al control de 1°C bajo malla blanca y 1,8°C bajo malla negra. En la temporada 2015/16 se observó un aumento del promedio de la humedad relativa respecto al control de 1,5% bajo malla blanca y 2,9% bajo malla negra. En la temporada 2016/17 se observó un aumento del promedio de la humedad relativa respecto al control de 1,5% bajo malla blanca y 3% bajo malla negra. Plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un índice de área foliar (IAF) superior, con un valor de 1,50 m² m⁻² (P<0,05). El IAF fue mayor en plantas desarrolladas bajo cobertura de malla negra, con 1,64 m² m⁻² (P<0,05). Frutos de plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un peso fresco (PF) mayor, con 209,67 g (P<0,05). Frutos de plantas cubiertas por malla blanca obtuvieron un peso fresco mayor, con 226,95 g (P<0,05). Frutos de plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un diámetro ecuatorial mayor, con 6,43 cm (P<0,05). Frutos de plantas cubiertas por malla blanca obtuvieron un diámetro ecuatorial mayor, con 6,70 cm (P<0,05). Frutos de plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un diámetro polar mayor, con 5,49 cm (P<0,05). Frutos de plantas cubiertas por malla blanca obtuvieron un diámetro polar mayor, con 5,73 cm (P<0,05). Plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un rendimiento total mayor, con 78,96 t ha⁻¹ (P<0,05). Plantas desarrolladas bajo malla blanca presentaron un rendimiento total mayor, con 86,76 t ha⁻¹ (P<0,05). Plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un rendimiento comercial mayor, con 69,54 t ha⁻¹ (P<0,05). Plantas desarrolladas bajo malla blanca presentaron un rendimiento comercial mayor, con 76,05 t ha⁻¹ (P<0,05). La cantidad de tomate afectado por desórdenes fisiológicos fue mayor (P<0,05) en plantas cultivadas a pleno sol y fertilizadas orgánicamente (23,01 t ha⁻¹). Frutos de plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un contenido de sólidos solubles más alto, con 4,75 °Brix (P<0,05). Frutos de plantas cubiertas con malla blanca presentaron un mayor contenido de sólidos solubles, con 4,99 °Brix (P<0,05). Frutos de plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un porcentaje de acidez titulable más alto, con un 0,52% (P<0,05). Frutos de plantas cubiertas por malla blanca presentaron mayor porcentaje de acidez (0,57%) (P<0,05).

Una mayor concentración de licopeno presentaron frutos de plantas fertilizadas convencionalmente, con 5,65 mg 100 g⁻¹ PF (P<0,05). Una mayor concentración de licopeno presentaron frutos de plantas desarrolladas bajo malla blanca, con 6,19 mg 100 g⁻¹ PF (P<0,05). Una mayor concentración de polifenoles totales presentaron frutos de plantas fertilizadas orgánicamente, con 21,38 mg 100 g⁻¹ PF (P<0,05). Una mayor concentración de vitamina C presentaron frutos de plantas fertilizadas orgánicamente, con 24,30 mg 100 g⁻¹ PF (P<0,05). Una mayor concentración de vitamina C presentaron frutos de plantas desarrolladas bajo cobertura de malla blanca (25,61 mg 100 g⁻¹ PF) y sin sombreamiento (23,59 mg 100 g⁻¹ PF) (P<0,05). Bajo las condiciones específicas del presente experimento, la fertilización convencional y los cambios ambientales generados por la malla blanca, aumentan la concentración de licopeno, la calidad del tomate, el rendimiento y disminuyen el desecho de frutos. Mientras que la fertilización orgánica aumenta la concentración de polifenoles totales y vitamina C del fruto.

Palabras índice adicionales: Licopeno, polifenoles, vitamina C, mallas sombra, fertilización orgánica, fertilización convencional.

SUMMARY

As an alternative to the use of conventional fertilizers, organic fertilization has been proposed as an environmentally friendly option. On the other hand, the coverage of crops with shade nets is being used to protect them from excessive solar radiation. However, the effect of these factors on the antioxidant content of tomato is unknown. The objective of this study was to evaluate the effect of the type of fertilization and the use of shade nets on the components of yield, yield, physiological disorders, chemical quality indicators and tomato antioxidant content. The experiment was carried out during the 2015/16 and 2016/17 seasons at the "El Nogal" Experimental Station of the Universidad de Concepción (36°35'56" S, 72°04'51" W). A randomized complete block design with a split-plot arrangement was used; the main plot was the coverage of the crop with raschel nets (white or black) at 35% shading. As control, plants were left uncovered. The subplot was the

type of fertilization (organic or conventional). In the 2015/16 season, the white net reduced by 23% the total photosynthetically active radiation (PAR_{total}), while the black net did it by 33%. In the 2016/17 season, the white net reduced the PAR_{total} by 24%, while the black net did it by 34%. In the first and second season, the PAR_{total} under white net was respectively 14 and 15% higher than the one registered under black net, and the $PAR_{diffuse}$ under white net, was respectively 51 and 52% higher than that recorded in the control. In the 2015/16 season, a reduction in the average temperature was observed with respect to the control of 0.8°C under white net and 1.7°C under black net. In the 2016/17 season, a reduction in the average temperature was observed compared to the control of 1°C under white net and 1.8°C under black net. In the 2015/16 season, there was an increase in the average relative humidity with respect to the control of 1.5% under white net and 2.9% under black net. In the 2016/17 season, there was an increase in the average relative humidity with respect to the control of 1.5% under white net and 3% under black net. Conventionally fertilized plants had a higher leaf area index (LAI), with a value of 1.50 $m^2 m^{-2}$ ($P<0.05$). The LAI was higher in plants developed under black net coverage, with 1.64 $m^2 m^{-2}$ ($P<0.05$). Fruits of conventionally fertilized plants had a higher fresh weight (FW), with 209.67 g ($P<0.05$). Fruits of plants covered by white net obtained a greater fresh weight, with 226.95 g ($P<0.05$). Fruits of conventionally fertilized plants had a greater equatorial diameter, with 6.43 cm ($P<0.05$). Fruits of plants covered by white net obtained a greater equatorial diameter, with 6.70 cm ($P<0.05$). Fruits of conventionally fertilized plants had a greater polar diameter, with 5.49 cm ($P<0.05$). Plant fruits covered by white net obtained a greater polar diameter, with 5.73 cm ($P<0.05$). Conventionally fertilized plants presented a higher total yield, with 78.96 $t ha^{-1}$ ($P<0.05$). Plants developed under white net showed a higher total yield, with 86.76 $t ha^{-1}$ ($P<0.05$). Conventionally fertilized plants presented a higher commercial yield, with 69.54 $t ha^{-1}$ ($P<0.05$). Plants developed under white net showed a higher commercial yield, with 76.05 $t ha^{-1}$ ($P<0.05$). The amount of tomato affected by physiological disorders was higher ($P<0.05$) in plants grown in full sun and organically fertilized (23.01 $t ha^{-1}$). Fruits of conventionally fertilized plants had a

higher content of soluble solids, with 4.75 °Brix ($P < 0.05$). Fruits of plants covered with white net had a higher content of soluble solids, with 4.99 °Brix ($P < 0.05$). Fruits of conventionally fertilized plants had a higher percentage of titratable acidity, with 0.52% ($P < 0.05$). Fruits of plants covered with white net showed a higher percentage of titratable acidity, with 0.57% ($P < 0.05$). A higher concentration of lycopene was obtained in fruits of conventionally fertilized plants, with 5.65 mg 100 g⁻¹ FW ($P < 0.05$). A higher concentration of lycopene was obtained in fruits of plants developed under white net, with 6.19 mg 100 g⁻¹ FW ($P < 0.05$). A higher concentration of total polyphenols was obtained in fruits of organically fertilized plants, with 21.38 mg 100 g⁻¹ FW ($P < 0.05$). A higher concentration of vitamin C was obtained in fruits of organically fertilized plants, with 24.30 mg 100 g⁻¹ FW ($P < 0.05$). A higher concentration of vitamin C was obtained in fruits of plants developed under white net coverage (25.61 mg 100 g⁻¹ FW) and without shading (23.59 mg 100 g⁻¹ FW) ($P < 0.05$). Under the specific conditions of the present experiment, the conventional fertilization and the environmental changes generated by the white net increase the concentration of lycopene, the quality of the tomato, the yield and decrease the waste of fruits. While organic fertilization increases the concentration of total polyphenols and vitamin C of the fruit.

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que en el mundo el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) alcanza una superficie de 4.782.753 hectáreas y una producción de 177.042.359 de toneladas. Estas cifras lo convierten en el segundo cultivo que abarca más superficie después de la cebolla y el primero en términos productivos (FAO, 2016). Según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), el año 2017 en Chile la superficie y producción del cultivo de tomate destinada al consumo fresco fue de 5.269 hectáreas, con una producción de 349.000 toneladas. A nivel nacional, el tomate para consumo fresco ocupa el tercer lugar entre los cultivos hortícolas de acuerdo a la superficie cultivada, siendo superado solo por el maíz para consumo fresco (9.541 ha) y la lechuga (6.519 ha) (INE, 2017). Se estima que del total de la superficie destinada a consumo fresco, un 20% corresponde a cultivo bajo invernadero, lo que supera las 1.000 hectáreas (Flaño, 2013). Cabe destacar que el 69% de la superficie nacional se concentra entre las Regiones de Valparaíso y del Maule, siendo la Región de O'Higgins la de mayor superficie, con un 19%, seguida por las Regiones de Valparaíso y del Maule, con 17% cada una; y por último la Región Metropolitana, con un 15%. En tanto, la producción de tomate para uso industrial está concentrada en las regiones de O'Higgins y del Maule, donde se encuentra el área de influencia de las plantas procesadoras de pulpa. Esta producción presenta un período de cosecha más definido debido al uso de variedades con hábito de crecimiento determinado (Allende, 2017). En Chile, el tomate ocupa el primer lugar entre las hortalizas de la canasta, con una ponderación de 0,365%, de acuerdo a la VII Encuesta de Presupuesto Familiar (EPF) realizada por el INE. Esto significa que es la hortaliza a la que los hogares destinan más recursos. Es importante destacar que hubo un aumento en la ponderación respecto a la VI EPF del año 2007 (0,32%) (INE, 2013).

En esta especie existen dos tipos de planta según su hábito de crecimiento: determinado e indeterminado. En el primer caso, el crecimiento vegetativo se detiene en el momento que se inicia la fase reproductiva y las inflorescencias se

alternan con una o dos hojas, mientras que los cultivares de crecimiento indeterminado están en crecimiento vegetativo y reproductivo al mismo tiempo y las inflorescencias se alternan cada 3 hojas (Foolad, 2007). El tomate es uno de los vegetales más consumidos a nivel mundial. Aunque no se distingue por su valor nutricional ni por el contenido de compuestos quimioprotectores, se ha convertido en uno de los principales contribuyentes de compuestos saludables a la dieta debido a sus altos niveles de consumo (Chun *et al.*, 2005). El tomate es una fuente de distintos antioxidantes, como licopeno (Perveen *et al.*, 2015), compuestos fenólicos (Martínez-Valverde *et al.*, 2002; García-Valverde *et al.*, 2013) y vitamina C (George *et al.*, 2004). Se ha relacionado el consumo de estos compuestos con la prevención del desarrollo de cáncer de próstata, enfermedades cardiovasculares y mutaciones en el ADN (Hazewindus *et al.*, 2014; Raiola *et al.*, 2014; Martí *et al.*, 2016).

Se ha determinado que bajo condiciones de estrés, las plantas aumentan la síntesis de metabolitos secundarios, como respuesta a la formación de radicales libres derivados del oxígeno, también conocidos como especies reactivas del oxígeno (ERO'S). Estos radicales se forman por la excitación o reducción incompleta de una molécula de oxígeno en el metabolismo celular normal en organismos aeróbicos (Gechev *et al.*, 2006). La producción de las ERO'S es continua, y se originan en vías metabólicas que tienen lugar en distintos compartimientos celulares. Entre los organelos que producen mayor cantidad de ERO'S al ser sometidos a un estrés, ya sea de tipo biótico o abiótico, se encuentran los cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas (Jithesh *et al.*, 2006). El desbalance en la producción de ERO'S y la defensa antioxidante provoca el denominado estrés oxidativo, el que produce diversos cambios fisiológicos y bioquímicos, los cuales provocan el deterioro y la muerte celular. Como resultado de la alta reactividad de estas especies se producen daños irreparables en distintas macromoléculas, tales como: peroxidación lipídica, oxidación de aminoácidos como fenilalanina, tirosina, histidina y metionina, daño al ácido desoxirribonucleico (ADN). Primero se forma el superóxido ($O_2^{\cdot-}$), el que presenta una corta vida. A partir de este, se forma el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) que es

relativamente estable y tiene la capacidad de movilizarse desde los sitios subcelulares de síntesis a compartimientos adyacentes, incluso a células contiguas, llegando a inhibir el ciclo de Calvin (Stepien y Klobus, 2005). En relación a esto, también se ha señalado que estas moléculas son más destructivas cuando actúan en presencia de iones metálicos, formando el radical hidróxilo (OH^\cdot), que presenta alta reactividad, pudiendo reaccionar con moléculas con las que entra en contacto. Las células no cuentan con un mecanismo enzimático o no enzimático para neutralizarlo, por lo tanto, deben evitar la síntesis de superóxido y de peróxido de hidrógeno o secuestrar iones metálicos que catalizan la reacción de Haber-Weiss mediante la acción de proteínas, como las ferritinas o metalotioneinas (Gechev *et al.*, 2006). Con el propósito de desintoxicar y disminuir el daño producido por las ERO'S, las plantas han desarrollado un sistema antioxidante complejo. Dentro de este sistema se encuentran los antioxidantes no enzimáticos y enzimáticos (Gill y Tuteja, 2010). Entre los componentes no enzimáticos se encuentra el ácido ascórbico o vitamina C, con alto poder antioxidante y soluble en agua. También se encuentran los carotenoides, que corresponden a pigmentos liposolubles. Por otra parte, se encuentran sistemas enzimáticos, que incluye a la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), peroxidasa (POD), glutatión peroxidasa (GPX) y finalmente las enzimas del ciclo ascorbato-glutatión, como la ascorbato peroxidasa (APX) y glutatión reductasa (GR). En el tomate, la concentración de antioxidantes puede verse afectada por diversos factores, como: luz, temperatura, variedad, manejo agrícola, disponibilidad de agua, nutrientes minerales, reguladores de crecimiento y etapa de desarrollo del fruto (Dumas *et al.*, 2003). Toda tensión, ya sea biótica o abiótica, propicia un estado de estrés oxidativo en la planta (Grassmann *et al.*, 2002) y la señalización oxidativa es la encargada de controlar la síntesis y acumulación de metabolitos secundarios (Fujita *et al.*, 2006). En la naturaleza, la exposición a la radiación ultravioleta, interacciones alelopáticas, baja disponibilidad de nutrientes, ataque de microorganismos, insectos y herbívoros estimulan la síntesis de estos compuestos naturales como mecanismo de defensa (Mann *et al.*, 1987; Dixon y Paiva, 1995; Luthria *et al.*, 2006; Toor *et al.*, 2006).

Desde el punto de vista de los consumidores, no sólo la calidad comercial de los productos hortícolas es importante, también lo es su calidad nutracéutica (Sánchez-Hernández *et al.*, 2016). Los consumidores muestran mayor disposición a pagar más por productos que tengan un mayor valor nutricional, se hayan cultivado localmente y/o se cultiven utilizando métodos de producción orgánicos (Keeling-Bond *et al.*, 2006). Existe hace ya un tiempo una tendencia en los mercados de países desarrollados, como los de Europa, a evolucionar desde una agricultura centrada en el rendimiento hacia una agricultura centrada en la calidad (Bouma *et al.*, 1998). Martí *et al.* (2018) señalan que la sensibilización de los consumidores sobre el rol de los alimentos en la salud y prevención de muchas enfermedades relacionadas con la edad es cada vez más importante, por lo que el desarrollo de alimentos con niveles elevados de compuestos antioxidantes debe ser un objetivo importante para la industria alimentaria.

