

INFLUENCIA DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE TOMATE UVA EN UN SISTEMA DE CULTIVO HIDROPÓNICO

Oscar Guajardo-Ríos¹; Carlos J. Lozano-Cavazos^{1*}; Luis A. Valdez-Aguilar²; Adalberto Benavides-Mendoza²; Luis Ibarra-Jiménez³.

¹Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25315.

²Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25315.

³Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México.

* Autor por correspondencia: E-mail: carloslozanocavazos@yahoo.com.mx

RESUMEN

Actualmente la agricultura orgánica en México cubre aproximadamente 400,000 hectáreas; la tasa media de crecimiento de esta actividad es del 20% anual en promedio en los últimos 10 años. Entre el 85 y 90% de la producción orgánica nacional es de exportación. Muchos productores en México han adoptado este sistema de producción debido a la restricción en el uso de pesticidas, a la demanda de alimentos de alta calidad, a la creciente preocupación por la degradación del suelo, a las presiones del público sobre los aspectos ambientales, y al incremento de las ganancias. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de diversos fertilizantes orgánicos certificados, sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en tomate uva en condiciones de invernadero en un sistema de riego por goteo. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, tamaño y firmeza de fruto, número y peso de frutos por racimo, contenido de clorofila, sólidos solubles totales, rendimiento por planta. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: (Orgánicos) T1: FON MIX - VIGILANTE - FON SUPER K - FIJAFLO 8% - ÁCIDO CÍTRICO - MULTIGREEN L; T2: PHYTAFISH - FON MIX - VIGILANTE - FON SUPER K - FIJAFLO 8% - ÁCIDO CÍTRICO - MULTIGREEN L; T3: FON HCP - FON MIX - FON SUPER K - FIJAFLO 8% - ÁCIDO CÍTRICO - MULTIGREEN L; (Inorgánico-Control) T4: KNO₃ - Ca(NO₃)₂ - Mg(NO₃)₂ - K₂SO₄ - HNO₃ - H₃PO₄ - Ultrasol® micro al 100% (0-30 DDT), 125% (31-80 DDT), y 150% (80 DDT en adelante). Se observaron diferencias estadísticas significativas (P≤0.01) en el rendimiento promedio siendo el T2 superior al T4. En términos generales, los tratamientos orgánicos mostraron mayor superioridad con respecto al T4. Estos resultados ponen de relevancia, el potencial de los fertilizantes orgánicos en la producción de tomate tipo uva en condiciones de invernadero.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., nitrógeno, rendimiento, OMRI.

INTRODUCCIÓN

México es uno de los 20 productores de alimentos orgánicos en todo el mundo, con 1.3 millones de hectáreas de tierras dedicadas a la agricultura orgánica. A pesar de que la producción orgánica representa menos del 1% de toda la producción agrícola en la superficie plantada en México, genera alrededor del 10% del producto interno bruto en el sector agrícola, con unos ingresos de aproximadamente 300 millones de dólares al año. De acuerdo con el Programa de Apoyo y Servicios para la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), un organismo que depende de la Secretaría de Agricultura de México (SAGARPA), la demanda mundial de productos orgánicos está creciendo a un 20-30% anual. El sistema de agricultura orgánica ha sido reconocido como un sistema más sustentable que el convencional. La agricultura orgánica en el mundo ha venido aumentando en años recientes y ya en 2011 había 1.8 millones de productores orgánicos a nivel global. La Agricultura orgánica es regida por normas estrictas que prohíben la mayoría de los fertilizantes comunes, en este

