

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



La Relación Nitrato/Amonio en el Comportamiento
Agronómico de Tomate Injertado y Sin Injertar

Por:

GUILLERMO CABALLERO OLIVA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

La Relación Nitrato/Amonio en el Comportamiento
Agronómico de Tomate Injertado y Sin Injertar

Por:

GUILLERMO CABALLERO OLIVA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Valentín Robledo Torres

Asesor Principal



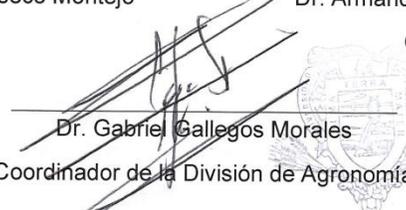
M.C. Néymar Camposeco Montejo

Coasesor



Dr. Armando Hernández Pérez

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2017

DEDICATORIA

Con profundo amor y admiración a mi familia:

A mis padres **Esteban Caballero Islas** y **Reyna Oliva Cruz** a quienes nunca podré expresar todo el agradecimiento por haber confiado en mí, a pesar de todos los momentos difíciles que llegué a provocar durante mi adolescencia, las voces que hicieron dudar al mundo en una medida comprensible y que ustedes se rehusaron a escuchar, manteniendo la fe y el anhelo de que siguiera el camino indicado, aun cuando lo gris de mis pensamientos lo hacía parecer cada vez más lejos con el pasar de los días. A ustedes que siempre estuvieron ahí cuando incluso yo ya no quería estarlo, a ti padre mío, por ser la persona que me explico que no todo en la vida es tener fácil las cosas, que toda acción conlleva una responsabilidad y que solo se logra con trabajo y mucho esfuerzo, quien recordaré por el silencio que hacia reflejar todo el sentimiento de tu ser en la tranquilidad de tu mirada, a ti madre mía, porque es la que me dio la vida, la persona que me abrió las puertas para que yo eligiera mi camino y que siempre formarás parte de ese cálido fuego que llevo en el corazón, gracias por enseñarme a tocar al mundo con el más sublime de los sentidos, pero por sobre todo por mostrarme ese gran amor incondicional y esa fuerza defensora que llevas dentro, a ustedes quienes recordaré hasta el momento en el que la luz del día abandone el brillo de mis ojos, pues no hay amor más puro, coraje, fuerza o sacrificio, que el que ustedes me han demostrado, los amaré hoy y siempre.

A MIS HERMANOS:

Erika de Carmen Caballero Oliva y **Heriberto Caballero Oliva**, Por formar parte indispensable en mi vida, a ustedes quienes me brindaron su apoyo en todo momento y han formado parte de los sueños que me han mostrado cuan doloroso será el mundo, el día en que no pueda verlos más. A ustedes que jugaron conmigo y ahora comparten la esperanza de una vida mejor, les expreso el gran amor que siempre he sentido por ustedes, gracias por confiar en mí, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Quien se merece primero el agradecimiento es Dios quien me ha permitido llegar hasta donde estoy, con muchas pruebas en mi vida que me han hecho mejor en este largo trayecto, pero que aún va empezando.

A esa fuerza que nos permite intentar, a esa fuerza que nos hace fallar, que nos permite levantarnos, que nos permite intentarlo nuevamente, a esa fuerza invisible que nos permite pensar y existir a través del tiempo y el espacio.

A mi ALMA MATER, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, por la oportunidad que me brindo para formarme como un profesional en esta Universidad.

Al M.C Neymar Camposeco Montejo: por darme la oportunidad de desarrollar el presente trabajo, otorgar de sus conocimientos de su vida profesional, buenos puntos de vista y su valioso tiempo.

Al Dr. Valentín Robledo Torres: le agradezco su tiempo dedicado, para el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Armando Pérez Rodríguez por el apoyo brindado para realizar este trabajo.

Al sr. Roberto por su apoyo que me ha brindado.

A la sra. Martina por su apoyo que me ha brindado.

A mi cuñado José Antonio Álvarez Ramírez, por el apoyo que me ha brindado.

A una persona muy especial que formo parte de mi vida en el último año en la universidad, convirtiéndose más que mi novia en mi mejor amiga. Gabriela Datoly Garrido.