A nivel mundial, el rendimiento de distintos cultivos ha aumentado constantemente gracias a la implementación de nuevas tecnologías y al uso de fertilizantes convencionales (inorgánicos) (Tilman *et al.*, 2002; Boli *et al.*, 2011; Yinghua *et al.*, 2016). Sin embargo, la aplicación de este tipo de fertilizantes (especialmente nitrogenados) se ha asociado a riesgos ambientales como la eutrofización de distintos cuerpos de agua (Smith y Siciliano, 2015), acidificación del suelo (Cai *et al.*, 2015) y emisión de óxido nitroso (N₂O) a la atmósfera (Shcherbak *et al.*, 2014). Al respecto, se ha planteado como una alternativa amigable con el medioambiente el uso de fertilizantes orgánicos. Bajo este tipo de fertilización, el nitrógeno puede obtenerse a partir de fuentes naturales de origen vegetal o animal (Muñoz-Vega *et al.*, 2016). Los fertilizantes orgánicos son, generalmente, menos solubles que los fertilizantes convencionales y en consecuencia deben aplicarse 1 a 4 semanas antes del momento recomendado para la aplicación de fertilizantes convencionales (Gale *et al.*, 2006). Se ha demostrado que el tipo de fertilización y la forma de nitrógeno disponible para la planta pueden afectar el contenido de antioxidantes y otras características de calidad del tomate (Heeb *et al.*, 2005; Toor *et al.*, 2006; Youssef y Eissa, 2017). Las diferencias relativas en la liberación de nutrientes de distintos fertilizantes podría llevar a diferentes relaciones carbono-

nitrógeno (C/N) en las plantas y esto podría causar una diferencia en la producción de metabolitos secundarios (Brandt y Molgaard, 2001). La teoría de balance carbono-nitrógeno (C/N) establece que si el nitrógeno está fácilmente disponible, las plantas sintetizarían compuestos con alto contenido de N, como proteínas, para el crecimiento. En cambio, si la disponibilidad de N para el crecimiento fuese limitada, el metabolismo de la planta favorecería la síntesis de compuestos que contienen carbono, como almidón, celulosa y metabolitos secundarios que no contienen nitrógeno (Winter y Davis, 2006). Oliveira *et al.* (2013) registraron resultados que respaldan esta teoría, al obtener de plantas fertilizadas convencionalmente, tomates de mayor tamaño y peso pero con bajo contenido de antioxidantes. En relación a esto, el modelo de competencia de Jones y Hartley (1999) establece que la síntesis de proteínas y de polifenoles comparte el mismo precursor, la fenilalanina. Por lo tanto, toda condición favorable para la biosíntesis de proteínas, como consecuencia de una mayor disponibilidad de nitrógeno, resultaría en una menor biosíntesis de polifenoles (Bragazza y Freeman, 2007).

Por otro lado, los productores están viendo afectadas la calidad y productividad de sus cultivos debido al aumento de la radiación y la temperatura, factores abióticos influenciados por el cambio climático (Prasad y Chakravorty, 2015). Se ha establecido que la máxima asimilación neta de CO₂ de la mayoría de las especies C₃ se satura a una irradiación relativamente baja (600-900 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), correspondiente al 30-40% de la luz solar incidente (1500-2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). El exceso de energía radiante predispone a las plantas a la fotoinhibición, estrés térmico y cierre estomático, lo que lleva a una reducción de la fotosíntesis neta (P_n), fuente última de carbohidratos para el crecimiento (Ilić y Fallik, 2017). Además, las altas temperaturas sostenidas (35-40 °C), como resultado de una alta radiación solar, afectan la división celular, la expansión foliar y el desarrollo reproductivo de la planta (Flaishman *et al.*, 2015). Los efectos del calentamiento global, que ya se están estableciendo, probablemente también aumentarán la incidencia de desórdenes fisiológicos en las hortalizas (Ilić *et al.*, 2012). En relación a esto, se ha evidenciado que el tomate es susceptible a desórdenes fisiológicos como la mancha o quemadura solar (*Sunburn*), pudrición apical

(*Blossom end rot*) y la partidura (*Cracking*). Es por esto, que el manejo del ambiente de crecimiento se está utilizando para optimizar la producción y calidad de la planta (Dueck *et al.*, 2016). Para ello se ha propuesto la cobertura de los cultivos con mallas sombra, debido a que otorgan múltiples beneficios, entre los cuales destacan: reducción del exceso de radiación solar, disminución de la temperatura ambiental, protección contra aves e insectos, y protección de peligros meteorológicos (granizo, nieve, viento, heladas y lluvia excesiva) (Ilic y Fallik, 2017). En el mercado existe una variada oferta de mallas agrícolas, con distintas propiedades estructurales, radiométricas y físicas. La malla tipo Raschel es una malla fabricada a partir de hilos planos de polietileno de alta densidad. Su tejido se caracteriza por cadenas longitudinales e hilos de tejidos transversales. En este tipo de malla, todos los hilos están vinculados entre sí para evitar el desenredado de las hebras como resultado de fuertes vientos o tormentas de granizo (Castellano *et al.*, 2008).

Se ha intentado llegar a un consenso y establecer qué tipo de fertilización favorece una mayor síntesis de antioxidantes en el tomate. La comparación entre distintos estudios resulta poco adecuada, ya que cada experimento se lleva a cabo en condiciones diferentes. Fertilizantes con distintas propiedades se utilizan en localidades con diferentes condiciones edafoclimáticas y sobre diversos genotipos. Es importante realizar una evaluación específica y no generalizada de las distintas fuentes de fertilización y determinar qué efectos generan en una localidad determinada. Por otra parte, existen pocos estudios que evalúen el efecto de las mallas sombra sobre el contenido de antioxidantes del tomate. Si bien, se ha demostrado su eficacia en la reducción de condiciones de estrés, también podrían disminuir la acumulación de compuestos bioactivos en el fruto, ya que se ha constatado que la concentración de antioxidantes como la vitamina C, licopeno y polifenoles es más alta en frutos no sombreados (Luthria *et al.*, 2006; Amiot *et al.*, 2007).

Hipótesis

La fertilización convencional y la cobertura del cultivo de tomate con mallas sombra aumentan su rendimiento; sin embargo, disminuyen la concentración de antioxidantes del fruto.

Objetivo

Evaluar el efecto del tipo de fertilización y el uso de mallas sombra sobre los componentes de rendimiento, rendimiento, desordenes fisiológicos, indicadores químicos de calidad y contenido de antioxidantes del tomate.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Ubicación geográfica del ensayo

El experimento se realizó al aire libre durante las temporadas primavera-verano 2015/2016 y 2016/2017 en la Estación Experimental “El Nogal” de la Universidad de Concepción (Campus Chillán), ubicada en la Provincia de Diguillín, Región de Ñuble (36°35'56" S; 72°04'51" O y 153 m.s.n.m), Chile.

1.2 Características edafoclimáticas

El suelo del sitio experimental está clasificado como Typic Haploxerands, orden Andisol, derivado de cenizas volcánicas (Stolpe, 2006). El clima de esta localidad corresponde a mediterráneo temperado con temperaturas medias mínimas y medias máximas anuales de 6,9 y 20,2 °C, con un periodo libre de heladas de 5 a 6 meses y con una precipitación anual promedio de 1.200 mm (Del Pozo y Del Canto, 1999).

1.3 Material vegetal

Se utilizó semilla certificada de tomate variedad “Mykonos”, cuya planta tiene hábito de crecimiento determinado. Las semillas previamente fueron desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 5% durante 5 minutos, posteriormente fueron lavadas con abundante agua destilada y se establecieron

en una mezcla de turba Peat Moss (Anasac) y perlita (Ergo) en una proporción 5:1. Para esto se utilizaron contenedores de plumavit (desinfectados con una solución de NaClO al 10%). Los contenedores fueron ubicados por tres días en una cámara de germinación con una humedad relativa de 85% y temperatura de 30°C. Por último, los contenedores fueron trasladados a invernadero dónde se obtuvieron plantas con 4 hojas verdaderas y aproximadamente 10 cm de altura, en este estado se procedió a su trasplante.

1.4 Establecimiento

El suelo se cultivó secuencialmente con arado de vertedera, rastra de discos, y vibrocultivador. Posteriormente, un arado melgador-aporcador formó camellones de 40 cm de ancho por 20 cm de alto. Sobre estos se realizó el trasplante a raíz cubierta. El marco de plantación fue de 1 m entre hilera y 0,6 m sobre hilera (16.666 plantas ha⁻¹) en una superficie total de 302,4 m² (504 plantas).

1.5 Manejo agronómico

El control de malezas se realizó de forma manual. Para prevenir el ataque de insectos, especialmente polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyrick), mosquita blanca (*Trialeurodes vaporarorium* Westwood), gusano cortador (*Agrotis* sp.), cuncunilla de las hortalizas (*Copitarsia turbata* Herrich-Schaeffer) y gusano del choclo (*Heliothis zea* Boddie), se aplicó una dosis de 45 g de Carbaryl 85 WP (Anasac) (Carbarilo [ingrediente activo]) en 15 L de agua. Para el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y temprano (*Alternaria solani*) se aplicó Metalaxil MZ 58 WP (Anasac) (Metalaxil y Mancozeb [ingredientes activos]) en una dosis de 60 g en 15 L de agua. Las plantas fueron apoyadas por tutores de madera y cinta garetá.

1.6 Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar con un arreglo de parcelas divididas y 4 repeticiones. Se consideró como factor principal la cobertura del cultivo con malla sombra (negra o blanca) y plantas crecidas a

pleno sol (Control). Cada parcela fue dividida en 2 subparcelas, en cada una se establecieron 3 hileras de plantas con un tipo de fertilización, convencional u orgánica.

1.7 Fertilización

La fertilización se realizó según el resultado del análisis químico del suelo. El cálculo de la dosis de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, se realizó de acuerdo al modelo racional (Rodríguez, 1993). Se consideraron 3,25 kg N, 0,75 kg P₂O₅, 5 kg K₂O y 1,2 kg CaO como la extracción de nutrientes de la planta por tonelada de tomate producido (Vidal, 2007). Para determinar la demanda total por hectárea, estos requerimientos fueron multiplicados por 60 toneladas, siendo necesario aplicar 195 kg N, 45 kg P₂O₅, 300 kg K₂O y 72 kg CaO ha⁻¹. El suministro se obtuvo determinando previamente el peso del suelo. Para ello se utilizaron datos de profundidad de muestreo (30 cm) y densidad aparente (1,18 g cm⁻³) (Stolpe, 2006). Estos, fueron reemplazados en la siguiente fórmula (INIA, 2000):

$$\text{Peso del suelo (kg)} = 10.000 \text{ m}^2 \times \text{Pr (m)} \times \text{Da (g cm}^{-3}\text{)} \times 1.000$$

Pr: Profundidad efectiva (m) = 0,3 (Capa arable en la que se efectúa el análisis)

Da: Densidad aparente (g cm⁻³) = 1,18

$$\text{Peso del suelo (kg)} = 10.000 \times 0,3 \times 1,18 \times 1.000 = 3.540.000 \text{ kg}$$

Para determinar la cantidad de nutrientes aportados, se relacionó el peso del suelo y el nivel de nutrientes presentes en el análisis de suelo mediante proporcionalidad directa (INIA, 2000). De esta manera, se estableció que el suelo contribuyó por hectárea, 30 kg N, 360 kg P₂O₅, 1.561 kg K₂O y 4.383 kg CaO. La dosis de nitrógeno se calculó en base a una eficiencia en la solución del suelo de 0,6% (INIA, 2000), obteniéndose 275 kg N ha⁻¹. En el caso de fósforo, potasio y calcio el suministro del suelo fue superior a los requerimientos, por lo que no fue necesario fertilizar con estos elementos. Sin embargo, se suministró una dosis de mantención de 45 kg P₂O₅, 300 kg K₂O y 72 kg CaO. Los fertilizantes empleados en la fertilización convencional fueron urea, nitrato de calcio, superfosfato triple y cloruro de potasio (Tabla 1). Para la fertilización orgánica (Tabla 2) se utilizó

harina de lupino (7% N), nitrógeno granulado en base de sangre seca (14% N, Orgazot®, Stradi Renzo SRL), roca fosfórica (Bifox®, Compañía Minera de Fosfatos Naturales Bifox Limitada), abono órgano mineral NK (Ennekappa, Biollsa) y sulfato de potasio (Allganic potassium®, Soquimich).

Tabla 1. Dosis, parcialización y momento de aplicación de los fertilizantes convencionales.

Fertilizante	Dosis (kg ha ⁻¹)	Dosis al camellón (g)	Parcialización (%)	Momento de aplicación
Urea	527	89	20	Plantación
			40	Inicio de floración
			40	Inicio de fructificación
Nitrato de calcio	202	34	20	Plantación
			40	Inicio de floración
			40	Inicio de fructificación
Superfosfato triple	98	16	100	Pre trasplante
Cloruro de potasio	500	84	100	Pre trasplante

Fuente: Elaborada con datos propios.

Tabla 2. Dosis, parcialización y momento de aplicación de los fertilizantes orgánicos.

Fertilizante	Dosis (kg ha ⁻¹)	Dosis al camellón (g)	Parcialización (%)	Momento de aplicación
Harina de lupino	2.363	397	100	Pre trasplante
Orgazot	500	84	100	Pre trasplante
Ennekappa	250	42	100	Pre trasplante
Roca fosfórica	237	40	100	Pre trasplante
Allganic potasio	476	80	100	Pre trasplante

Fuente: Elaborada con datos propios.

1.8 Instalación de mallas

Se utilizaron mallas sombra tipo Raschel (Marienberg®, Industrias Marienberg, Santiago, Chile) con un nivel de sombreamiento de 35%. Una vez finalizada la polinización (cuajado de los frutos) cada parcela fue cubierta con una malla (blanca o negra) o fue dejada sin cobertura (control). Las mallas fueron instaladas a una altura de 1,9 m sobre una estructura confeccionada con polines de pino impregnado de 2,6 m de altura (insertos en el suelo a una profundidad de 70 cm) y alambre galvanizado ACC (alto contenido de carbono) de 1,5 mm de diámetro (Figura 1).

Figura 1. Estructura utilizada para la instalación de mallas sombra blanca y negra en el cultivo de tomate al aire libre.



Fuente: Elaborada con registros propios.

1.9 Evaluaciones

Bajo cada malla y en el control se efectuó la evaluación de las condiciones ambientales. La determinación del índice de área foliar (IAF), componentes de rendimiento, rendimiento, desecho, desordenes fisiológicos y compuestos químicos del fruto se llevó a cabo a partir de dos plantas seleccionadas al azar de las hileras centrales de cada unidad experimental.

1.9.1 Condiciones ambientales

Se registró la temperatura (°C) y humedad relativa del aire (%) a intervalos de 15 minutos con dispositivos Hobo data logger (HOBO Pro HR/Temp, Onset Computer Corporation) durante todo el cultivo bajo malla blanca, negra y control. Las variaciones de la intensidad de radiación fotosintéticamente activa total (PAR_{total}) y difusa (PAR_{difusa}), expresada en flujo de fotones fotosintéticamente activos (PPFD, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), se determinaron en días soleados sin nubosidad, con el sensor quantum LI-191SA conectado a un data logger LI-1400 (LICOR, Lincoln, NE, USA) durante el día a las 9:00 h, 11:00 h, 13:00 h, 15:00 h y 17:00 h. La cantidad de PAR_{difusa} fue estimada según el método adaptado y propuesto por Al-Helal y Abdel-Ghany (2010), colocando un disco opaco a una distancia de 50 cm del sensor PAR, cubriendo éste con la sombra del disco en un 100%.

1.9.2 Índice de área foliar

La medición del índice de área foliar (IAF) se realizó con un ceptómetro lineal AccuPAR/LAI Ceptometer LP-80 (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, U.S.A.). Se realizaron mediciones por encima y debajo del dosel cuando los tomates se encontraban en la etapa de madurez N°3 (USDA, 1991). Para esto se escogió un día completamente despejado.

1.9.3 Componentes de rendimiento

La cosecha se llevó a cabo manualmente temprano en la mañana. Se escogieron frutos que alcanzaron la etapa rosado-madura o etapa de madurez N°5 (USDA, 1991). Los frutos fueron trasladados inmediatamente a laboratorio, donde fueron

lavados para eliminar partículas de polvo u otros sedimentos. Se determinó el número total de frutos por planta, peso fresco (g) de cada uno con balanza digital (Bel, L1002, Bel Engineering), diámetro ecuatorial y diámetro polar con un pie de metro digital (Mitutoyo Corporation, Kanagawa, Japan).