sentido, prohíbe el uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana; favoreciendo así la reducción de la contaminación del agua, mayor actividad biológica y mejorar la fertilidad del suelo (Cardona, 2013). La producción orgánica de alimentos es una alternativa para los consumidores que prefieren alimentos libres de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, inocuos y con un alto valor nutricional. En México, el tomate orgánico alcanza un precio de 5.84 veces mayor que el convencional, producirlo en invernadero, aumentaría los rendimientos y por ende el beneficio económico para el productor (Márquez *et al.*, 2008). Se ha logrado desarrollar un sector de los consumidores conocido como “consumidor ecológico”, dispuesto a pagar un precio extra por adquirir alimentos obtenidos bajo un sistema de producción orgánico certificado (Alvajana *et al.*, 2004; Gewin, 2004; Heeb *et al.*, 2005; Graham, 2007; De la Cruz-Lazaro *et al.*, 2010). Con el propósito de generar alternativas agroecológicas en la producción de tomate uva con alto valor comercial nacional y de exportación, y en virtud de que el nitrógeno se considera como el factor más limitante en la agricultura orgánica, el objetivo principal de este estudio fue determinar el efecto de diferentes fuentes certificadas de fertilización orgánica nitrogenadas sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en el cultivo de tomate de especialidad. Asimismo, contribuir a la sustentabilidad y competitividad de la producción orgánica de este tipo de hortaliza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció un experimento con plantas de tomate de especialidad tipo uva bajo condiciones de invernadero equipado con control automático de temperatura, el cual se encuentra ubicado en las instalaciones del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México (25°21' latitud norte, 101° 02' longitud oeste con una altitud de 1742 msnm). Se registró un promedio diario en cuanto a radiación fotosintéticamente activa (PAR) de 87.93 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Asimismo, se registró una temperatura y H.R. promedio diario de 18.13°C y 78.17%, respectivamente durante el ciclo experimental. Como material genético se utilizaron semillas de tomate híbrido indeterminado cv. Lucipulus de la casa comercial Hazera Genetics Ltd., las cuales fueron sembradas en charolas de 200 cavidades el 02 de agosto de 2014. El trasplante se llevó a cabo en bolsas de polietileno negro de 15 litros utilizando como sustrato peat moss y perlita a una proporción v/v (4:1) en un sistema de cultivo sin suelo el día 05 de septiembre 2014. Se utilizó un sistema de riego por goteo dirigido con tubín, (4 goteros – estacas) por contenedor. La frecuencia de fertilización dependió de la etapa fenológica del cultivo, iniciando con uno a dos fertirriegos por semana a partir del trasplante, y de cuatro a cinco durante la máxima demanda del cultivo (floración y fructificación). Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, teniendo un total de seis plantas por repetición. Se utilizaron insumos orgánicos nitrogenados comerciales de la compañía US Mex Nutrition Technologies, S.A. de C.V. NUTRITEC, los cuales están formulados a base de sustancias naturales (origen marino y animal), y han sido evaluados por el Instituto Revisor de Materiales Orgánicos (OMRI por sus siglas en inglés). Los tratamientos consistieron de cuatro soluciones nutritivas: (Orgánicos) T1: FON MIX (8-5-1) – VIGILANTE (4-0-0) - FON SUPER K (0-0-50), con 50% de K₂O (potasio soluble) y 17% de S (azufre) - FIJAFLO 8% - ÁCIDO CÍTRICO - MULTIGREEN L; T2: PHYTAFISH (4-1-1) - FON MIX – VIGILANTE - FON SUPER K - FIJAFLO 8% - ÁCIDO CÍTRICO – MULTIGREEN L; T3: FON HCP (11-1-0)– FON MIX – FON SUPER K – FIJAFLO 8% - ÁCIDO CÍTRICO – MULTIGREEN L; (Inorgánico-Control) T4: KNO₃ - Ca(NO₃)₂ - Mg (NO₃) - K₂SO₄ - HNO₃ - H₃PO₄ – Ultrasol® micro al 100% (0-30 DDT), 125% (31-80 DDT), y 150% (80 DDT en adelante). Cabe señalar que los tratamientos orgánicos se equipararon en cuanto a concentración en partes por millón (ppm), tomando como base la solución inorgánica (Steiner) utilizada como control [N-NO⁻³ (168), P (31), K (223.3), S-SO₄ (112), Ca (180.45), Mg (24). La conducción del cultivo fue a dos tallos y la densidad de plantación empleada en el experimento fue de 2.5 plantas m², quedando el experimento conformado por tres hileras con 24 plantas cada una, a una distancia de 0.40 m entre plantas y 1.10 m entre hileras. Durante el experimento se llevaron a