A mis amigos Ing. Cesar García Barradas y al Ing. Ángel Iván García Barradas, que formaron parte de mi familia en la universidad, compartiendo con ellos momentos inolvidables dentro y fuera, por su apoyo en todo momento que los necesite, desde lo más fácil hasta lo más difícil.

A mis amigos Rubni, Marcelino, Ignacio, Cesar, Iván, Miguel, Fredy, Eusebio, Carlos, Juan, Abraham que formaron parte de cada una de las locuras que pudimos idear durante todo este tiempo., quienes siempre me orientaron con su experiencia, habilidades y conocimientos, quienes compartieron buenos y malos momentos, miedos y esperanzas, pero, sobre todo, por rescatarme en aquellos momentos de extrema necesidad. Nunca los olvidaré.

Al Ing. Javier Valentín Gonzales Reyna, por su amistad y apoyo que me dio en estos años.

Al Ing. Gerardo Rodríguez Galindo por las enseñanzas en campo, apoyo incondicional.

A los ingenieros Luis Gerardo Ramos y Gerardo Sánchez por su apoyo en mis prácticas profesionales, y por darme la oportunidad de crecer en mi profesión en el Rancho Forrajera 4 Hermanos, y a mis amigos de trabajo que me enseñaron a crecer como profesionalista, se lo agradezco mucho.

Al Banquete Akires por brindarme una opción de trabajo en estos años.

A cada uno de mis maestros que formaron parte de mi educación y me dejaron las mejores enseñanzas durante este ciclo de mi vida.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la respuesta de la relación nitrato/amonio en el comportamiento agronómico de tomate injertado y sin injertar. El experimento se realizó en un invernadero de media tecnología del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Saltillo, Coahuila. Se utilizó como portainjerto el híbrido Silex de la semillera Fito Seeds, y como variedad injertada el Arrojado de Gene Seeds. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS versión 9.1, el diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y empleó el modelo estadístico factorial de 2*4. Al utilizar la técnica de injerto se incrementa estadísticamente peso promedio del tallo, diámetro polar del fruto, diámetro ecuatorial del fruto, sólidos solubles totales y Firmeza con 9.85, 3.54, 3.63, 5.03 y 2.39 % respectivamente, respecto del tomate sin injertar. La relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 92/8 seguido de 85/15 %, favorecen estadísticamente el rendimiento, número de fruto por tallo también se incrementó con la relación 92/8 seguido 85/15%, con un incremento de 5.04 % respecto la relación (100/0), pero se disminuye el peso promedio del fruto al usar 80/20, en cuanto a la relación de 92/8 y 85/15 %, generan un efecto estadísticamente similar a la relación 100/0. Usando la técnica de injerto en tomate se observan incrementos estadísticamente positivos en las variables diámetro del tallo principal, peso fresco de la raíz, peso seco de la raíz, longitud de la raíz, distancia entre racimos, peso fresco del tallo y peso seco del tallo con 1.88, 13.03, 46.03, 29.02, 2.52, 3.3 y 9.18 % respectivamente respecto del tomate sin injertar. En cuanto al contenido de amonio disuelto en la solución nutritiva, se genera estadísticamente mayor peso fresco de la raíz y peso seco de la raíz al aplicar una relación NO_3^- o NH_4^+ de 85/15%. Para el resto de las variables evaluadas no se observaron diferencias estadísticas entre promedios. Las variables de respuesta que mostraron diferencias estadísticas en la interacción (Injerto x Amonio) fueron gramos por planta, diámetro ecuatorial del fruto, peso fresco de la raíz, y peso seco de la raíz observándose que la mejor combinación para rendimiento gramo por planta, fue del tomate injertado utilizando la relación NO_3^- o NH_4^+ de 85/15 % con 1933.95 gramos por tallo cosechados. Se concluye que en el sustrato la relación nitrato/amonio de 85/15 % de la solución nutritiva, genera cambios que favorecen el rendimiento y acumulación de materia seca en las raíces además el tomate se ve favorecido con el uso de la técnica de injerto generando que se incremente la calidad de la fruta por mayor contenido de sólidos solubles totales y firmeza.