1.9.4 Rendimiento, desecho y desordenes fisiológicos

Se cuantificó el rendimiento total, rendimiento comercial y desecho. En esta última categoría se evaluó la cantidad de tomate afectado por mancha solar ("*Sunscald*"), pudrición apical ("*Blossom end rot*") y partidura ("*Cracking*"). Los resultados fueron expresados en t fruta ha⁻¹.

1.9.5. Selección y preparación de la muestra

Por cada planta se seleccionaron al azar cuatro tomates libres de defectos, obteniéndose ocho frutos por cada unidad experimental. Inmediatamente fueron trasladados a laboratorio en bolsas de plástico. Se eliminó de su superficie todo residuo de polvo o tierra con agua destilada. Luego, por cada tomate se tomó un cuarto de su sección longitudinal y se formó una muestra que fue homogenizada en un procesador casero. Del homogenizado resultante se eliminaron las semillas filtrando a través de una malla de filtración e inmediatamente se almacenaron muestras de 30 g en botellas de vidrio color ámbar. Estas botellas fueron etiquetadas y almacenadas en oscuridad en un congelador a -86°C para el posterior análisis químico. Parte de la mezcla se utilizó inmediatamente para analizar el contenido de sólidos solubles.

1.9.6 Indicadores químicos de calidad

1.9.6.1 Sólidos solubles

Se colocaron 0,1 mL de jugo fresco sin diluir en el prisma de un refractómetro digital portátil (PAL-1, °Brix 0-53%, Atago®, Tokyo Tech, Japan), y se registró la lectura. Los resultados fueron expresados en °Brix. La determinación se realizó por triplicado.

1.9.6.2 Acidez titulable

Luego, 10 g de muestra descongelada se homogenizaron en 50 mL de agua destilada. De la mezcla obtenida se tomó una alícuota de 10 mL que fue titulada con hidróxido de sodio (0,1 N), utilizándose 0,25 mL de fenolftaleína (1%) como indicador, hasta alcanzar un pH de 8,2. Para esto se empleó un pHímetro profesional pH 90 (WTW, Germany). La acidez se calculó utilizando la siguiente fórmula (AOAC, 2010):

$$\text{Ácido cítrico (\%)} = \frac{\text{NaOH (mL)} \times \text{N} \times \text{Meq. ácido} \times \text{V (mL)} \times 100}{\text{Peso muestra (g)} \times \text{alícuota (mL)}}$$

Dónde:

N: Normalidad del NaOH.

V: Volumen total (mL posterior a homogenizar pulpa y agua destilada).

Meq. Ácido: Miliequivalentes del ácido presente en mayor proporción (0,064 para ácido cítrico).

Los resultados fueron expresados como porcentaje (%). La determinación se realizó por triplicado.

1.9.7 Contenido de antioxidantes

1.9.7.1 Licopeno

El contenido de licopeno se determinó en triplicado, de acuerdo a Vinha *et al.* (2014), con algunas modificaciones. Una muestra de 0,5 g fue mezclada con 2,5 mL de solución de hexano-acetona (1:1) en ultraturrax digital T18 (IKA, Germany). La mezcla se centrifugó a 3500 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante fue transferido de forma suave y gradual a un embudo de decantación que contenía 2,5 mL de éter de petróleo. Después de cada incremento se agregó agua destilada contra la pared interna del embudo. Una vez separadas las dos fases, se descartó la fase inferior o fase acuosa. El extracto en hexano:acetona en el embudo se lavó nuevamente con agua destilada para retirar la acetona residual. Posteriormente, la fase éter de petróleo que contenía el pigmento, fue concentrada por una hora mediante baño de ultrasonido Branson 5800 (Emerson, USA) a 35°C. El contenido

de licopeno se determinó a partir de una alícuota (2,5 mL) del extracto de éter de petróleo. La absorbancia fue medida a 470 nm en un espectrofotómetro Orion AquaMate 8000 UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, USA). El contenido de licopeno se calculó mediante la siguiente fórmula (Rodríguez-Amaya, 2001):

$$\text{Licopeno (mg 100 g}^{-1} \text{ PF)} = \frac{A \times V \text{ (mL)} \times 100000}{C.A \times 100 \times M \text{ (g)}}$$

Dónde:

A: Absorbancia (470 nm)

V: Volumen de la solución

C.A: Coeficiente de extinción molar del licopeno (3.450)

M: Masa de la muestra tomada para el análisis

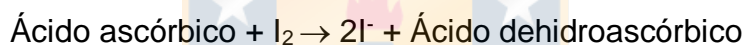
Los resultados fueron expresados como miligramos de licopeno por cada 100 gramos de peso fresco (mg 100 g⁻¹ PF).

1.9.7.2 Polifenoles totales

Previo a la extracción y determinación de los polifenoles se elaboró una curva de calibración con una solución madre de ácido gálico (5 g L⁻¹). El contenido de polifenoles totales se determinó en triplicado de acuerdo a Riahi *et al.* (2009), con algunas modificaciones. A una muestra de 0,5 g en un tubo de ensayo se agregó 5 mL de una solución agua:metanol:ácido fórmico en una proporción 24:25:1. Luego fue transferida y tratada en baño de ultrasonido por una hora a 35°C y se dejó reposar por 24 horas. Posteriormente, fue centrifugada a 3500 rpm durante 15 minutos y se recogió el sobrenadante. Enseguida se adicionaron a un vial 120 uL de reactivo Folin Ciocalteau (1 N); un volumen de 25 uL de la muestra y 1,62 mL de agua. Finalmente, se añadió a la mezcla 340 uL de una disolución de carbonato de sodio al 20%, y se dejó reposar por 2 horas en oscuridad a temperatura ambiente. Luego, se midió la absorbancia a 725 nm en un espectrofotómetro Orion AquaMate 8000 UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, USA). Los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico (GAE) por cada 100 gramos de peso fresco (mg GAE 100 g⁻¹ PF).

1.9.7.3 Vitamina C

El contenido de vitamina C fue determinado en triplicado de acuerdo a Cianclagini *et al.* (2001), con algunas modificaciones. Se homogenizaron 10 g de muestra con 5 mL de agua destilada. Luego, se filtró la mezcla, agregando agua destilada hasta enraizar una probeta a 30 mL. De este volumen se tomó una alícuota de 10 mL que fue titulada con una solución de yoduro de potasio ($0,005 \text{ mol L}^{-1}$), utilizándose como indicador 5 mL de solución de almidón (0,5%). El punto final de la titulación se identificó con la primera traza permanente de color azul oscuro formado por el complejo almidón-yodo. Para determinar la concentración de vitamina C se registró el volumen de yodo utilizado para titular (mL), lo cual permitió calcular los moles de yodo usados en la reacción. La cantidad de ácido ascórbico se determinó en moles de ácido ascórbico presentes en la reacción, mediante la ecuación de titulación:



Los resultados fueron expresados como miligramos de vitamina C por cada 100 gramos de peso fresco ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$).

1.10 Análisis estadístico

Los datos de ambas temporadas fueron sometidos a un análisis de varianza combinado luego de corroborar la no significancia de la interacción del factor año con la parcela principal o la interacción del factor año con la subparcela ($P > 0,05$). Se corroboró la homogeneidad de varianzas entre los datos de ambos periodos. Para esto, se utilizó la prueba de F máxima o prueba de Hartley. Para todas las variables del cultivo las medias se compararon mediante la prueba DMS ($P < 0,05$). La comparación de medias de la $\text{PAR}_{\text{total}}$ y $\text{PAR}_{\text{difusa}}$ también se realizó con la prueba DMS ($P < 0,05$; $0,01$). Para el ANOVA se consideraron como premisas: distribución normal y homogeneidad de varianzas. Cuando alguna de estas premisas no se cumplió, los datos se transformaron utilizando la función $\ln(x+10)$. Para el análisis de datos se empleó el programa estadístico Infostat (Balzarini *et al.*, 2008)

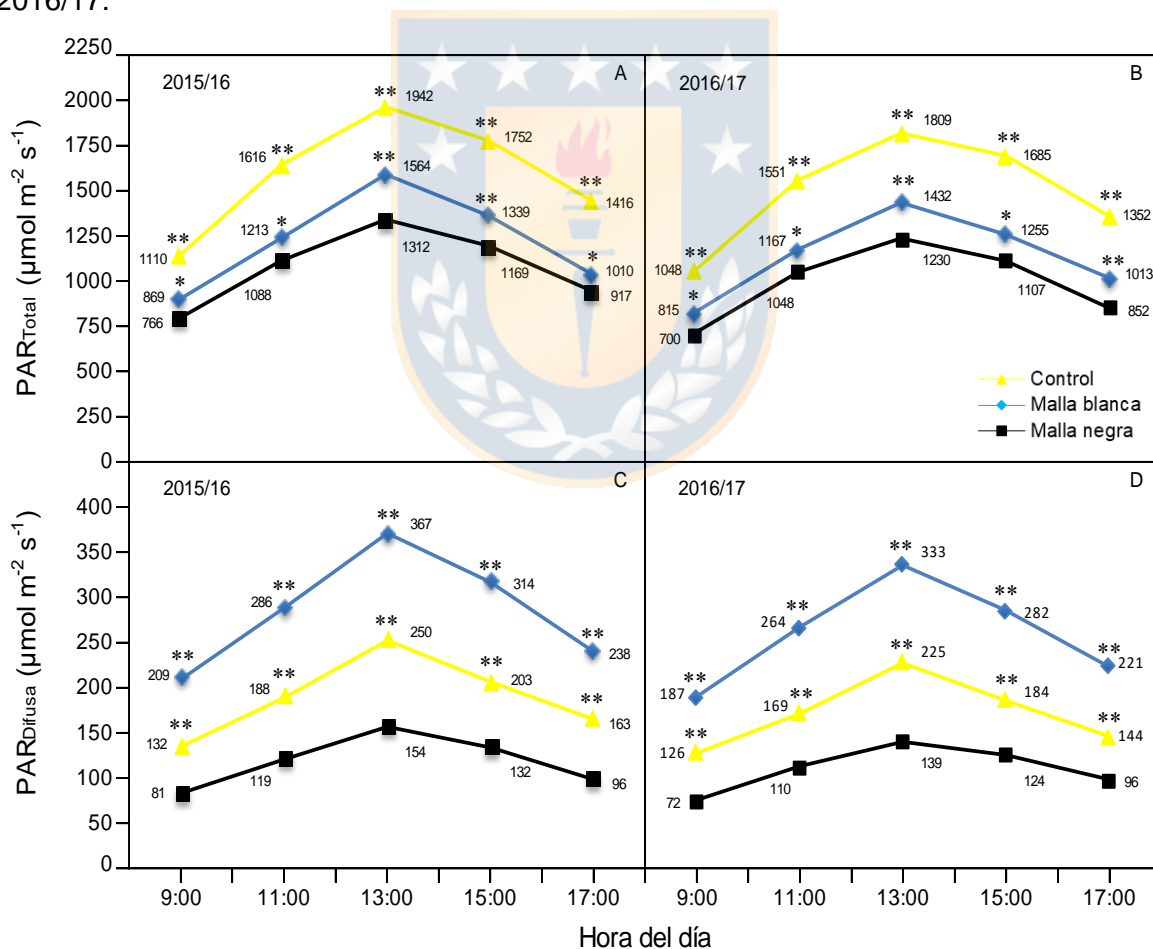
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Condiciones ambientales

La Figura 2 muestra la variación diaria en la incidencia PAR_{total} y PAR_{difusa} en las temporadas 2015/16 y 2016/17. En ambas temporadas productivas la intensidad de la luz, expresada en PAR_{total} fue mayor ($P < 0,01$) en el tratamiento control, respecto a los tratamientos de malla blanca y negra. Según Shahak *et al.* (2004), la transmisión de radiación PAR de una malla puede variar por factores como la pérdida de estabilidad de los pigmentos de la malla expuesta a elevados niveles de radiación ultravioleta (UV), aumento de la tensión de las tramas y urdimbre de los hilos por efecto de la apertura y cierre de malla, fluctuaciones en la temperatura ambiente y la acumulación de polvo. Sin embargo, los resultados de este estudio mostraron que la capacidad de transmisión de la luz fue similar entre temporadas y tipo de malla. Para la temporada 2015/16, la mallas blanca y negra redujeron en promedio un 23 y 33% la cantidad diaria de PAR_{total}, respectivamente (Figura 2 A), mientras que durante la segunda temporada se redujo en un 24 y 34%, respectivamente (Figura 2 B). Estos resultados pueden estar asociados a la composición de fábrica de las mallas, ya que se trata de mallas hechas con rafias de polietileno de alta densidad que incluyen estabilizadores contra la radiación UV, principal factor que causa la degradación del material (Doble y Kumar, 2005). Por otra parte, las mallas estuvieron instaladas sobre el cultivo por un periodo breve de tiempo (cercano a los 60 días), y no se removieron durante todo ese periodo, ni tampoco estuvieron expuestas a condiciones climáticas adversas como alta velocidad de viento o granizadas. Otra razón que pudo haber influido es el aditivo antiestático de la malla y que impide la acumulación de polvo. En ambas temporadas, la intensidad de luz PAR_{total} fue mayor ($P < 0,05$; $P < 0,01$) en el tratamiento de malla blanca con respecto al tratamiento de malla negra, siendo en promedio un 14 y 15% superior en las temporadas 2015/16 y 2016/17, respectivamente. Lo anterior se podría atribuir al efecto del color de la malla influyendo sobre la cantidad de luz difusa. En ambas temporadas bajo la malla blanca se registró una mayor cantidad de luz difusa ($P < 0,01$) (Figura 2 C y 2 D), siendo un 142% para la temporada 2015/16 y un

138% para la temporada 2016/17 superior con respecto a la malla negra. Según Oren-Shamir *et al.* (2001), dependiendo del color de las mallas, la difusión de la luz puede aumentar hasta un 50%, siendo aquellas mallas fabricadas con hilos de colores más claros, las que aportan una mayor proporción de luz difusa a las plantas. Por otra parte, en las mallas negras solo se transmite la luz que atraviesa los agujeros, ya que los hilos son esencialmente opacos y absorben la luz (Oren-Shamir *et al.*, 2001). Así, bajo la malla blanca también se registró una mayor cantidad de luz difusa ($P < 0,01$) con respecto al control, siendo superior en un 51% para la temporada 2015/16 y un 52% para la temporada 2016/17.

Figura 2. Variación diaria de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) total (A y B) y difusa (C y D) bajo las mallas blanca y negra, en las temporadas productivas 2015/16 y 2016/17.