cabo labores de poda, tutorado, control de plagas y enfermedades. En este último, se utilizaron diversos productos certificados de origen biológico y orgánico de las empresas Stockton Group y GreenCorp Biorganiks de México, S.A. de C.V., llevando a cabo aplicaciones periódicas de manera preventiva a lo largo del ciclo experimental utilizando una bomba aspersora de 20 L. Se utilizó el HOBO® U12 Logger de la compañía Onset Computer Corporation, para monitorear y registrar las variables de temperatura (°C), humedad relativa (%) e intensidad de luz (lux) a lo largo del ciclo experimental, con un intervalo de 2 horas entre registros. Al coleccionar los datos microclimáticos al final del ciclo experimental se procedió a convertir las unidades lux a $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (PAR). A partir de los 40 ddt se iniciaron las primeras lecturas correspondientes a las variables fenológicas y fisiológicas en 6 plantas representativas por tratamiento: altura de la planta y diámetro de tallo. A partir de dicha fecha se llevó a cabo la toma de datos cada dos semanas en ambas variables de respuesta. Para medir la altura de planta se utilizó un flexómetro, midiendo desde la base al punto de crecimiento, y el diámetro de tallo se midió a la altura del primer foliolo en cada tallo utilizando un vernier digital marca Mitutoyo®. En lo que respecta a la determinación del contenido de clorofila como variable fisiológica, se tomaron mediciones semanales en hojas maduras para lo cual se utilizó un medidor portátil SPAD-502 marca Konica Minolta Inc. La cosecha de frutos se realizó cuando estos presentaron una epidermis de color rojo (más del 90% de dicha superficie) en todo el racimo. En lo que respecta al tamaño, firmeza y sólidos solubles totales de fruto, se tomaron cinco muestras de manera aleatoria en cada uno de los primeros cuatro racimos evaluados por planta en cada tratamiento evaluado, de los cuales a su vez se pesaron para determinar el peso de fruto. Para evaluar el tamaño del mismo se utilizó un vernier digital marca Mitutoyo® midiendo el diámetro polar y ecuatorial de cada muestra. La firmeza de fruto se midió con un penetrómetro digital marca Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd (Modelo FR-5120) con un puntal de 6 mm de diámetro, y los sólidos solubles con un refractómetro digital marca ATAGO® (PAL-1). Para determinar el rendimiento por planta se contabilizó el número total de frutos producidos en los cuatro racimos en ambos tallos. Los datos que se obtuvieron en esta investigación se sometieron a un análisis estadístico mediante análisis de varianza y prueba de medias a través del procedimiento DMS ($p \leq 0.05$) con la ayuda del programa SAS (Statistical Analysis Systems). Se llevó a cabo una correlación de Pearson entre las diferentes variables evaluadas con los datos microclimáticos [temperatura, H.R. y radiación fotosintéticamente activa (PAR)], registrados a lo largo del ciclo experimental seleccionando sólo aquellos factores que se asociaron con la mayor proporción posible de la variabilidad original (componentes principales). Con base a lo anterior, se llevó a cabo un análisis de componentes principales obteniendo de esta forma una representación Biplot (**Figura 1**). Para dicho procedimiento se utilizó el programa R versión 3.2.2 (**R Core Team, 2015**).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias estadísticas en altura de planta principalmente en los dos primeros muestreos (**Cuadro 1**). En este contexto, el T1 registró el valor promedio más alto en esta variable al final del ciclo experimental con 4.0 m de altura tomando en cuenta los cinco muestreos realizados, seguido por los tratamientos 2, 3, y 4 con 3.89, 3.84 y 3.65 m, respectivamente. En cuanto al diámetro de tallo se observaron diferencias estadísticas en ambos tallos (**Cuadro 1**), siendo el T4 (control) el que tuvo los valores máximos en ambos tallos. En términos generales, se observa que los valores de ésta variable son mayores del T1 al T4.

Cuadro 1. Efecto de la fertilización orgánica vs inorgánica en la altura de planta y diámetro de tallo en tomate uva en condiciones de invernadero.