Palabras clave: Solanum lycopersicum L., injertos, portainjertos relación nitrato/amonio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
Origen e Importancia del Tomate	6
Importancia en México y a Nivel Mundial.....	6
El Injerto.....	7
Tipos de Injerto.....	8
Beneficios del Injerto	13
Manejo de los Injertos y Factores que Inciden en la Unión del Injerto.....	14
Cultivo de Tomate en la Agricultura Protegida.....	17
Sustratos.....	17
Tipos de sustratos	19
Soluciones Nutritivas	19
Funciones de los Elementos Esenciales en las Plantas	21
Nitrógeno.....	21
Fósforo	21
Potasio	22
Azufre	22
Magnesio.....	23
Calcio	23
Hierro.....	23
Cloro.....	24
Manganeso.....	24
Boro.....	24
Zinc.....	25
Cobre.....	25
Molibdeno.....	26
Carbono.....	26
Hidrógeno	26
Oxígeno	26

Formas de Absorción y Transporte del Nitrógeno por las Plantas	27
Sitios de Asimilación de Nitrato	27
Absorción de Amonio por la Planta.....	28
Cultivos Hidropónicos del Tomate y la Nutrición con Amonio.....	32
Nitrato / Amonio en las Plantas.....	33
Relaciones ($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$) en Estudios de Nutrición Vegetal.....	34
Localización del Sitio Experimental	37
Formación de los Injertos.....	37
Establecimiento en Campo y Manejo del Cultivo	39
Mediciones de Rendimiento de Fruto y sus Componentes	40
Mediciones de Calidad de Fruto	40
Análisis Estadístico	41
RESULTADOS Y DISCUSION.....	41
CONCLUSIONES	53
LITERATURA CITADA.....	55

INDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Pagina
1	Tipos de injerto en hortalizas. ABC: injerto de empalme; DEF: injerto de hendidura; GHI: injerto de aproximación.....	7
2	Comparación de medias de rendimiento en tomate injertado y sin injertar, para la variable gramos por planta.....	25
3	Comparación de medias de rendimiento en tomate injertado y sin injertar, para la variable número de fruto por planta.....	26
4	Comparación de medias para la variable peso por fruto.....	26
5	Comparación de medias para la variable gramos por planta...	29
6	Comparación de medias en la variable números de frutos por tallo.....	29
7	Comparación de medias para la variable peso por fruto.....	29
8	Comparación de medias para la variable peso fresco de la raíz	31
9	Comparación de medias para la variable peso seco de raíz	31

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pagina
---------------	---------------

1	Composición de la solución nutritiva utilizada para la producción de tomate injertado y sin injertar	46
2	Lista de tratamientos estudiados en el cultivo de tomate de baja tecnología	47
3	Análisis de varianza y comparación de medias de variables de calidad de fruto en tomate injertado y sin injertar.....	52
4	Análisis de varianza y comparación de medias de variables de caracteres morfo anatómicos evaluados en tomate injertado y sin injertar	53
5	Análisis de varianza y comparación de medias de variables de calidad de fruto evaluados en tomate cultivado bajo diferente relación nitrato/amonio en la solución nutritiva aplicada	56
6	Análisis de varianza y comparación de medias de variables de caracteres morfo anatómicos evaluados en tomate cultivado bajo diferente relación nitrato/amonio en la solución nutritiva aplicada.....	59
7	Comparación de medias de las variables que tuvieron una interacción Injerto x nitrato/amonio en el cultivo de tomate	60

INTRODUCCIÓN

La producción de tomate en México representa la mayor aportación económica entre las hortalizas, junto con el chile verde y la cebolla, dado que en la mayoría de las culturas del mundo ésta hortaliza tiene una gran aceptación. Además México se ha consolidado como el primer exportador de tomate, con un volumen de 3,349,154.20 de toneladas y un valor de producción de \$23,871,403.99, con una superficie de 51,299.14 Ha cosechadas (SIAP, 2016). Además, el crecimiento de la superficie sembrada se ha incrementado en los últimos años en estados como Sinaloa y Baja California, transformando áreas de producción de cielo abierto a condiciones de horticultura protegida, la cual ha generado considerables aumentos en la producción (SIAP,2016).

En el estado de Sinaloa se produce tomate en los primeros meses de año, mientras que durante el verano la producción es en los estados del centro y de Baja California, de la producción de éstas regiones se abastece al mercado nacional y la mitad del mercado norteamericano (SAGARPA, 2016).