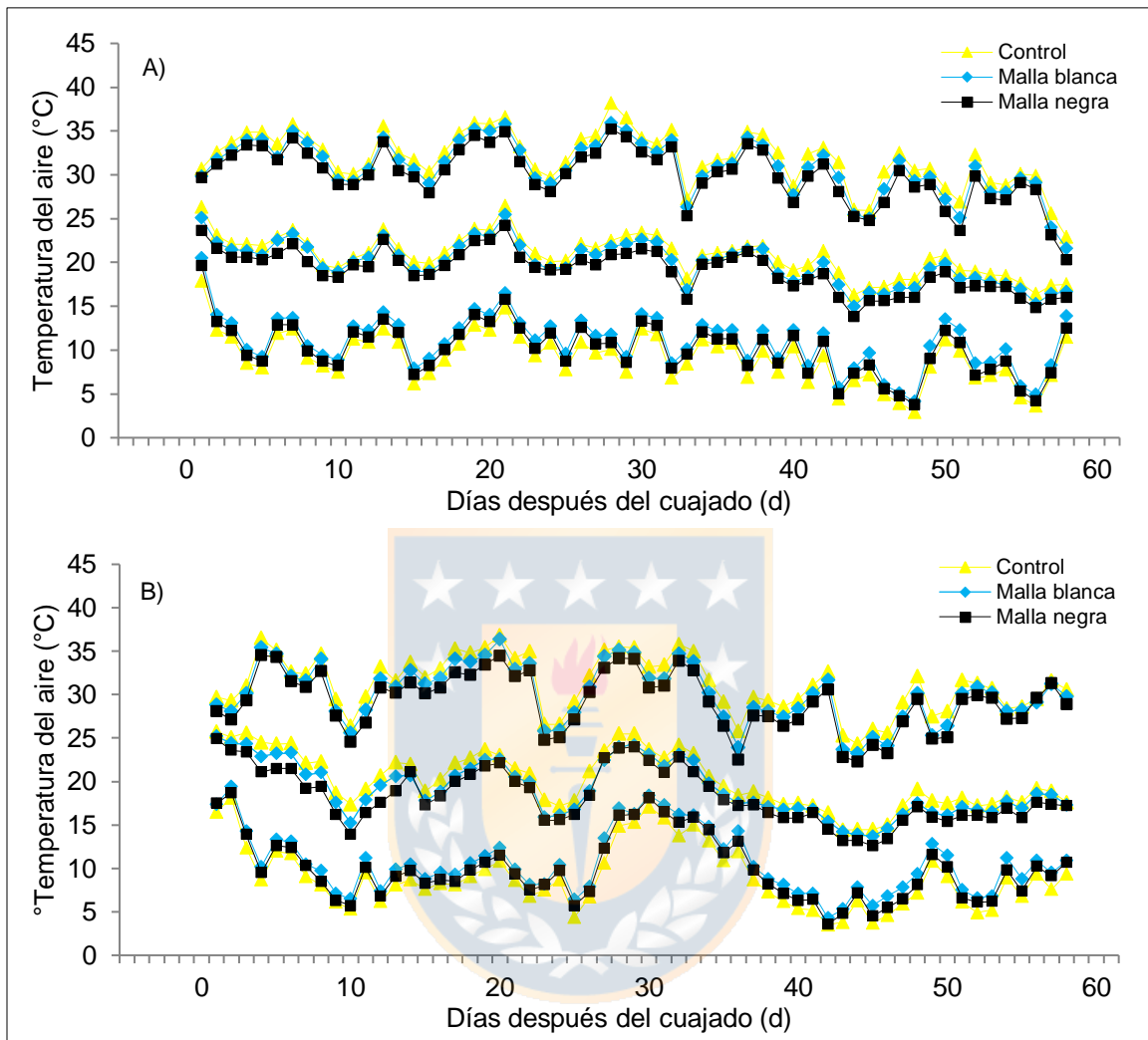


*; **: Significancia a $P < 0,05$ y $0,01$, respectivamente. Cada punto representa las medias \pm error estándar (EE). Fuente: Elaborada con datos propios.

En la Figura 3 se presentan los datos de temperatura mínima, máxima y promedio registrados bajo las mallas y el control. En la primera temporada, aunque las diferencias registradas fueron mínimas, se observó una reducción del promedio de la temperatura con respecto al control de 0,8°C en malla blanca y 1,7°C en malla negra. Se observó además, una reducción de la temperatura máxima con respecto al control de 1°C en malla blanca y 1,9°C en malla negra y un aumento de la temperatura mínima respecto al control de 1,7°C bajo malla blanca y 0,9°C bajo malla negra. En la segunda temporada se observó una reducción del promedio de la temperatura con respecto al control de 1°C bajo malla blanca y 1,8°C bajo malla negra. Una reducción de la temperatura máxima con respecto al control de 1,1°C bajo malla blanca y 2°C bajo malla negra y un aumento de la temperatura mínima respecto al control de 1,6°C bajo malla blanca y 0,9°C bajo malla negra.

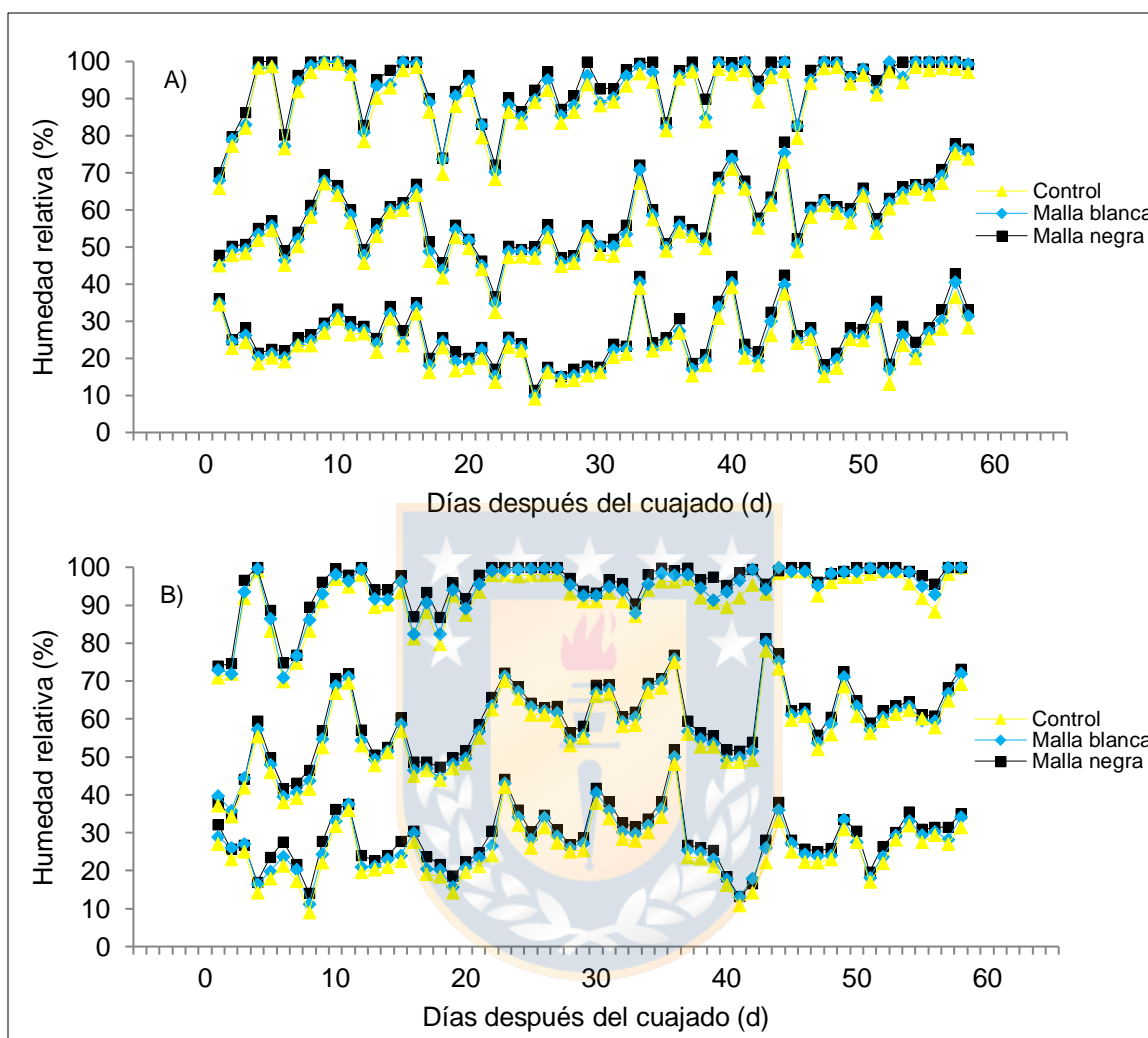
En la Figura 4 se presentan los datos de humedad relativa mínima, máxima y promedio registrados bajo las mallas y control. En la primera temporada, aunque las diferencias registradas fueron mínimas, se observó un aumento del promedio de la humedad relativa con respecto al control de 1,5% bajo malla blanca y 2,9% bajo malla negra. Un aumento de la humedad máxima con respecto al control de 1,7% bajo malla blanca y 3,2% bajo malla negra. Un aumento de la humedad mínima respecto al control de 1,6% bajo malla blanca y 3,2% bajo malla negra. En la segunda temporada se observó un aumento del promedio de la humedad relativa con respecto al control de 1,5% bajo malla blanca y 3% bajo malla negra. Un aumento de la humedad máxima con respecto al control de 1,8% bajo malla blanca y 3,4% bajo malla negra. Un aumento de la humedad mínima respecto al control de 1,9% bajo malla blanca y 3,6% bajo malla negra.

Figura 3. Variación de la temperatura máxima, promedio y mínima bajo las mallas blanca y negra, en las temporadas 2015/16 (A) y 2016/17 (B).



Fuente: Elaborada con datos propios.

Figura 4. Variación de la humedad relativa máxima, promedio y mínima bajo las mallas blanca y negra, en las temporadas 2015/16 (A) y 2016/17 (B). (Fuente: elaborada con datos propios).



Fuente: Elaborada con datos propios.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Shahak *et al.* (2004), quienes registraron una reducción general de la temperatura del aire (1-5°C) y un incremento de la humedad relativa (3-10%) bajo distintas mallas con un factor de sombreado del 30%. Por otra parte, el aumento de la temperatura mínima bajo las mallas concuerda con lo informado por Retamal-Salgado *et al.* (2017) quienes observaron un aumento de la temperatura mínima bajo mallas negras con un factor de sombreado de 30, 60 y 90%.

2.2 Índice de área foliar (IAF)

Entre la cobertura (C) y el tipo de fertilización (T.F) no existió interacción ($P > 0,05$). Sin embargo, se detectaron diferencias significativas para el tipo de fertilización y la cobertura ($P < 0,05$) (Tabla 3). Plantas fertilizadas convencionalmente registraron un índice de área foliar (IAF) significativamente superior, con un valor de $1,50 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. En tanto, el IAF de plantas fertilizadas orgánicamente alcanzó un valor de $1,34 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Tabla 4). El IAF fue significativamente mayor en plantas desarrolladas bajo cobertura de malla negra, alcanzando un valor de $1,64 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Un valor inferior fue registrado en plantas cubiertas con malla blanca, alcanzando $1,39 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Por último, un IAF de $1,23 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ fue alcanzado en plantas desarrolladas a pleno sol. Este valor fue significativamente inferior al de plantas desarrolladas bajo ambas mallas (Tabla 4).

Tabla 3. Valores *P* del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre el índice de área foliar (IAF) de plantas de tomate cultivadas bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Fuente de variación	IAF
Año (A)	n.s
Cobertura (C)	< 0,0001
A x C	n.s
Tipo de fertilización (T.F)	0,0002
A x T.F	n.s
C x T.F	n.s
A x C x T.F	n.s
CV (%)	8,4

n.s: No significativamente diferente; CV: Coeficiente de variación.
Fuente: Elaborada con datos propios.

Tabla 4. Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre el índice de área foliar (IAF) de plantas de tomate cultivadas bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Tipo de fertilización	Cobertura				CV (%)	
	Control	Malla blanca	Malla negra	Media	C	T.F
Convencional	1,28	1,48	1,75	1,50 a		
Orgánica	1,18	1,30	1,54	1,34 b	9,9	7,0
Media	1,23 C	1,39 B	1,64 A			

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas y letras mayúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas (Test de LSD $P < 0,05$). CV (%): Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

El índice de área foliar más alto observado en plantas fertilizadas convencionalmente coincide con lo reportado por Ronga *et al.* (2015), quienes registraron un índice de área foliar significativamente mayor en las plantas fertilizadas convencionalmente. Toor *et al.* (2006) igualmente reportaron un desarrollo foliar mayor en plantas de tomate tratadas con fertilizantes convencionales en comparación a plantas fertilizadas orgánicamente. La lenta liberación de nutrientes de los fertilizantes orgánicos utilizados en el presente estudio podría ser causa de una baja disponibilidad de estos para la raíz y en consecuencia, haber disminuido el desarrollo de las hojas (Mitchell *et al.*, 2007).

Por otra parte, las mallas aumentaron el IAF con respecto al control. Esto coincide con los resultados de Ilić *et al.* (2015), quienes observaron un aumento de este parámetro en plantas de tomate cultivadas bajo cobertura de malla con un factor de sombreado del 40%. Se ha constatado que a intensidades de luz más bajas se produce un alargamiento del tallo, aumento del área de la lámina foliar y el índice de área foliar en tomate (Tinyane *et al.*, 2013). Boardman (1977) indica que bajo condiciones de poca luz, las plantas sufren cambios morfológicos para maximizar el uso de la luz. De esta forma, plantas que se cultivan bajo sombra tienden a aumentar el área foliar debido a que sus células se expanden más para poder interceptar la luz necesaria para el proceso fotosintético. De esta forma, plantas adaptadas a la sombra tienen mayor superficie y área foliar específica, hojas más

delgadas y tallos más largos en comparación a plantas adaptadas a altas intensidades de luz (Larcher, 2003). Díaz-Perez (2013) también registró un mayor desarrollo del área foliar en plantas de pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivadas bajo intensidades crecientes de sombra aportadas por mallas negras de polipropileno. Otros estudios muestran que pimientos sombreados también tienen internudos más largos, hojas más grandes, mayor área foliar y hojas más delgadas (Kittas *et al.*, 2009).

2.3 Componentes de rendimiento

El análisis estadístico de los datos indicó que no existió interacción significativa ($P > 0,05$) entre los factores considerados para todos los componentes de rendimiento (Tabla 5).

Tabla 5. Valores *P* del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre los componentes de rendimiento de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Fuente de variación	Número de frutos	Peso fresco (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)
Año (A)	n.s	0,0026	0,0208	0,0392
Cobertura (C)	n.s	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
A x C	n.s	n.s	n.s	n.s
Tipo de fertilización (T.F)	n.s	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
A x T.F	n.s	n.s	n.s	n.s
C x T.F	n.s	n.s	n.s	n.s
A x C x T.F	n.s	n.s	n.s	n.s
CV (%)	9,6	7,0	3,6	4,4

n.s: No significativamente diferente; CV: Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

No hubo diferencia significativa ($P > 0,05$) en ninguno de los factores en estudio para la variable número de frutos, alcanzando todos los tratamientos valores cercanos a 22 frutos por planta (Tabla 6).

En cuanto al peso fresco, el análisis de varianza detectó diferencia significativa para el tipo de fertilización y la cobertura con malla ($P < 0,05$) (Tabla 5). Frutos provenientes de plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un peso fresco significativamente superior, con un valor de 209,67 g. En tanto, frutos de plantas fertilizadas orgánicamente alcanzaron solamente 186,30 g (Tabla 6). Por otra parte, un mayor peso fresco obtuvieron frutos provenientes de plantas cubiertas por malla blanca, con 226,95 g. Frutos de plantas cubiertas por malla negra y sin cobertura solo alcanzaron pesos de 186,48 y 180,53 g, respectivamente, y no existió diferencia significativa entre éstos ($P > 0,05$) (Tabla 6).

En el diámetro ecuatorial y polar se detectaron diferencias significativas para el tipo de fertilización y la cobertura con malla ($P < 0,05$) (Tabla 5). Frutos provenientes de plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un diámetro ecuatorial significativamente superior, con un valor de 6,43 cm. En tanto, frutos de plantas fertilizadas orgánicamente alcanzaron solamente los 5,92 cm (Tabla 6). Por otra parte, un mayor diámetro ecuatorial obtuvieron frutos de plantas cubiertas por malla blanca, con 6,70 cm. Frutos desarrollados en plantas cubiertas por malla negra y sin cobertura solo alcanzaron los 5,94 y 5,88 cm, respectivamente, y no existió diferencia significativa entre éstos ($P > 0,05$) (Tabla 6).

Por otro lado, frutos de plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un diámetro polar significativamente superior, con un valor de 5,49 cm. En tanto, frutos de plantas fertilizadas orgánicamente alcanzaron solamente los 4,96 cm (Tabla 6). Un mayor diámetro polar se logró en frutos de plantas cubiertas por malla blanca, con 5,73 cm. Frutos de plantas cubiertas por malla negra y sin cobertura solo alcanzaron los 5,03 y 4,91 cm respectivamente, no existiendo diferencia significativa entre éstos ($P > 0,05$) (Tabla 6).