Tratamiento	Variable	Muestreo				
		1	2	3	4	5
T1	Altura (cm)	33.84 a*	56.08 a	80.20 a	101.76 a	128.46 a

T2		32.08 ab	55.98 a	78.88 a	100.50 a	121.40 a
T3		31.26 ab	55.80 a	77.58 a	99.60 a	120.20 a
T4		30.76 b	52.60 b	72.60 a	92.84 a	116.26 a
	DMS (0.5)	3.06	3.19	9.49	16.85	17.71
T1	Diámetro Tallo 1 (cm)	0.600 b	0.640 a	0.654 a	0.672 a	0.680 a
T2		0.642 ab	0.668 a	0.668 a	0.668 a	0.678 a
T3		0.660 ab	0.682 a	0.682 a	0.688 a	0.692 a
T4		0.710 a	0.722 a	0.736 a	0.76 a	0.778 a
	DMS (0.05)	0.103	0.100	0.104	0.107	0.103
T1	Diámetro Tallo 2 (cm)	0.616 b	0.652 b	0.668 b	0.688 b	0.700 b
T2		0.662 ab	0.686 ab	0.686 ab	0.690 b	0.698 b
T3		0.6656 ab	0.678 ab	0.686 ab	0.690 b	0.700 b
T4		0.716 a	0.732 a	0.754 a	0.782 a	0.804 a
	DMS (0.05)	0.075	0.075	0.080	0.087	0.088

(Orgánicos) T1: FON MIX - VIGILANTE - FON SUPER K - FIJAFLORES 8% - ÁCIDO CÍTRICO - MULTIGREEN L; T2: PHYTAFISH - FON MIX - VIGILANTE - FON SUPER K - FIJAFLORES 8% - ÁCIDO CÍTRICO - MULTIGREEN L; T3: FON HCP - FON MIX - FON SUPER K - FIJAFLORES 8% - ÁCIDO CÍTRICO - MULTIGREEN L; (Inorgánico-Control) T4: Solución Steiner.

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (DMS $p \leq 0.05$).

No se encontraron diferencias estadísticas en tamaño, firmeza y contenido de sólidos solubles en fruto (**Cuadro 2**). Sin embargo, en éste último, tanto el T1 como el T2 (tratamientos orgánicos) superaron al inorgánico, estos resultados coinciden con los encontrados por **Rickman y Barret (2008)**. En el tratamiento 2 (orgánico) se obtuvo mayor número de frutos comparado al tratamiento 4 (inorgánico), resultando también mayor rendimiento promedio por planta evaluada, como lo reportan **Rippy et al. (2004)** en dos fertilizantes orgánicos, los cuales superaron al convencional en los racimos dos, tres y cuatro. Asimismo, **Márquez et al. (2013)** al evaluar el efecto de varios tratamientos de fertilización para producción orgánica de tomate en invernadero, encontraron que una mezcla de composta y macro elementos orgánicos presentó un rendimiento 37% superior al testigo (composta y macro elementos inorgánicos) y la misma tendencia se observó en altura de planta y calidad de fruto. Sin embargo, **Preciado et al. (2011)**, reportan mayores contenidos relativos de clorofila y rendimiento de fruto, y menores valores en sólidos solubles en el tratamiento inorgánico respecto a los tratamientos orgánicos evaluados. Lo anterior, pudo ser debido al tipo de fuente de fertilización utilizada en dicha investigación (vermicomposta) con respecto a las fuentes orgánicas nitrogenadas utilizadas en el presente trabajo (origen animal y marino), tomando como base la tasa de liberación de estas mismas.

Cuadro 2. Efecto de la fertilización orgánica vs inorgánica en el tamaño de fruto, firmeza y sólidos solubles (° Brix) en tomate uva en condiciones de invernadero.