El incremento de las superficies sembradas ha traído como consecuencia la falta de agua, ya que cada planta puede requerir hasta 2 litros de por día para satisfacer las necesidades de la planta y como medio para el aporte de la fertilización, que cuando no es bien manejada incrementa los niveles de sales en el medio de cultivo, elevando la conductividad eléctrica y la tensión osmótica y

estrés hídrico en última instancia (Pardo, 2013). Sin embargo, ante ésta problemática y la presencia de enfermedades en el suelo, se han desarrollado nuevas técnicas para lograr incrementar el rendimiento y calidad de fruto, haciendo un uso óptimo de los insumos sin incrementar los costos de producción. Una de éstas técnicas es el injerto que ha tenido buenos resultados principalmente en solanáceas como el tomate, en cucurbitáceas como el pepino y la sandía. Además tiene gran aceptación, ya que en el mercado hay patrones tolerantes a patógenos del suelo, al estrés salino, al pH alto y otra serie de factores que limitan la producción de los cultivos en nuestro país (Godoy y Castellanos, 2009).

Los injertos o plantas injertadas son el resultado de la unión de dos plantas afines (portainjerto y variedad), donde se utiliza el sistema radicular del portainjerto que presenta resistencia o tolerancia, mientras que la parte aérea es la variedad o híbrido comercial a cultivar para el desarrollo de una planta con mejores características (De la Torre, 2005). La producción de plantas injertadas comenzó en Japón y Corea a fines de 1920 con Sandía, usando la calabaza como porta injerto (Yamakawa, 1983). Los beneficios que se logran realizando la práctica del injerto son muy importantes, ya que con el injerto se incrementa el vigor de la planta y la vida de post cosecha de la fruta (Lee y Oda, 2003). Otras de las ventajas de las plantas injertadas es que toleran condiciones de salinidad y suelos con mal drenaje, así como condiciones de estrés por temperaturas elevadas (Khah *et al.*, 2006). Otra de las técnicas utilizadas en la agricultura protegida es la hidroponía, que confiere ventajas al productor, ya que puede obtener un

incremento de hasta cinco veces la producción, con relación a campo abierto. Además, el consumo de agua se reduce en un 77% es decir para producir un kilo de tomate en campo abierto se utilizan 89 litros por kilo producido mientras que en hidroponía 20L (SAGARPA, 2013).

En las soluciones nutritivas utilizadas en cultivos hidropónicos comerciales, el nitrato y amonio son las dos formas en que se aplica el nitrógeno, además se tiene conocimiento de la toxicidad del amonio cuando se suministra a las plantas en exceso (Beltrano y Gimenez, 2015), por esta razón se prefiere el nitrato como fuente principal o inclusive como única fuente de nitrógeno. Sin embargo para abatir los excesos de nitrógeno, es necesario precisar los requerimientos adecuados para los cultivos, y conocer los efectos específicos del nitrato sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo del tomate en hidroponía (Terraza *et al.* 2012).

Por otra parte en un cultivo intensivo se requiere de suministros constantes de elementos minerales para que este realice sus funciones fisiológicas y metabólicas eficientemente. Uno de estos elementos minerales es el nitrógeno(N) elemento esencial para las plantas que puede suministrarse en tres formas; nítrica, amoniacal o ureica (Beltrano y Gimenez, 2015), aunque la forma nítrica es la forma que más se utiliza en los sistemas de cultivo protegido ya sea en suelos, sustrato o hidropónicos, sin embargo cada especie o variedad responde de manera diferente a la nutrición nítrica, amoniacal o ureica (Kotsiras *et al.*, 2005;

Haynes, 1986), en este sentido Steiner (1984) recomiendan aplicar el amonio en pequeñas concentraciones o en su caso no utilizarlo. Estudios previos señalan que del total de nitrógeno que utiliza la planta de tomate cultivada en sustrato, es posible suministrar hasta 15% en forma de nitrógeno amoniacal o ureica, o bien 7.5% de cada uno, sin afectar el rendimiento final del cultivo (Parra *et al.*, 2012). Por su parte Sandoval *et al.*, (2001) indican que ni la concentración de amonio ni el tiempo de suministro afectan el rendimiento de tomate, aunque se incrementa la cantidad de frutos con pudrición apical en tanto se incrementa la concentración de amonio en la solución, esto debido a los antagonismos del amonio/calcio. Mientras que otros estudios señalan que la combinación nitrato/amonio genera mayores rendimientos, que si se aplican cada uno por separado (González *et al.*, 2009), por lo que es importante encontrar una combinación adecuada para el cultivo, además de que con el uso de injertos, las necesidades y relaciones nutricionales podrían diferir, por lo tanto se planteó, como objetivo: Determinar el efecto de la relación nitrato/amonio sobre la productividad y morfología de la planta. Así como encontrar la relación porcentual más adecuada en la solución nutritiva para la producción de tomate en el sistema de cultivo en sustrato.