Tabla 6. Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre los componentes de rendimiento de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Tipo de fertilización	Cobertura				CV (%)	
	Control	Malla negra	Malla blanca	Media	C	T.F
<u>Número de frutos por planta</u>						
Convencional	22,31	22,38	23,06	22,58 a	12,5	9,6
Orgánica	21,56	21,00	22,69	21,75 a		
Media	21,94 A	21,69 A	22,88 A			
<u>Peso fresco (g)</u>						
Convencional	187,59	196,64	244,78	209,67 a	8,0	7,0
Orgánica	173,48	176,32	209,11	186,30 b		
Media	180,53 B	186,48 B	226,95 A			
<u>Diámetro ecuatorial (cm)</u>						
Convencional	6,04	6,20	7,05	6,43 a	4,0	3,6
Orgánica	5,71	5,69	6,35	5,92 b		
Media	5,88 B	5,94 B	6,70 A			
<u>Diámetro polar (cm)</u>						
Convencional	5,09	5,31	6,06	5,49 a	4,3	4,3
Orgánica	4,73	4,75	5,40	4,96 b		
Media	4,91 B	5,03 B	5,73 A			

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas y letras mayúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas (Test de LSD $P < 0,05$). CV (%): Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

La similitud en el número de frutos obtenidos por cada planta (Tabla 6), se podría atribuir a que las mallas fueron instaladas sobre el cultivo una vez finalizada la floración y el cuajado de los frutos, por lo que esta variable no se habría visto afectada por el ambiente generado por las mallas. Los resultados obtenidos en el presente estudio para las restantes variables concuerdan con los obtenidos por Oliveira *et al.* (2013), quienes reportaron diferencias sustanciales en el crecimiento de frutos bajo distintos tipos de fertilización en el distrito nororiental de Brasil. La masa y el tamaño de los frutos registrados por estos autores fue aproximadamente un 40% superior en frutos desarrollados con fertilización convencional. Como mencionaron Mitchell *et al.* (2007), los fertilizantes convencionales contienen N inorgánico soluble y otros nutrientes más directamente disponibles para la raíz. En el presente estudio, una limitación de la disponibilidad de nitrógeno en plantas fertilizadas orgánicamente puede haber sido responsable del desarrollo de tomates con menor peso y tamaño (Dumas *et al.*, 2003). Los nutrientes tienen funciones esenciales y específicas en el metabolismo de las plantas, activan reacciones enzimáticas, funcionan como osmorreguladores y constituyen distintas estructuras orgánicas (Schwambach *et al.*, 2005, Bustos *et al.*, 2008). En relación a esto, el nitrógeno (N) es el elemento mineral que las plantas requieren en mayor cantidad y el que probablemente más limita la ganancia de carbono (C) (Chapin *et al.*, 1987). Este elemento es constituyente de variados componentes en las células vegetales, incluidos aminoácidos, ácido nucleicos, amidas, proteínas, nucleótidos y coenzimas involucrados en el crecimiento (Taiz y Zeiger, 2010). Los resultados obtenidos en el presente estudio podrían atribuirse a la baja disponibilidad de nitrógeno y otros nutrientes indispensables para el crecimiento en las raíces de plantas fertilizadas orgánicamente.

Los resultados de peso de fruto bajo cobertura fueron similares a los obtenidos por Ilić *et al.* (2015) y Tinyane *et al.* (2013) quienes registraron un mayor peso fresco en tomates cultivados bajo cobertura de mallas sombra. Las mallas implementadas por estos autores tenían como característica sustancial disminuir la intensidad de la radiación y la temperatura ambiental, así como aumentar la humedad relativa y la cantidad de luz difusa. En el presente estudio, el cambio de

estos parámetros (Figura 2, 3 y 4) bajo las mallas, posiblemente benefició la eficiencia del proceso fotosintético. Se ha informado que la máxima asimilación neta de CO₂ de la mayoría de las especies C3 se satura a una irradiación relativamente baja (600-900 μmol m⁻² s⁻¹), correspondiente al 30-40% de la radiación solar completa (1500-2000 μmol m⁻² s⁻¹). El exceso de radiación predispone a las plantas a la fotoinhibición, estrés térmico y al cierre estomático, reduciéndose la fotosíntesis neta (Pn), fuente última de carbohidratos para el crecimiento (Ilić y Fallik, 2017). Además, las altas temperaturas sostenidas (35-40 °C) como resultado de una alta radiación solar, pueden afectar la división celular, la expansión foliar y el desarrollo reproductivo (Flaishman *et al.*, 2015). Cuando las antenas de recolección de luz absorben excesiva energía lumínica a una velocidad que supera la capacidad de disipación de energía fotoquímica y no fotoquímica, puede ocurrir fotoinhibición o fotodestrucción del fotosistema II, principalmente (Long y Humphries, 1994). A largo plazo, esto puede causar clorosis en las hojas o incluso la necrosis. El daño ocurre, principalmente, como resultado de la exposición prolongada a *peaks* excesivos en la intensidad de la luz (Kasahara *et al.*, 2002).

Por otra parte, la luz difusa es utilizada más eficientemente por las plantas que la luz directa (Li y Yang, 2015), debido a que ésta se distribuye en un perfil de luz más homogéneo en el dosel que la luz directa. La luz difusa se dispersa en muchas direcciones, y en consecuencia, causa menos sombra, mientras que la luz directa se concentra en un haz o rayo, proyectando una sombra en el follaje. Por esto, las hojas superiores en una planta están intensamente iluminadas y las hojas inferiores quedan en la sombra. La luz difusa penetra más profundamente en el dosel, por lo tanto, las hojas más bajas reciben, en promedio, una mayor intensidad de luz, lo cual se traduce en una mayor capacidad fotosintética en la parte inferior del dosel (Li *et al.*, 2014). En el perfil horizontal del dosel, la luz difusa también se distribuye más homogéneamente y genera una menor cantidad de manchas de sol o "*sunflecks*", mejorando la fotosíntesis (Li *et al.*, 2014). Entre los beneficios de la luz difusa, se ha comprobado que disminuye la temperatura y la fotoinhibición de las hojas superiores de la planta (Urban *et al.*, 2012). Por otro

lado, una mayor proporción de luz difusa se ha relacionado con un aumento de la conductancia estomática de la hoja en plantas de arándano cubiertas con túneles de polietileno (Retamal-Salgado *et al.*, 2017). El efecto positivo de la radiación difusa sobre el intercambio gaseoso de la planta puede atribuirse a que en esas condiciones se redujo la temperatura de la hoja, promoviendo consecuentemente la apertura estomática (Urban *et al.*, 2007). Por otra parte, según Umanzor *et al.* (2016), la disminución en la temperatura de la epidermis de manzanas desarrolladas en árboles cubiertos por malla perla, se debió a una mayor proporción de luz difusa.

2.4 Rendimiento y desecho

No existió interacción significativa ($P > 0,05$) entre los factores considerados para el rendimiento total y comercial (Tabla 7). Sin embargo, para la variable desecho sí se detectó interacción entre el tipo de fertilización y la cobertura (Tabla 7 y Figura 5).

Tabla 7. Valores *P* del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre el rendimiento total, comercial y desecho de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Fuente de variación	Rendimiento total (t ha ⁻¹)	Rendimiento comercial (t ha ⁻¹)	Desecho (t ha ⁻¹)
Año (A)	n.s	n.s	n.s
Cobertura (C)	0,0008	< 0,0001	< 0,0001
A x C	n.s	n.s	n.s
Tipo de fertilización (T.F)	0,0001	< 0,0001	0,0002
A x T.F	n.s	n.s	n.s
C x T.F	n.s	n.s	0,0088
A x C x T.F	n.s	n.s	n.s
CV (%)	10,22	13,73	10,07

n.s: No significativamente diferente; CV: Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

Para rendimiento total se detectó diferencia significativa según el tipo de fertilización y la cobertura con malla ($P < 0,05$) (Tabla 7). Plantas cultivadas con fertilización convencional presentaron un rendimiento total significativamente mayor, que alcanzó las $78,96 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabla 8). Plantas cultivadas con el tipo de fertilización orgánica presentaron un rendimiento total que alcanzó solamente las $67,81 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabla 8). Por otra parte, plantas crecidas bajo cobertura de malla blanca presentaron un rendimiento total significativamente mayor, que alcanzó las $86,76 \text{ t ha}^{-1}$. En tanto, plantas cubiertas con malla negra y sin cobertura alcanzaron rendimientos inferiores, de $67,49$ y $65,92 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente, no existiendo diferencia significativa entre estos ($P > 0,05$) (Tabla 8).

Para el rendimiento comercial se observaron diferencias significativas para el tipo de fertilización y la cobertura con malla ($P < 0,05$) (Tabla 7). Plantas cultivadas con el tipo de fertilización convencional presentaron un rendimiento comercial significativamente mayor, que alcanzó las $69,54 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabla 8). Plantas cultivadas con el tipo de fertilización orgánica presentaron un rendimiento comercial que alcanzó solamente las $55,03 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabla 8). Plantas crecidas bajo cobertura de malla blanca y negra presentaron un rendimiento comercial significativamente mayor, que alcanzó las $76,05$ y $64,76 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente, siendo diferente del presentado por plantas desarrolladas a pleno sol, que alcanzaron solamente las $46,05 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabla 8).

Bajo condiciones de pleno sol y bajo cobertura de malla blanca, en plantas fertilizadas orgánicamente se registró una mayor cantidad de desecho que en plantas fertilizadas convencionalmente (Figura 5; Tabla 9). Sin embargo, no se observó el mismo comportamiento en plantas desarrolladas bajo cobertura de malla negra. El desecho varió significativamente entre todas las parcelas bajo el tipo de fertilización orgánica, siendo mayor en plantas desarrolladas a pleno sol (control), seguido de plantas bajo malla blanca, y se alcanzó el menor valor en plantas cultivadas bajo cobertura de malla negra. Por otra parte, la cantidad de fruto de desecho también varió significativamente entre todas las parcelas bajo el tipo de fertilización convencional, siendo también mayor en plantas cultivadas a

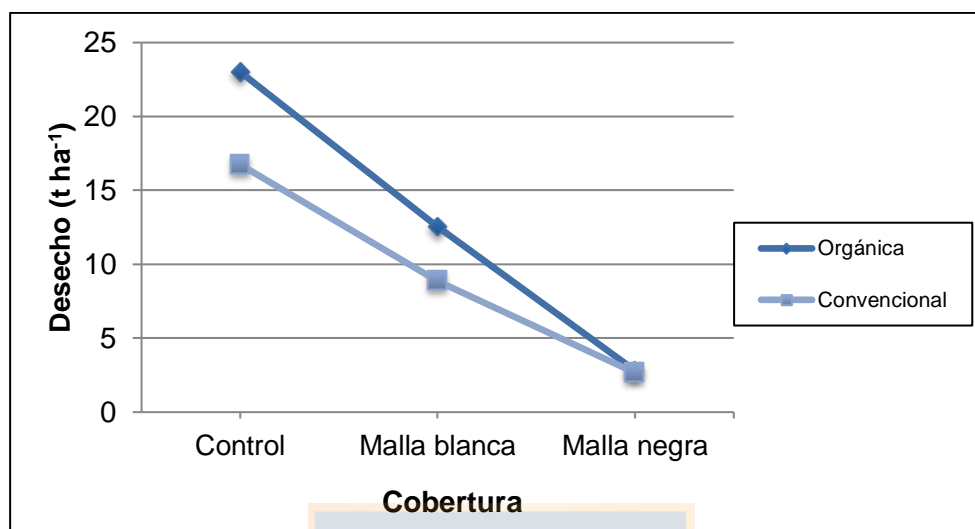
pleno sol, seguido de plantas bajo malla blanca y alcanzándose el menor valor en plantas cultivadas bajo cobertura de malla negra (Tabla 9).

Tabla 8. Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre el rendimiento total y comercial de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Tipo de fertilización	Cobertura				CV (%)	
	Control	Malla negra	Malla blanca	Media	C	T.F
<u>Rendimiento total (t ha⁻¹)</u>						
Convencional	69,29	73,30	94,31	78,96 a	17,1	10,2
Orgánica	62,55	61,67	79,21	67,81 b		
Media	65,92 B	67,49 B	86,76 A			
<u>Rendimiento comercial (t ha⁻¹)</u>						
Convencional	52,55	70,64	85,43	69,54 a	15,9	13,7
Orgánica	39,55	58,87	66,67	55,03 b		
Media	46,05 C	64,76 B	76,05 A			

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas y letras mayúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas (Test de LSD $P < 0,05$). CV (%): Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

Figura 5. Interacción entre el tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas, para la variable desecho en tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.



Fuente: Elaborada con datos propios.

Tabla 9. Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas, sobre el desecho de tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Tipo de fertilización	Cobertura			CV (%)
	Control	Malla blanca	Malla negra	
Orgánica	23,01 aA	12,54 aB	2,81 aC	10,07
Convencional	16,74 bA	8,88 bB	2,66 aC	

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas y letras mayúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas (Test de LSD $P < 0,05$). CV (%): Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

El mayor rendimiento total registrado bajo el tipo de fertilización convencional y la cobertura con malla blanca fue consecuencia del mayor peso fresco del fruto (Tabla 6) y no del número de frutos, variable en la que no se detectó diferencia significativa. Bajo estas dos condiciones se produjo un aumento significativo del rendimiento comercial (Tabla 8), así como también una disminución significativa del desecho (Tabla 9). Los resultados obtenidos en el presente estudio fueron similares a aquellos de Ilić *et al.* (2012), quienes determinaron un rendimiento total significativamente mayor en plantas crecidas bajo cobertura de mallas-sombra

(40% sombreadamiento) elaboradas con materiales que dispersan la luz. El-Gizawy *et al.* (1992) igualmente constataron un aumento significativo del rendimiento en plantas que fueron sometidas a intensidades crecientes de sombra con malla negra, logrando un mayor rendimiento total con un factor de sombreadamiento de 35%.

2.5 Desordenes fisiológicos

Existió interacción significativa entre el tipo de fertilización y la cobertura con malla para las variables mancha solar y pudrición apical (Figura 6; Figura 7). Sin embargo, no existió interacción para la variable partidura del fruto (Tabla 10).

Tabla 10. Valores *P* del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre la mancha solar, pudrición apical y partidura de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreadamiento en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Fuente	Mancha solar (t ha ⁻¹)	Pudrición apical (t ha ⁻¹)	Partidura (t ha ⁻¹)
Año (Año)	n.s	n.s	n.s
Cobertura (C)	< 0,0001	0,0032	0,06
A x C	n.s	n.s	n.s
Tipo de fertilización (T.F)	0,001	0,0002	n.s
A x T.F	n.s	n.s	n.s
C x T.F	0,0245	0,0057	n.s
A x C x T.F	n.s	n.s	n.s
CV (%)	30,15	14,80	15,76

n.s: No significativamente diferente; CV: Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

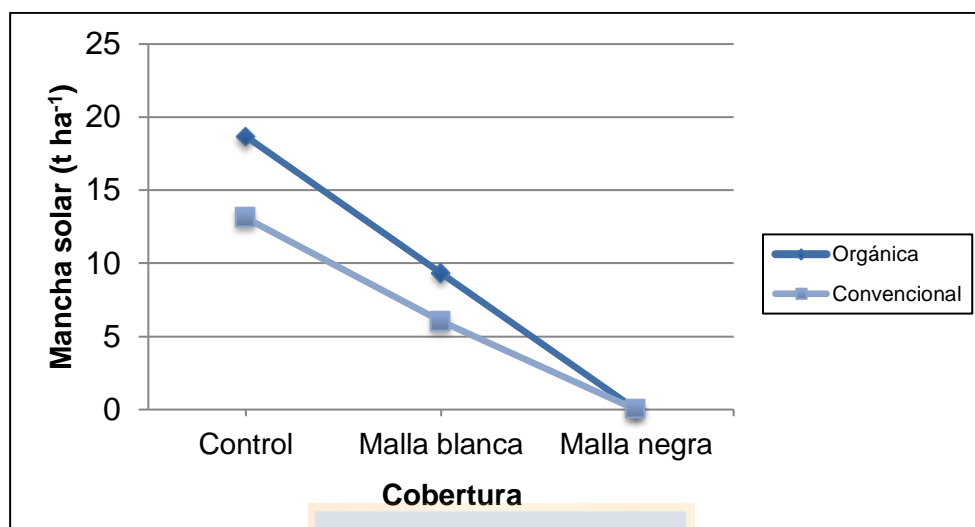
Plantas cultivadas a pleno sol y con fertilización orgánica presentaron una mayor cantidad de frutos afectados por mancha solar que plantas cultivadas con fertilización convencional (Tabla 11). Sin embargo, esto no se observó bajo cobertura de malla blanca y negra. La cantidad de frutos afectados tanto en plantas cultivadas con fertilización orgánica y convencional, varió significativamente entre las distintas parcelas, siendo mayor en plantas crecidas a

pleno sol (Tabla 11). Una cantidad menor fue registrada en plantas crecidas bajo cobertura de malla blanca. En el caso de las plantas cultivadas bajo cobertura de malla negra la aparición de este desorden se eliminó totalmente (Figura 6; Tabla 11).