Tratamiento	Tamaño de fruto (Diámetro polar/ecuatorial)	Firmeza (g)	Sólidos solubles (° Brix)
T1	1.14133 a*	364.17 a	12.7167 a
T2	1.11933 a	386.67 a	12.2667 a
T3	1.14250 a	373.33 a	12.2250 a

T4

1.13700 a
 NS

378.33 a
 NS

12.2250 a
 NS

(Orgánicos) T1: FON MIX - VIGILANTE - FON SUPER K - FIJAFLORES 8% - ÁCIDO CÍTRICO - MULTIGREEN L; T2: PHYTAFISH - FON MIX - VIGILANTE - FON SUPER K - FIJAFLORES 8% - ÁCIDO CÍTRICO - MULTIGREEN L; T3: FON HCP - FON MIX - FON SUPER K - FIJAFLORES 8% - ÁCIDO CÍTRICO - MULTIGREEN L; (Inorgánico-Control) T4: Solución Steiner.

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (DMS $p \leq 0.05$).

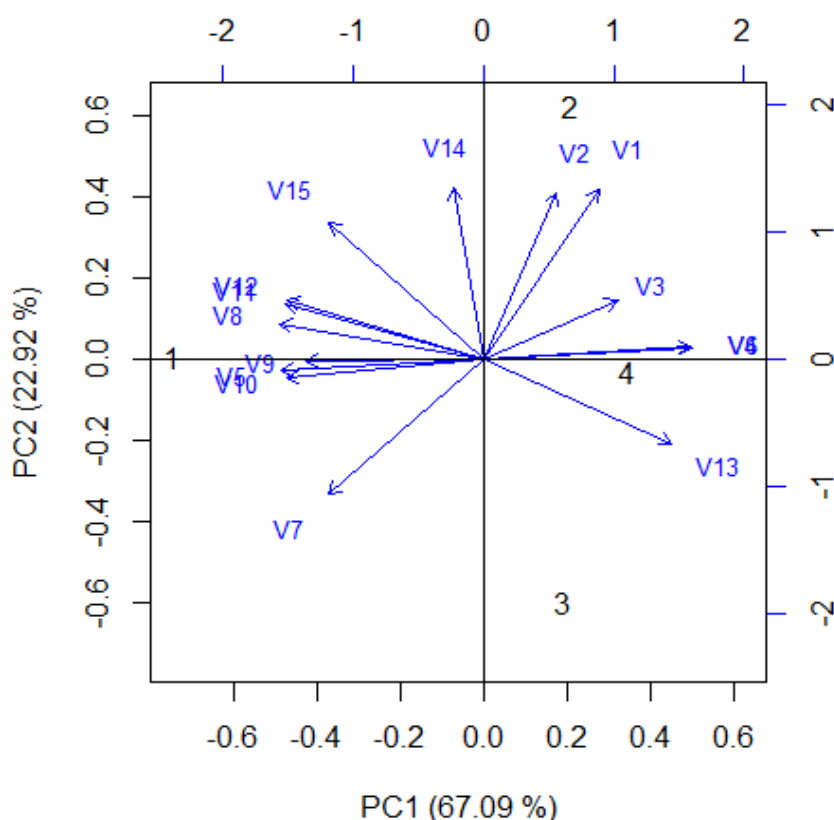


Figura 1. Representación Biplot resultante del análisis de componentes principales. Variables evaluadas: V1 = Rendimiento por planta, V2 = Altura, V3 = Diámetro de tallo, V4 = Firmeza, V5 = Sólidos solubles totales, V6 = Clorofila (SPAD); variables microclimáticas: V7 = Radiación PAR máxima, V8 = Radiación PAR promedio, V9 = Radiación PAR mínima, V10 = Temperatura máxima, V11 = Temperatura promedio, V12 = Temperatura mínima, V13 = Humedad relativa máxima, V14 = Humedad relativa promedio, V15 = Humedad relativa mínima; y los tratamientos evaluados = 1, 2, 3, 4.