Con los objetivos específicos de:

Evaluar diferentes relaciones de nitrato/amonio sobre el rendimiento de fruto.

Estudiar las respuestas de las variables agronómicas de la planta frente a las diferentes relaciones de nitrato/amonio.

Bajo la hipótesis de que:

La morfología de la planta de tomate se verá afectadas por las diferentes concentraciones de nitrato/amonio, aplicados vía solución nutritiva.

El rendimiento del fruto será influenciado por la relación de nitrato/amonio en la solución nutritiva.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen e Importancia del Tomate

El cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una planta originaria de Perú y México es centro secundario de origen, países en donde se encuentran varias formas silvestres. Fue introducida en Europa en el siglo XVI. Al principio, el tomate solo se cultivaba como planta de adorno. A partir de 1900, se extendió el cultivo como alimento humano. Además, se cultiva en las zonas templadas y cálidas. Actualmente el tomate se cultiva en casi todos los países del mundo (Rick, 1986).

Importancia en México y a Nivel Mundial

El tomate es uno de los productos agrícolas con mayor valor económico a nivel mundial. En el país existen distintas variedades de tomate rojo, entre las más importantes están el jitomate cherry, saladette, tipo pera, bola y bola grande (SAGARPA, 2016). En México la producción hortícola bajo condiciones protegidas, ha crecido considerablemente. En el 2003 se estimaba que en México solo se cultivaban 950 ha, sin embargo, para el 2014 fue de 50,962.65 ha (SAGARPA, 2015), de éstas el 70% producen tomate, ofertando el producto todo el año. Sin embargo, la mayoría de la producción se exporta a Estados Unidos, Canadá y algunos países europeos, debido a los altos estándares de calidad e inocuidad

que han alcanzado los productores mexicanos (Avendaño-Ruiz, 2010). Asimismo, de acuerdo con datos arrojados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México produjo cerca de 2.8 millones de toneladas de jitomate, razón por la cual su producción ocupa el segundo lugar después del cultivo de chile (SIAP, 2014).

México es el principal exportador de jitomate fresco a nivel mundial, siendo Estados Unidos, Canadá y algunos países de Europa los principales consumidores; con lo cual las exportaciones ascienden a poco más de 20 mil millones de pesos. El país exporta alrededor de 1.5 millones de toneladas anuales, que representan entre el 50 y 70 por ciento del volumen total de la producción (SAGARPA, 2015).

El Injerto

El injerto en hortalizas se inició en Corea y Japón alrededor de 1920, injertando sandía sobre porta injertos o patrones de calabaza (Lee, 2003). En Europa, los horticultores holandeses practican esta técnica desde 1947 (Miguel, 1997). El injerto en plantas es la unión de una porción de tejido vegetal viviente de dos plantas distintas para que se desarrollen como una sola planta (Hartmann *et al.*, 2002). En el ámbito comercial las especies hortícolas que se injertan son: melón, pepino, sandía, berenjena, tomate y pimiento (Lee, 1994; Hartmann *et al.*, 2002; Lee y Oda, 2003). En hortalizas el propósito es reducir la infección causada por hongos y nematodos del suelo (Hartmann *et al.*, 2002; Lee, 2003; Bletsos *et*

al., 2003), pero a medida que se incrementó el uso de cultivos hortícolas injertados en el mundo, los objetivos a cumplir se han ido ampliando, entre ellos se citan: tolerancia a estrés por temperaturas (Ahn *et al.*, 1999), tolerancia a salinidad (Santa-Cruz *et al.*, 2001) y tolerancia a condiciones de sequía del suelo (Lee y Oda, 2003). Adicionalmente se busca incrementar el vigor de la planta y aumentar el rendimiento (Chung *et al.*, 1997), conseguir una mayor absorción de nutrimentos y contenido mineral en la parte aérea (Ruiz *et al.*, 1997; Godoy *et al.*, 2009) y reducir el uso de plaguicidas (Lee, 1994; Lee y Oda, 2003). Además de que el injerto simplifica y acorta los programas de mejoramiento genético (Oda, 1999).