Plantas cultivadas a pleno sol y con fertilización orgánica presentaron una mayor cantidad de frutos afectados por pudrición apical que plantas cultivadas con fertilización convencional (Tabla 12). Sin embargo, esta misma diferencia no se observó bajo cobertura de malla blanca o negra. La cantidad de frutos afectados por este desorden vario significativamente en plantas cultivadas con fertilización orgánica, siendo mayor en plantas cultivadas a pleno sol, seguido de plantas desarrolladas bajo malla blanca y malla negra, no existiendo diferencia significativa entre estas últimas. La cantidad de frutos afectados no varió significativamente entre todas las parcelas bajo el tipo de fertilización convencional (Figura 7; Tabla 12).

El análisis de varianza para el tipo de fertilización no detectó diferencia significativa para la cantidad de frutos afectados por partidura, pero sí para la cobertura con malla ($P < 0,05$) (Tabla 13). Con fertilización orgánica se presentó una mayor cantidad de fruto afectado por partidura, con $1,75 \text{ t ha}^{-1}$. En tanto, con la fertilización convencional el valor fue inferior, con $1,66 \text{ t ha}^{-1}$. Por otra parte, la mayor cantidad de fruto afectado se presentó en plantas cultivadas a pleno sol, con $2,21 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabla 13).

Figura 6. Interacción entre el tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas, para la variable mancha solar en tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.



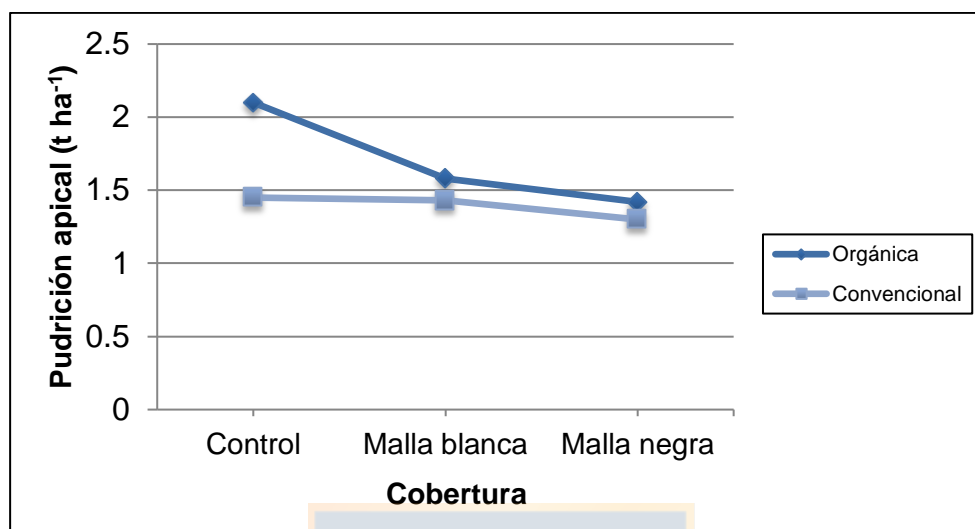
Fuente: Elaborada con datos propios.

Tabla 11. Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas, sobre la mancha solar de tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Tipo de fertilización	Cobertura			CV (%)
	Control	Malla blanca	Malla negra	
Orgánica	18,68 aA	9,33 aB	0aC	30,15
Convencional	13,1 bA	6,03 aB	0aC	

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas y letras mayúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas (Test de LSD $P < 0,05$). CV (%): Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

Figura 7. Interacción entre el tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas, para la variable pudrición apical en tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.



Fuente: Elaborada con datos propios.

Tabla 12. Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre la pudrición apical de tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Tipo de fertilización	Cobertura			CV (%)
	Control	Malla blanca	Malla negra	
Orgánica	2,10 aA	1,58 aB	1,42 aB	14,8
Convencional	1,45 bA	1,43 aA	1,30 aA	

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas y letras mayúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas (Test de LSD $P < 0,05$). CV (%): Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

Tabla 13. Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre la partidura de tomate ($t\ ha^{-1}$) cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Tipo de fertilización	Cobertura				CV (%)	
	Control	Malla blanca	Malla negra	Media	C	T.F
Orgánica	2,23	1,63	1,39	1,75 a		
Convencional	2,20	1,41	1,35	1,66 a	55,4	15,5
Media	2,21 A	1,52 AB	1,37 B			

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas y letras mayúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas (Test de LSD $P < 0,05$). CV (%): Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

Las condiciones ambientales menos estresantes desarrolladas bajo la cobertura con malla, especialmente menor temperatura y radiación, posiblemente expliquen el menor desarrollo de mancha solar en los frutos (Tabla 1). Por otra parte, bajo ambas mallas y con el tipo de fertilización convencional se registró un mayor IAF (Tabla 4), lo que pudo haber sombreado y protegido a los frutos de una exposición prolongada y directa al sol. En el presente estudio, los resultados obtenidos bajo malla negra fueron similares a los obtenidos por El-Gizawy *et al.* (1992), quienes usaron malla negra de distintos porcentajes de sombra (35, 51 y 63%) sobre un cultivo de tomate. La cantidad de frutos afectados con mancha solar fue disminuyendo conforme se incrementó el nivel de sombreado. Sin embargo, estos autores determinaron que con un porcentaje de sombreado del 51% se lograba reducir totalmente la cantidad de fruta dañada. Esto difiere con lo determinado en el presente experimento, donde se logró eliminar totalmente este desorden con un factor de sombreado de 35%. Esto podría explicarse por las condiciones climáticas diferentes entre el ensayo en Chile y Egipto, donde la producción de tomate siempre está sujeta a alta radiación y temperaturas extremas. Se ha informado que cuando los frutos están expuestos a radiación solar directa, su temperatura puede aumentar $10^{\circ}C$ o más por sobre la temperatura ambiente. De esta forma, cuando la temperatura de una parte expuesta de la fruta excede los $40^{\circ}C$, el tejido se decolora y hunde (Ilić y Fallik, 2017). Esto podría explicar la mayor cantidad de fruta afectada en el tratamiento

control, donde se registró mayor radiación y temperatura. Se ha demostrado que todas las mallas de sombreado tienen un efecto protector contra la mancha solar en comparación con las plantas de control no sombreadas (Ambrózy *et al.*, 2016). Los efectos benéficos del sombreado sobre el aumento del rendimiento comercial y la disminución de fruta dañada con mancha solar se asocian con una reducción tanto de la radiación como de la temperatura, lo que reduce el estrés térmico en las plantas. Esto se evidenció con la ausencia de fruta con mancha solar en el tratamiento con malla negra (Tabla 11), que redujo en mayor medida la radiación (Figura 2) y la temperatura ambiental (Figura 3). Por otra parte, bajo esta malla se desarrolló un mayor área foliar que pudo haber impedido que los frutos estuvieran expuestos directamente y por un tiempo prolongado a la radiación. De la misma forma, con la fertilización convencional se obtuvo una mayor área foliar que también pudo haber contribuido a una menor cantidad de fruta afectada. En el caso de la pudrición apical, los resultados obtenidos con el tipo de fertilización orgánica podrían estar asociados a una lenta entrega de calcio a partir de la fuente utilizada. La roca fosfórica se caracteriza por presentar una lenta y baja solubilidad (Yu *et al.*, 2012). Esto pudo haber determinado una baja disponibilidad de calcio en los momentos críticos de formación del fruto. La pudrición apical del fruto está asociada con la deficiencia de calcio (Ca), y se caracteriza por una necrosis progresiva de grupos de células, con la subsiguiente deshidratación parcial del área afectada. El desorden comienza en el fruto inmaduro, durante la etapa de rápido crecimiento (Suzuki *et al.*, 2003). Es interesante observar que esta respuesta no se presentó en frutos de plantas cultivadas bajo cobertura de malla blanca o negra. Podría atribuirse a que las plantas cierran sus estomas al estar sometidas a condiciones de estrés, especialmente excesiva radiación y elevada temperatura, disminuyendo la transpiración de plantas cultivadas a pleno sol y, en consecuencia, haber afectado la absorción de calcio desde el suelo. El Ca es principalmente transportado a través de los vasos del xilema en la corriente transpiratoria donde este se mueve libremente con el agua a las hojas, y desde allí a los frutos a través del floema (Tadesse *et al.*, 2001).

2.6 Indicadores químicos de calidad

El análisis estadístico de los datos indicó que no existió interacción significativa ($P > 0,05$) entre los factores considerados (Tabla 14).

Tabla 14. Valores P del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre los sólidos solubles y acidez titulable de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Fuente de variación	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez titulable (%)
Año (Año)	n.s	n.s
Cobertura (C)	0,0001	0,0001
A x C	n.s	n.s
T. fertilización (T.F)	0,0469	0,0069
A x T.F	n.s	n.s
C x T.F	n.s	n.s
A x C x T.F	n.s	n.s
CV (%)	4,91	6,76

n.s: No significativamente diferente; CV: Coeficiente de variación.
Fuente: Elaborada con datos propios.

Para los sólidos solubles, el análisis de varianza detectó diferencia significativa para el tipo de fertilización y la cobertura con malla ($P < 0,05$) (Tabla 14). Frutos provenientes de plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un contenido de sólidos solubles significativamente más alto, alcanzando los 4,75 °Brix, en tanto frutos provenientes de plantas fertilizadas orgánicamente obtuvieron solamente 4,61 °Brix (Tabla 15). Por otra parte, frutos provenientes de plantas cubiertas con malla blanca presentaron un contenido significativamente mayor, alcanzando 4,99 °Brix. Un valor inferior fue registrado en frutos provenientes de plantas cubiertas con malla negra, con 4,64 °Brix. Por último, un valor de 4,42 °Brix fue alcanzado en frutos de plantas cultivadas a pleno sol, este valor fue significativamente inferior al de plantas cultivadas bajo ambas coberturas (Tabla 15).

Para la acidez titulable, el análisis de varianza detectó diferencia significativa para el tipo de fertilización y la cobertura con malla ($P < 0,05$) (Tabla 14). Frutos provenientes de plantas fertilizadas convencionalmente presentaron un porcentaje

de acidez significativamente más alto, alcanzando un 0,52%. Frutos provenientes de plantas fertilizadas orgánicamente obtuvieron un valor inferior, de 0,48% (Tabla 15). Por otra parte, frutos provenientes de plantas cubiertas con malla blanca presentaron un porcentaje significativamente mayor, alcanzando un 0,57%. Un valor inferior fue registrado en frutos provenientes de plantas cubiertas con malla negra, con un 0,49%. Por último, un valor de 0,44% fue registrado en frutos de plantas desarrolladas a pleno sol, este valor fue significativamente inferior al de plantas cultivadas bajo ambas coberturas (Tabla 15).

Tabla 15. Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre los sólidos solubles y acidez titulable de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Tipo de fertilización	Cobertura				CV (%)	
	Control	Malla negra	Malla blanca	Media	C	T.F
<u>Sólidos solubles (°Brix)</u>						
Convencional	4,45	4,71	5,10	4,75 a	5,6	4,8
Orgánica	4,39	4,56	4,89	4,61 b		
Media	4,42 C	4,64 B	4,99 A			
<u>Acidez titulable (%)</u>						
Convencional	0,47	0,50	0,59	0,52 a	8,2	6,5
Orgánica	0,42	0,49	0,55	0,48 b		
Media	0,44 C	0,49 B	0,57 A			

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas y letras mayúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas (Test de LSD $P < 0,05$). CV (%): Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

Estudios que comparan parámetros químicos de calidad en tomate entregan resultados poco claros al contrastar ambos tipos de fertilización. Lumpkin (2005) no observó ninguna diferencia en el contenido de sólidos solubles en tomates producidos en sistemas productivos en los que se compararon fertilizantes orgánicos y convencionales. Por otro lado, Barrett *et al.* (2007) registraron un mayor valor de sólidos solubles en tomates producidos con fertilizantes orgánicos. En otros casos se ha registrado un valor mayor en tomates producidos con fertilizantes convencionales (Hernández-Suarez *et al.*, 2008; Kapoulas *et al.*, 2011; Ünlü *et al.*, 2011). Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con los obtenidos por Youssef y Eissa (2017), quienes informaron un contenido significativamente superior de sólidos solubles y acidez titulable en tomates de plantas fertilizadas convencionalmente. El mayor contenido de sólidos solubles y acidez titulable coincidió con frutos de mayor tamaño y peso fresco, lo cual se obtuvo con fertilización convencional y cobertura de malla blanca. Esto podría atribuirse a la mayor disponibilidad de nutrientes que ofrece la fertilización convencional y al microclima generado bajo la malla, caracterizado por una menor temperatura (Figura 3), mayor humedad relativa (Figura 4), menor intensidad de radiación y mayor proporción de luz difusa con respecto al control (Figura 2). Estos cambios pudieron haber favorecido el proceso de fotosíntesis y, en consecuencia, el aporte de más fotoasimilados al fruto.

2.7 Contenido de antioxidantes

El análisis estadístico de los datos indicó que no existió interacción significativa ($P > 0,05$) entre los factores considerados para los distintos antioxidantes (Tabla 16).

Tabla 16. Valores P del ANOVA combinado. Principales efectos del año, cobertura, tipo de fertilización y sus interacciones sobre la concentración de licopeno, polifenoles y vitamina C de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreadamiento en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Fuente de variación	Licopeno (mg 100 g ⁻¹ PF)	Polifenoles totales (mg 100 g ⁻¹ PF)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹ PF)
Año (Año)	n.s	n.s	n.s
Cobertura (C)	< 0,0001	n.s	0,0016
A x C	n.s	n.s	n.s
T. fertilización (T.F)	0,0013	0,0064	0,0118
A x T.F	n.s	n.s	n.s
C x T.F	n.s	n.s	n.s
A x C x T.F	n.s	n.s	n.s
CV (%)	21,93	19,43	11,67

n.s: No significativamente diferente; CV: Coeficiente de variación.

Fuente: Elaborada con datos propios.

Para licopeno, el análisis de varianza detectó diferencia significativa para tipo de fertilización y la cobertura con malla ($P < 0,05$) (Tabla 16). Se obtuvo una concentración significativamente mayor de licopeno en frutos de plantas fertilizadas convencionalmente, con 5,65 mg 100 g⁻¹ PF. En tanto, frutos de plantas fertilizadas orgánicamente obtuvieron solamente 4,44 mg 100 g⁻¹ PF (Tabla 17). Por otra parte, se obtuvo una concentración significativamente más alta de licopeno en frutos de plantas cultivadas bajo cobertura de malla blanca, con 6,19 mg 100 g⁻¹ PF. Frutos de plantas crecidas a pleno sol obtuvieron un valor que alcanzó los 4,81 mg 100 g⁻¹ PF. Por último, frutos de plantas cultivadas bajo malla negra obtuvieron un valor significativamente inferior, con 4,13 mg 100 g⁻¹ PF (Tabla 17).

Para los polifenoles totales, el análisis de varianza detectó diferencia significativa sólo para el tipo de fertilización ($P < 0,05$) (Tabla 16). Se obtuvo una concentración

significativamente mayor de polifenoles en frutos de plantas fertilizadas orgánicamente, con 21,38 mg 100 g⁻¹ PF. En tanto, frutos de plantas fertilizadas convencionalmente obtuvieron una concentración de solo 10,44 mg 100 g⁻¹ PF (Tabla 17).

Para la vitamina C, el análisis de varianza detectó diferencia significativa para el tipo de fertilización y la cobertura con malla ($P < 0,05$) (Tabla 16). Se obtuvo una concentración significativamente mayor de vitamina C en frutos de plantas fertilizadas orgánicamente, con 24,30 mg 100 g⁻¹ PF. En tanto, frutos de plantas fertilizadas convencionalmente obtuvieron una concentración de solo 22,11 mg 100 g⁻¹ PF (Tabla 17). Por otra parte, se obtuvo una mayor concentración de vitamina C en frutos de plantas cultivadas bajo cobertura de malla blanca y en el control, con 25,61 mg 100 g⁻¹ PF y 23,59 mg 100 g⁻¹ PF, respectivamente. Estos resultados no fueron significativamente distintos entre sí, pero si fueron significativamente superiores al valor obtenido en frutos de plantas desarrolladas bajo cobertura de malla negra (20,42 mg 100 g⁻¹ PF) (Tabla 17).