De acuerdo a la **Figura 1** se presenta el resultado de la correlación Pearson, mostrando que las variables V1, V2, en el cuadrante superior derecho se asociaron con el tratamiento 2, y presentaron a su vez una relación inversa con la V7 (radiación PAR máxima). Lo mismo se presentó con V3, V4 y V6 respecto a la radiación PAR mínima (V9) y temperatura máxima (V10). La temperatura tiene una influencia directa en el metabolismo, y por lo tanto, afecta de manera indirecta la estructura celular y

otros componentes, los cuales a su vez determinan la textura de los frutos. En este contexto, **Moreno et al. (2014)**, encontraron que la firmeza de fruto estuvo asociada de manera positiva a menores temperaturas de suelo y aire. En el presente estudio se registró una temperatura promedio ambiental máxima de 34.2°C durante el ciclo experimental, lo cual pudo haber afectado esta variable de calidad. De acuerdo a lo anterior, **Sams (1999)**, señaló que la firmeza de fruto es mucho mayor a temperaturas más bajas, ya que la densidad del tejido sería mucho mayor. Respecto a la variable sólidos solubles totales (V5), se ubica en el cuadrante inferior izquierdo, muy cerca del tratamiento 1, lo cual indica una relación positiva respecto a la humedad relativa máxima (V13). La suma de los componentes PC1 (67.09%) y PC2 (22.92%) explicaron el 90% del total de la variabilidad.

CONCLUSIÓN.

El tratamiento 4 (inorgánico) superó a los T1, T2 y T3 en diámetro de tallo y altura de planta. En lo que respecta al contenido de clorofila los tratamientos orgánicos superaron al tratamiento control (inorgánico). En cuanto a rendimiento promedio por m² no se observaron diferencias estadísticas; sin embargo, cabe destacar que el tratamiento 2 mostró el mayor valor con 3.35 kg m⁻², seguido del T4 (control), T3 y T1 con 3.20, 3.0, y 3.0 kg m⁻², respectivamente. El T3 mostró una relación polar-ecuatorial mayor con respecto al resto de los tratamientos evaluados. El T1 presentó el mayor contenido un valor más alto al resto de los tratamientos con respecto al contenido de sólidos solubles. El T2 registró el valor más alto en cuanto a firmeza del fruto. La suma de los componentes PC1 y PC2 (67.09% y 22.92% de la varianza explicada, respectivamente) explicaron el 90% del total de la variabilidad de acuerdo al análisis de componentes principales.

LITERATURA CITADA

- Alvajana, M.C.R., J.A. Hoppin, and F. Kamel (2004). Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity. *Annual Review of Public Health* 25: 155-197.
- Cardona, M.N. 2013. Evaluación de fuentes de fertilización orgánica en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero, Tesis Facultad Agronomía, UANL, Marín, N.L., Méx. 90 pag.
- De la Cruz, E., R. Osorio-Osorio, E. Martínez-Moreno, A.J. Lozano del Río, A. Gómez-Vázquez, y R. Sánchez-Hernández (2010). Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia* 35: 363-368.
- Gewin, V. (2004). Organic FAQs. *Nature* 428: 796-798.
- Graham, R.D. (2007). Organic tomatoes have more antioxidants. *New Scientist* 195 (2611): 16.
- Heeb, A., B. Lundegårdh, T. Ericsson, and G.P. Savage (2005). Nitrogen form affects yield and taste of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 1405-1414.
- Márquez, H. C., Cano R.P., y Rodríguez D.N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México*. 34(1): 69-74.
- Márquez, H.C., Cano, P.R., Figueroa, V.U., Ávila, D. J.A., Rodríguez, D.N., y García H.J.L. 2013. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero *Phyton*. Vol. 82: 55-61.



- Moreno, C., Mancebo, I., Tarquis, A. M., and Moreno, M. M. 2014. Univariate and multivariate analysis on processing tomato quality under different mulches. *Scientia Agricola*. 71(2): 114-119.
- Preciado, R.P., Fortis, H.M., García-H., J. L., Rueda, P.E.O., Esparza, R.J.R., Lara, H.A., Segura, C.M.A., y Orozco, V.J.A. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36(9): 689-693.
- R Core Team (2015). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Rickman, P.J. and Barret, D.M. 2009. Effects of organic and conventional production systems on quality and nutritional parameters of processing tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* (89): 177-194.
- Rippy, J.F.M., Peet, M.M., Louws, F.J., Nelson, P.V., Orr, D.B., and Sorensen, K.A. 2004. Plant development and harvest yields of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *HortScience*. 39 (2): 223-229.
- Sams, C.E. 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*. 15: 249-254.