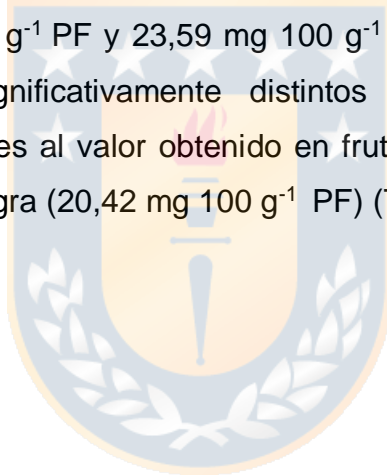


Tabla 17. Efecto del tipo de fertilización (convencional u orgánica) y la cobertura con mallas sobre la concentración de licopeno, polifenoles y vitamina C de tomate cultivado bajo malla blanca, negra y sin sombreado en las temporadas 2015/16 y 2016/17.

Tipo de fertilización	Cobertura				CV (%)	
	Control	Malla negra	Malla blanca	Media	C	T.F
<u>Licopeno (mg 100 g⁻¹ PF)</u>						
Convencional	5,66	4,95	6,35	5,65 a	11,9	21,9
Orgánica	3,96	3,32	6,04	4,44 b		
Media	4,81 B	4,13 C	6,19 A			
<u>Polifenoles totales (mg 100 g⁻¹ PF)</u>						
Convencional	9,92	9,97	11,43	10,44 b	17,1	19,4
Orgánica	21,10	19,16	23,87	21,38 a		
Media	15,51 A	14,56 A	17,65 A			
<u>Vitamina C (mg 100 g⁻¹ PF)</u>						
Convencional	22,86	18,95	24,52	22,11 b	13,2	11,7
Orgánica	24,32	21,89	26,70	24,30 a		
Media	23,59 A	20,42 B	25,61 A			

Letras minúsculas distintas en una misma columna indican diferencias significativas y letras mayúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas (Test de LSD P<0,05). CV (%): Coeficiente de variación. Fuente: Elaborada con datos propios.

El licopeno es el principal carotenoide presente en los tomates, representando más del 85% del total. El segundo es el β -caroteno, pero se encuentra en cantidades muy pequeñas (Dumas *et al.*, 2003). Los resultados del presente estudio fueron similares a los obtenidos por Hallmann (2012), quien evaluó el efecto del tipo de fertilización sobre el contenido de licopeno y β -caroteno, registrando una mayor concentración en tomates provenientes de plantas fertilizadas convencionalmente. Por otra parte, Rossi *et al.* (2008) también registraron en plantas fertilizadas orgánicamente frutos con niveles

significativamente más bajos de licopeno. El contenido de licopeno en el tomate depende de variados factores, incluida la disponibilidad de nitrógeno (Dumas *et al.*, 2003). Según Lacatus *et al.* (1995), el nitrógeno es requerido para la síntesis de acetil-CoA, enzima que cumple un rol fundamental en la síntesis de carotenoides. En el presente estudio, una mayor disponibilidad de nitrógeno para las plantas cultivadas con fertilizantes convencionales puede haber incrementado la síntesis de esta enzima y en consecuencia la concentración de licopeno en el fruto. Por otra parte, una mayor concentración de este antioxidante se registró en tomates de plantas cubiertas por malla blanca. La menor temperatura e intensidad de radiación bajo ésta malla pudieron haber contribuido a una mayor acumulación de licopeno en el fruto. Se ha demostrado que la síntesis de licopeno es afectada por condiciones ambientales tales como temperatura del aire y luz solar (Dumas *et al.*, 2003). La temperatura óptima para su biosíntesis se encuentra entre los 22-26°C. Temperaturas superiores a 30-35°C y radiación solar excesiva y directa inhiben su síntesis (Gautier *et al.*, 2005; Brandt *et al.*, 2006; Roselló *et al.*, 2011), estimulando la oxidación del licopeno a β -caroteno (Dumas *et al.*, 2003). Se ha constatado, además, que la síntesis de licopeno en el tomate está regulada por fitocromos (fotorreceptores encargados de detectar la luz roja y la roja lejana) y es inducida por la luz roja, proceso reversible en presencia de luz roja lejana (Alba *et al.*, 2000). La malla blanca aumentó la cantidad de luz difusa con respecto al control y la malla negra. Es posible que la luz difusa pudiera haber llegado a los frutos, que habitualmente crecen sombreados al interior del dosel, con una proporción de luz roja/luz roja lejana que estimulara la síntesis de licopeno. Además, la luz ultravioleta pudo haber sido transmitida por la malla como luz difusa pero con una menor intensidad (por la acción de los estabilizadores de luz ultravioleta UV), favoreciendo también la síntesis de licopeno. Se ha señalado que la luz ultravioleta desencadena una respuesta de defensa en los frutos de tomate, los que aumentan su concentración de licopeno para contrarrestar el efecto del estrés oxidativo. Sin embargo, se ha determinado también que los tomates producidos en campo deben tener una buena cubierta de hojas que brinden sombra y no permitan que el fruto se exponga directamente y durante un periodo prolongado a

esta fuerte radiación que causa, además, inhibición de la fotosíntesis, daños en el ADN e incluso necrosis en los tejidos vegetales (Saavedra y Ciudad, 2002). Como ya se ha mencionado, bajo una radiación solar excesiva o UV-B de sólo unas pocas horas se podría producir daño foto oxidativo o foto inhibición y reducción de la síntesis de licopeno. Al respecto, Torres *et al.* (2006) observaron un descenso en los carotenoides totales en tomate expuesto por 5 horas a radiación ultravioleta (UV). La transmisión de luz difusa azul a través de la malla blanca también pudo contribuir a un mayor contenido de licopeno en el fruto, como fue evidenciado por Gautier *et al.* (2004), quienes determinaron una mayor concentración en frutos expuestos a radiación fotosintéticamente activa y más concentradamente luz azul. Un mayor índice de área foliar en plantas fertilizadas convencionalmente también pudo haber incidido de forma indirecta en una mayor acumulación de licopeno, al evitar que los frutos estuvieran expuestos a una elevada intensidad de radiación solar.

En el presente estudio, la mayor concentración de polifenoles totales y vitamina C en frutos de plantas fertilizadas orgánicamente coincide con los resultados de Toor *et al.* (2006), quienes registraron un mayor contenido de estos compuestos en frutos de plantas fertilizadas con fuentes orgánicas. Aunque sus resultados no fueron significativamente diferentes, observaron que los frutos contenían una concentración 17,6% y 29% más alta de polifenoles totales y vitamina C, respectivamente. La hipótesis de balance diferenciación-crecimiento (HBDC) establece que una planta evaluará los recursos disponibles y optimizará su inversión en procesos dirigidos hacia el crecimiento o la diferenciación (Gravel *et al.*, 2010). En relación a esto, se ha señalado que las diferencias relativas en la liberación de nutrientes de los fertilizantes podría llevar a diferentes relaciones carbono-nitrógeno (C/N) en las plantas y esto, a su vez, podría conducir a una diferencia en la producción de metabolitos secundarios (Brandt y Molgaard, 2001). Al respecto, la teoría del balance C/N establece que si el N está fácilmente disponible, las plantas fabricarían principalmente compuestos con alto contenido de N (por ejemplo, proteínas para el crecimiento). En cambio, si la disponibilidad de N fuera limitada, el metabolismo se orientaría hacia la síntesis de compuestos

que contienen carbono como el almidón, la celulosa y los metabolitos secundarios que no contienen N, como los polifenoles y vitamina C (Haukioja *et al.*, 1998). Por otra parte, se ha señalado que las plantas no pueden asignar simultáneamente recursos para el crecimiento y la defensa, y existe una competencia entre las proteínas y la síntesis fenólica por el precursor común involucrado en su biosíntesis, la L-fenilalanina (Riipi *et al.*, 2002), por lo que 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 el tejido es un estimador de deficiencia de nitrógeno (Cartelat *et al.*, 2005). Las características de los fertilizantes utilizados en el presente estudio pudieron haber afectado la relación C/N al limitar la cantidad de nitrógeno disponible para la planta. Sin embargo, la suficiente cantidad de luz para la fotosíntesis puede haber asignado carbono para la síntesis de los compuestos antioxidantes evaluados.

La luz es uno de los principales reguladores ambientales de la síntesis de polifenoles y vitamina C, registrándose niveles más altos de estos antioxidantes en plantas desarrolladas bajo alta disponibilidad de luz (Par y Bolwell, 2000). La producción de estos compuestos se estimula para proteger a los tejidos vegetales del daño que podría causar una alta intensidad lumínica, especialmente, luz ultravioleta (UV) (Ubi, 2004). Luthria *et al.* (2006) determinaron que frutos de tomate expuestos a radiación solar UV (290-400 nm) contenían aproximadamente un 20% más de ácidos fenólicos (ácido cafeico, p-cumárico y ácido ferúlico) y un 10-16% más de polifenoles totales que frutos crecidos bajo condiciones de exclusión de luz ultravioleta. Por otra parte, aunque la luz no es esencial en la síntesis de vitamina C, la cantidad y la intensidad de luz durante la estación de crecimiento influyen en su contenido en el fruto, ya que la vitamina C 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 de vitamina C (Gautier *et al.*, 2005). Se ha señalado que tanto la intensidad como la duración y la calidad de la luz afectan los antioxidantes presentes en el tomate. Varios estudios han evidenciado que antioxidantes como los polifenoles y la vitamina C incrementan su concentración ante una intensidad

lumínica elevada (Amiot *et al.*, 2007). Como ocurre con el licopeno, una mayor concentración de estos antioxidantes se ha registrado en tomates desarrollados en condiciones de campo, donde existe incidencia de luz ultravioleta y fotosintéticamente activa. Sin embargo, se ha demostrado que una exposición prolongada y directa a una intensa radiación afecta su síntesis (Adams *et al.*, 2001). 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) y un 20% menos de dehidroascorbato (DHA) en el exocarpo, sugiriendo una degradación parcial del *pool* total de ascorbato. Si bien, no existió diferencia significativa en el contenido de polifenoles totales entre frutos de plantas cultivadas a pleno sol y bajo cobertura de malla, el contenido de éstos sí fue superior bajo malla blanca. Al mismo tiempo, la mayor concentración de vitamina C se observó en tomates desarrollados a pleno sol y bajo cobertura de malla blanca. En ambos casos se registraron niveles de PAR_{total} y PAR_{difusa} más altos en relación a la malla negra (Figura 2). En el presente estudio, la malla blanca pudo haber posibilitado, a través de la luz difusa, la llegada con menor intensidad de luz ultravioleta (por acción de los aditivos incorporados en su fabricación), azul y roja al fruto. De esta manera, se podría haber estimulado la síntesis de ambos antioxidantes. En el caso de los polifenoles, varios autores han sugerido la participación en este proceso de foto-receptores UV-B, criptocromos y fitocromos (Giliberto *et al.*, 2005). En este último caso, también se ha demostrado que la luz roja estimula la síntesis de uno de los flavonoides más importantes en el tomate, la naringenina-chalcona (Dumas *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de la presente investigación se concluye que:

1. La fertilización convencional y las condiciones ambientales generadas por la malla blanca aumentan el peso fresco y tamaño del fruto, así como también, el rendimiento total y comercial del cultivo.
2. La fertilización convencional disminuye la cantidad de tomate de desecho producido en plantas cultivadas a pleno sol y bajo cobertura de malla blanca. Además, disminuye la cantidad de tomate afectado por mancha solar y pudrición apical en plantas cultivadas sin sombreado.
3. Ambas mallas disminuyen la cantidad de tomate de desecho, la mancha solar, pudrición apical (bajo fertilización orgánica) y la partidura del fruto.
4. La fertilización convencional y las condiciones ambientales generadas por la malla blanca aumentan el contenido de sólidos solubles y el porcentaje de acidez titulable del fruto.
5. La fertilización convencional favorece la concentración de licopeno y la fertilización orgánica, la concentración de polifenoles y vitamina C en el fruto.

LITERATURA CITADA

- 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.
- Ambrózy, Z.S., Daood, H., Nagy, Z.S., Darázsi-Ledó, H., Helyes, L. 2016. Effect of net shading technology and harvest times on yield and fruit quality of sweet pepper. *App.Ecol. Environ. Res.* 14:99-109.
- Amiot, M.J., Tourniaire, F., Margotat, A. 2007. Flavonoids in food and wine. *Acta Hortícola (Canada)*. 744:107-116.
- 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.
- Al-Helal, I.M., Abdel-Ghany, A.M. 2010. Responses of plastic shading nets to global and diffuse PAR Transfer: Optical properties and evolution. *Journal of Life Science*. 57:125-132.
- Allende, 2017. Manual del cultivo de tomate al aire libre. Boletín INIA N°11. Capítulo 1. Importancia y consideraciones del cultivo de tomate.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2010. Official Methods of AOAC. 18°ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J.A., Robledo, C.W. 2008. InfoStat: software estadístico: manual del usuario. Versión 2008. Brujas. Córdoba, Argentina.
- Barrett, D.M., Weakley, J.V., Watnik, M. 2007. Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production systems. *Food Chemistry and Toxicology*. 72:C441-C451.

- Boardman, N.K. 1997. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28:355-377.
- Boli, N., Mingzhu, L., Shaoyu, L., Lihua, X., Yanfang, W. 2011. Environmentally friendly slow-release nitrogen fertilizer. *J. Agric. Food Chem.* 59, 10169-10175.
- Bouma, J., Varallyay, G., Batjes, N.H. 1998. Principal land use changes anticipated in Europe. *Agric Ecosyst Environ* 67:103-119.
- Bragazza, L., Freeman, C. 2007. High nitrogen availability reduces polyphenol content in *Sphagnum peat*. *Science of the total environment.* 377(2-3):439-443.
- Brandt, K., Molgaard, P. 2001. Organic agriculture: does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods? *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 81:924-931.
- Brandt, S., Pek, Z., Barna, E., Lugasi, A., Helyes, L. 2006. Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *J. Sci. Food Agric.* 86:568-572.
- Bustos, F., González, M., Donoso, P., Gerding, V., Donoso, C., Escobar, B. 2008. Efecto de distintas dosis de fertilización de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas de coigüe, raulí y ulmo. *Revista Bosque.* 29(2):155-161.
- Cai, Z., Wang, B., Xu, M., Zhang, M., He, X., Zhang, L., Gao, S. 2015. Intensified soil acidification from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China. *J Soils Sediments.* 15(2):260-270-<https://doi.org/10.1007/s11368-014-0989-y>.
- 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 nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research.* 91: 35-49.

- Castellano, S., Scarascia-Mugnozza, G., Russo, G., Briassoulis, D., Mistrionis, A., Hemming, S., Waaijenberg, D. 2008. Plastic nets in agriculture: a general review of types and applications. *App. Eng. Agric.* 24:799-808.
- Chapin, F.S., Bloom, A.J., Field, C.B., Waring, R.H. 1987. Plant responses to multiple environmental factors. *BioSciences.* 37: 49-57.
- Chun, O.K., Kim, D.O., Smith, N., Schroeder, D., Han, J.T., Lee, C.Y. 2005. Daily consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 85:1715-1724
- Ciancaglini, P., Santos, H.L., Daghasanli, K.R.P., Thedei, G. 2001. Using a classical method of vitamin C quantification as a tool for discussion of its role in the body. *Biochem. Mol. Biol. Educ.* 29:110-114.
- Corelli-Grappadelli, L. 2003. Light relations. In: Ferree, D.C; Warrington, I.J. (Eds.). *Apples: botany, production and uses.* CAB International, p. 195-216.
- Del Pozo, A., y Del Canto, P. 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos de la VII y VIII regiones. INIA, CRI Quilamapu, Chillán, Chile. 115p.
- Díaz-Pérez, J.C. 2013. Bell pepper (*Capsicum annum* L.) crop as affected by shade level: Microenvironment, plant growth, leaf gas exchange and leaf mineral nutrient concentration. *HortScience.* 48:175-182.
- Dixon, R.A., and Paiva, N.L. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell.* 7:1085-1097.
- Doble, M., Kumar, A. 2005. Degradation of polymers. In *Biotreatment of Industrial Effluents*, 101-110. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Dueck, T., Van Ieperen, W., Taulavuori, K. 2016. Light perception, signalling and plant responses to spectral quality and photoperiod in natural and horticultural environments. *Env. Exp. Bot.* 121:1-3.

- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., and Grolier, P. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 83:369-382.
- El-Gizawy, A.M., Abdallah, M.M.F., Gomaa, H.M., Mohamed, S.S. 1992. Effect of different shading levels on tomato plants. Yield and fruit quality. *Acta Hortic.* 323:349-354.
- FAO, 2016. Producción, cultivos [En línea]. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. [Consulta: 10 de Abril, 2018].
- Flaishman, M.A., Peles, Y., Dahan, Y., Milo-Cochavi, S., Frieman, A., Naor, A. 2015. Differential response of cell-cycle and cell-expansion regulators to heat stress in apple (*Malus domestica*) fruitlets. *Plant Sci.* 233:82-89.
- Flaño, 2013. Situación del tomate para consumo fresco. <https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/11729.pdf>.
- Foolad, M. 2007. Current status of breeding tomatoes for salts and drought tolerance. *Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops*. Jenks, M., P. Hasegawa and M. Jain (Eds). Springer. Rotterdam, Holanda. pp 669-700.
- Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. 2006. Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signaling networks. *Current Opinion in Plant Biology.* 9:436-442.
- Gale, E.S., Sullivan, D.M., Hemphill, D., Cogger, C.G., Bary, A.I., Myhre, E.A. 2006. Estimating plant-available nitrogen release from manures, composts, and specialty products. *Journal of Environmental Quality.* 35:2321-2332.
- García-Valverde, V., Navarro-González, I., García-Alonso, J., Periago, M.J. 2013. Antioxidant bioactive compounds in selected industrial processing and fresh consumption tomato cultivars. *Food and Bioprocess Technology.* 6:391-402.

- 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.
- Gauthier, H., Rocci, A., Buret, M., Grasselly, D., Causse, M. 2005. Fruit load or fruit position alters response to temperature and subsequently cherry tomato quality. *J. Sci. Food Agric*. 85:1009-1016.
- Gechev, T.S., Van Breusegem, F., Stone, J.M., Denev, I., Laloi, C. 2006. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. *BioEssay*. 28(11):1091-1101.
- George, B., Kaur, C., Khurdiya, D., Kapoor, H. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry*. 84:45-51.
- 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.
- Gill, S.S., and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol. Biochem*. 48:909-93.
- Grassmann, J., Hippeli, S., Elstner, E.F. 2002. Plant's defence and its benefits for animals and medicine: role of phenolics and terpenoids in avoiding oxygen stress. *Plant Physiol. Biochem*. 40:471-478.
- Gravel, V., Blok, W., Hallmann, E., Carmona-Torres, C., Wang, H. Y., Van de Peppel, A., Golec, M., Dorais, A. F. C., Van Meeterens, U., Heuvelink, E., Rembialkowska, E., and van Bruggen, A.H.C. 2010. Differences in N uptake and fruit quality between organically and conventionally grown greenhouse tomatoes. *Agron. Sustain. Dev*. 30:797-806.

- Hallmann, E. 2012. The influence of organic and conventional cultivation systems on the nutritional value and content of bioactive compounds in selected tomato types. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92(14):2840-2848.
- Haukioja, E., Ossipov, V., Koricheva, J., Honkanen, T., Larsson, S., Lempa, K. 1998. Biosynthetic origin of carbon-based secondary compounds: cause of variable responses of woody plants to fertilization? *Chemoecology*. 8:133-139.
- Hazewindus, M., Haenen, G.R., Weseler, A.R., Bast, A. 2014. Protection against chemotaxis in the anti-inflammatory effect of bioactives from tomato ketchup. *Plos One*. 9(12):e114387.
- Heeb, A., Lundegårdh, B., Ericsson, T., Savage, G.P. 2005. Nitrogen form affects yield and taste of tomatoes. *J. Sci. Food Agric*. 85:1405-1414.
- Hernández-Suárez, M., Rodríguez-Rodríguez, E.M., Díaz-Romero, C. 2008. Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chemistry*. 106:1046-56.
- Ilić, Z.S., Milenković, L., Stanojević, L., Cvetković, D., Fallik, E. 2012. Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits. *Sci. Hortic*. 139:90-95.
- Ilić, S.Z., Milenković, L., Šunić, L., Fallik, E. 2015. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *J. Sci. Food Agric*. 95:2660-2667.
- Ilić, S.Z., Fallik, E. 2017. Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. *Environ. Exp. Bot*. 139:79-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006>.
- INE, 2013. Encuestas de presupuestos familiares (EPF), principales resultados. Santiago, Chile. <http://www.ine.cl/estadisticas/ingresos-y-gastos/epf>.

- INE, 2017. Estadísticas agropecuarias. [En línea]. Santiago, Chile. <http://www.ine.cl/estadisticas/economicas/estad%C3%ADsticas-agropecuarias> [Consulta: 10 de Abril, 2018].
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2000. Cálculos básicos para fertirrigar. Boletín N°26.
- Jithesh, M.N., Prashanth, S.R., Sivaprakash, K.R., Parida, A.K. 2006. Antioxidative response mechanisms in halophytes: their role in stress defence. *J. Genet.* 85(3):237-254.
- Jones, C.G., Hartley, S.E. 1999. A protein competition model of phenolic allocation. *Oikos.* 86:27-44.
- Kapoulas, N., Ilić, S.Z., Trajkovic, R., Milenkovic, L., Đurovka, M. 2011. Effect of organic and conventional growing systems on nutritional value and antioxidant activity of tomatoes. *African Journal of Biotechnology.* 10(71):15 938-45.
- Kasahara, M., Kagawa, T., Oikawa, K., Suetsugu, N., Miyao, M., Wada, M. 2002. Chloroplast avoidance movement reduces photo damage in plants. *Nature.* 420:829-832. doi:10.1038/nature01213.
- Keeling-Bond, J., Thimany, D., Bond, C. 2006. Direct marketing of fresh produce: understanding consumer purchasing decisions. *Choices* 21:229-235.
- Kittas, C., Rigakis, N., Katsoulas, N., Bartzanas, T. 2009. Influence of shading screens on microclimate, growth and productivity of tomato. *Acta Hort.* 807:97-102.
- Lacatus, V., Botez, C., Chelu, M., Popescu, N., and Voican, V. 1995. Chemical composition of tomato and sweet pepper fruits cultivated on active substrates. *Acta Hort.* 412:168-175.
- Larcher, W. 2003. *Physiological plant ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups.* 4th ed. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

- 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.
- Li, T., Heuvelink, E., Dueck, T.A., Janse, J., Gort, G., Marcelis, L.F.M. 2014. Enhancement of crop photosynthesis by diffuse light: quantifying the contributing factors. *Ann. Bot.* 114:145-156. doi:10.1093/aob/mcu071.
- Li, T., Yang, Q. 2015. Advantages of diffuse light for horticultural production and perspectives for further research. *Front. Plant Sci.* 6:704. Doi: 10.3389/fpls.2015.00704.
- Long, S.P., Humphries, S. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annu. Rev. Plant Biol.* 45:633-662. doi:10.1146/annurev.pp.45.060194.003221.
- Lumpkin, H. 2005. A comparison of lycopene and other phytochemicals in tomatoes grown under conventional and organic management systems. *Tech Bull N° 34, AVRDC (The World Vegetable Centre)*, pp. 1-48.
- 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.
- Mann, J. 1987. *Secondary Metabolism*. 2nd ed. Oxford University Press, Oxford, UK, 1987; chapter 7.
- Martí, R., Roselló, S., Cebolla-Cornejo, J. 2016. Tomato as a source of carotenoids and polyphenols targeted to cancer prevention. *Cancers*. 8:58-
- Martí, R., Leiva-Brondo, M., Lahoz, I., Campillo, C., Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S. 2018. Polyphenol and L-ascorbic acid content in tomato as influenced by high lycopene genotypes and organic farming at different environments. *Food. Chem.* 239:148-156.

- Martínez-Valverde, I., Periago, M.J., Provan, G., Chesson, A. 2002. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of Science Food Agriculture*. 82:323-330.
- Mitchell, A.E., Hong, Y.J., Koh, E., Barrett, D.M., Bryant, D.E., Denison, R.F., Kaffka, S. 2007. Ten-year comparison of the influence of organic and conventional crop management practices on the content of flavonoids in tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55:6154-6159.
- Muñoz-Vega, P., Paillán, H., Serri, H., Donnay, D., Sanhueza, C., Merino, E. 2016. Effects of organic fertilizers on the vegetative, nutritional, and productive parameters of blueberries 'Corona', 'Legacy', and 'Liberty'. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 76(2):201-212.
- Oliveira, A.B., Moura, C.F.H., Gomes-Filho, E., Marco, C.A., Urban, L., Miranda, M. R.A. 2013. The impact of organic farming on quality of tomatoes is associated to increased oxidative stress during fruit development. *Plos One*. 8(2), e56354.
- Oren-Sharim, M., Gussakovsky, E., Shpiegel, E., Nissin-Levi, A., Ratner, K., Ovadia, R., Giller, Y., Shahak, Y. 2001. Colored shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 76:353-361.
- 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.
- Perveen, R., Suleria, H.A.R., Anjum, F.M., Butt, M.S., Pasha, I., Ahmad, S. 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; metabolism, absorption, nutrition, and allied health claims - a comprehensive review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 55(7):919-929.
- Prasad, B.V.G., Chakravorty, S. 2015. Effects of climate change on vegetable cultivation - a review. *Nat. Environ. Poll. Technol*. 14:923-929.

- Raiola, A., Rigano, M.M., Calafiore, R., Frusciante, L., and Barone, A. 2014. Enhancing the health-promoting effects of tomato fruit for biofortified food. *Mediators of Inflammation*. 1-16
- Retamal-Salgado, J., Vásquez, R., Fischer, S., Hirzel, J., Zapata, N. 2017. Decrease in artificial radiation with netting reduces stress and improves rabbit-eye blueberry (*Vaccinium virgatum* Aiton) Ochlockonee productivity. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 77:226-233. Doi:10.4067/S0718-58392017000300226.
- Riahi, A., Hdider, C., Tarchoun, N., Sanaa, M., Ben-Kheder, M., Guezal, I. 2009. Effect of conventional and organic production systems on the yield and quality of field tomato cultivars grown in Tunisia. *J. Sci. Food Agric*. 89:2275-2282.
- Riipi, M., Ossipov, V., Lempa, K., Haukioja, J., Ossipova, S., Pihlaja, K. 2002. Seasonal changes in birch leaf chemistry: are there trade-offs between leaf growth and accumulation of phenolics? *Oecologia*. 130:380-390.
- Rodríguez, J. 1993. La fertilización de los cultivos, un método racional. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 291p.
- Rodriguez-Amaya, D.B. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. ILSI Press Washington DC, EE.UU.
- Ronga, D., Lovelli, S., Zaccardelli, M., Perrone, D., Ulrici, A., Francia, E., Milc, J., Pecchioni, N. 2015. Physiological responses of processing tomato in organic and conventional Mediterranean cropping systems. *Sci Hortic*. 190:161-172.
- Roselló, S., Adalid, A.M., Cebolla-Cornejo, J., and Nuez, F. 2011. Evaluation of the genotype, environment and their interaction on carotenoid and ascorbic acid accumulation in tomato germplasm. *J. Sci. Food Agric*. 91:1014-1021.
- Rossi, F., Godani, F., Bertuzzi, T., Ferrari, F., Gatti, S. 2008. Health-promoting substances and heavy metal content in tomatoes grown with different farming techniques. *Eur. J. Nutr*. 47:266-272.

- Saavedra, G., Ciudad, C. 2002. Interacción tomate-licopeno en la nutrición humana. *Tierra Adentro* (Chile). (47):38-40.
- Sánchez-Hernández, D.J., Fortis-Hernández, M., Esparza-Rivera, J.R., Rodríguez-Ortiz, J.C., De la Cruz-Lázaro, E., Sánchez-Chávez, E., y Preciado-Rangel, P. 2016. Empleo de vermicompos en la producción de frutos de melón y su calidad nutracéutica. *Interciencia*. 41:213-217.
- Schwambach, J., Fadanelli, C., Fett-Neto, A.G. 2005. Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*. 25(4):487-494.
- Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Cohen, Y., Lurie, S., Stern, R., Kfir, S., Naor, A., Atzmon, I., Doron, I., Greenblat-Avron, Y. 2004. Colour nets a new approach for light manipulation in fruit trees. *Acta Horticulturae*. 636:609-616.
- Shcherbak, I., Millar, N., Robertson, G.P. 2014. Global meta-analysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N₂O) emissions to fertilizer nitrogen. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111:9199-9204. doi:10.1073/pnas.1322434111.
- Stepien, P., Klobus, G. 2005. Antioxidant defense in the leaves of C3 and C4 plants under salinity stress. *Physiol. Plantarum*. 125: 31-40.
- Smith, L.E.D., Siciliano, G. 2015. A comprehensive review of constraints to improved management of fertilizers in China and mitigation of diffuse water pollution from agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 209:15-25. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)82008-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)82008-4).
- Steyn, W.J., Wand, S.J., Holcroft, D.M., Jacobs, G. 2002. Anthocyanin in vegetative tissues: A proposed unified function in photoprotection. *New Phytologist*. 155:349-361.
- Stolpe, N. 2006. Descripciones de los principales suelos de la VIII Región de Chile. Publicaciones del Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

- Suzuki, K., Shono, M., Egawa, Y. 2003. Localization of calcium in the pericarp cells of tomato fruits during the development of blossom-end rot. *Protoplasma*. 222: 149-156. Doi: 10.1007/s00709-003-0018-2. PMID: 14714203.
- Tadesse, T., Nichols, M.A., Hewett, E.W., Fisher, K.J. 2001. Relative humidity around the fruit influences the mineral composition and incidence of blossom-end rot in sweet pepper. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76(1):9-16. doi:10.1080/14620316.2001.11511319.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*. 5th Edition. Sinauer Associates Inc., Sunderland. 782 p.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 418:671-677.
- Tinyane, P.P., Sivakumar, D., Soundy, P. 2013. Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Sci. Hortic.* 161:340-349.
- Toor, R.K., Savage, G.P., 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.
- 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.
- Ubi, B.E. 2004. External stimulation of anthocyanin biosynthesis in apple fruit. *Journal: Food, Agriculture & Environment*. 2(2):65-70.
- Umanzor, C., Bastías, R.M., Wilckens, R., and Quezada, C. 2017. Influence of using of pearl and red nets on micro-climate conditions, fruit sun damage and fruit color development in 'Gala' and 'Fuji' apple orchards. *Revista Brasileira de Fruticultura* 39:930.

- Ünlü, H., Ünlü, H.O., Karakurt, Y., Padem, H. 2011. Influence of organic and conventional production systems on the quality of tomatoes during storage. *African Journal of Agricultural Research*. 6 (3):538-544.
- Urban, O., Janous, D., Acosta, M., Czerny, R., Markova, I., Navratil, M. 2007. Ecophysiological controls over the net ecosystem exchange of mountain spruce stand. Comparison of the response in direct vs. diffuse solar radiation. *Global Change Biology*. 13:157-168.
- Urban, O., Klem, K., Ac, A., Havránková, K., Holišová, P., Navrátil, M. 2012. Impact of clear and cloudy sky conditions on the vertical distribution of photosynthetic CO₂ uptake within a spruce canopy. *Funct. Ecol.* 16: 46-55. Doi: 10.1111/j.1365-2435.2011.01934.x.
- USDA, 1991. U.S. Standards for Grades of Fresh Tomatoes. USDA, Agr. Mktg. Serv., Washington, DC. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/138tomato.pdf>.
- Vidal, I. 2007. *Fertirrigación, cultivos y frutales*. Universidad de Concepción, Chile. 1era. Edición. 117 p.
- Vinha, A., Alves, R., Barreira, S., Castro, A., Costa, A., Oliveira, B. 2014. Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. *LWT-Food Sci. Technol.* 55:197-202.
- Winter, C.K., Davis, S.F. 2006. Organic foods. *Journal of Food Science*. 71:117-124.
- Yinghua, D., Minggang, X., Suduan, G., Hua, L., Shaomin, H., and Boren, W. 2016. Long-term incorporation of manure with chemical fertilizers reduced total nitrogen loss in rain-fed cropping systems. *Sci. Rep.* 6:33611.
- Youssef, M.A., and Eissa, M.A. 2017. Comparison between organic and inorganic nutrition for tomato. *J. Plant Nutr.* 40:1900-1907. doi:10.1080/01904167.2016.1270309.

Yu, X., Liu, X., Zhu, T.H., Liu, G.H., and Mao, C. 2012. Co-inoculation with phosphate-solubilizing and nitrogen fixing bacteria on solubilization of rock phosphate and their effect on growth promotion and nutrient uptake by walnut. *Eur J Soil Biol.* 50:112-117.