Tipos de Injerto

El método empleado varía de acuerdo con la especie y en cada una de ellas el porcentaje de prendimiento está relacionado con el método de injertación. En tomate el más generalizado es el método de empalme y en cucurbitáceas el de aproximación.

Injerto de empalme. Este es uno de los métodos más sencillos y utilizados a nivel comercial, muy aceptado en tomate. El diámetro de tallo recomendado para este método es 1.5 a 2.0 mm, que se alcanza entre 25 y 28 días después de la siembra, dependiendo del material. El portainjerto e injerto deben tener el mismo diámetro para facilitar el prendimiento. Se realiza un corte inclinado en 45°, en el portainjerto puede realizarse por arriba o por debajo de los cotiledones (Figura 1 A). En el injerto se realiza un corte similar en longitud e inclinación (Figura 1 B) por

arriba de los cotiledones, de preferencia se debe realizar el corte en un solo movimiento con navajas filosas como las de afeitarse (Hartman y Kester, 1984). Las superficies cortadas se colocan juntas procurando poner en contacto a las regiones del cambium, por eso es necesaria la homogenización del diámetro de los tallos. Cuando el tallo de uno de los materiales es considerablemente más grueso o delgado, las zonas del cambium no quedan alineadas, por lo tanto se reduce el prendimiento. El portainjerto/injerto se unen con pinzas especiales de silicón para agilizar el trabajo y mejorar el porcentaje de prendimiento (Figura 1 C).

Injerto de hendidura. Las plántulas del portainjerto son decapitadas y cortadas longitudinalmente, se realiza un corte hacia abajo por el centro del tallo con una longitud de 1 a 1.5 cm (Figura 1 D). Al injerto se le realiza un corte en forma de cuña de 1 a 1.5 cm de largo, procurando que tenga 3 hojas (Figura 1.4 E). El injerto se inserta en el portainjerto de modo que las partes cortadas queden en contacto (Figura 1 F) (Lee y Oda, 2003). El injerto de hendidura es un método conveniente para injertar tallos herbáceos. En papa (*Solanum tuberosum*) se realizan injertos de cuña cuando los brotes tienen 15 a 22.5 cm de alto; esto permite la producción de tubérculos y evita el riesgo de enraizamiento del injerto (Hartman y Kester, 1984).

Injerto de aproximación. La característica que distingue a este método es que se injertan dos plantas independientes entre sí, cada una con su sistema radical (Hartman y Kester, 1984). Sobre el portainjerto se realiza un corte en forma de

lengua hacia abajo (Figura 1 G), esta última recomendación es importante dado que el portainjerto es quien da el soporte a la planta. Al injerto se le realiza un corte similar, pero en dirección contraria; es decir, hacia arriba (Figura 1 H). Del mismo modo que en los métodos anteriores, la unión se realiza tratando de hacer coincidir las partes cambiales (Figura 1I). Cuando la unión está completa, el injerto es cortado por debajo de la unión y la parte aérea del portainjerto se elimina para formar así una sola planta, en ocasiones este proceso se realiza de forma gradual (Hartman y Kester, 1984; Lee y Oda, 2003).

Proceso de unión. Para que el injerto tenga éxito debe haber una coincidencia de los tejidos próximos a la capa del cambium que produce un borde, producto de la cicatrización llamado callo (Hartmann *et al.*, 2002). Se pone en contacto con los tejidos del portainjerto y de la variedad, de manera que las regiones del cambium coincidan y se mantengan estrechamente unidas mediante una pinza de silicón hasta lograr la cicatrización. Debe mantenerse una temperatura de 27.9°C y una humedad relativa mayor de 75% (Gómez, 1997), que estimulen el prendimiento en las células recién puestas en contacto y de las circundantes (Lee, 1994; Oda, 1999). La conexión vascular en injertos compatibles se realiza en tres fases: 1) cohesión del patrón y la variedad, 2) proliferación del callo en la unión y 3) diferenciación y conexión vascular (Moore y Walter, 1981; Jeffrey y Yeoman 1982). El tomate y la berenjena son compatibles con una gama amplia de géneros y especies, mientras que el pimiento solo puede injertarse sobre plantas de su misma especie (Miguel, 1997).

G

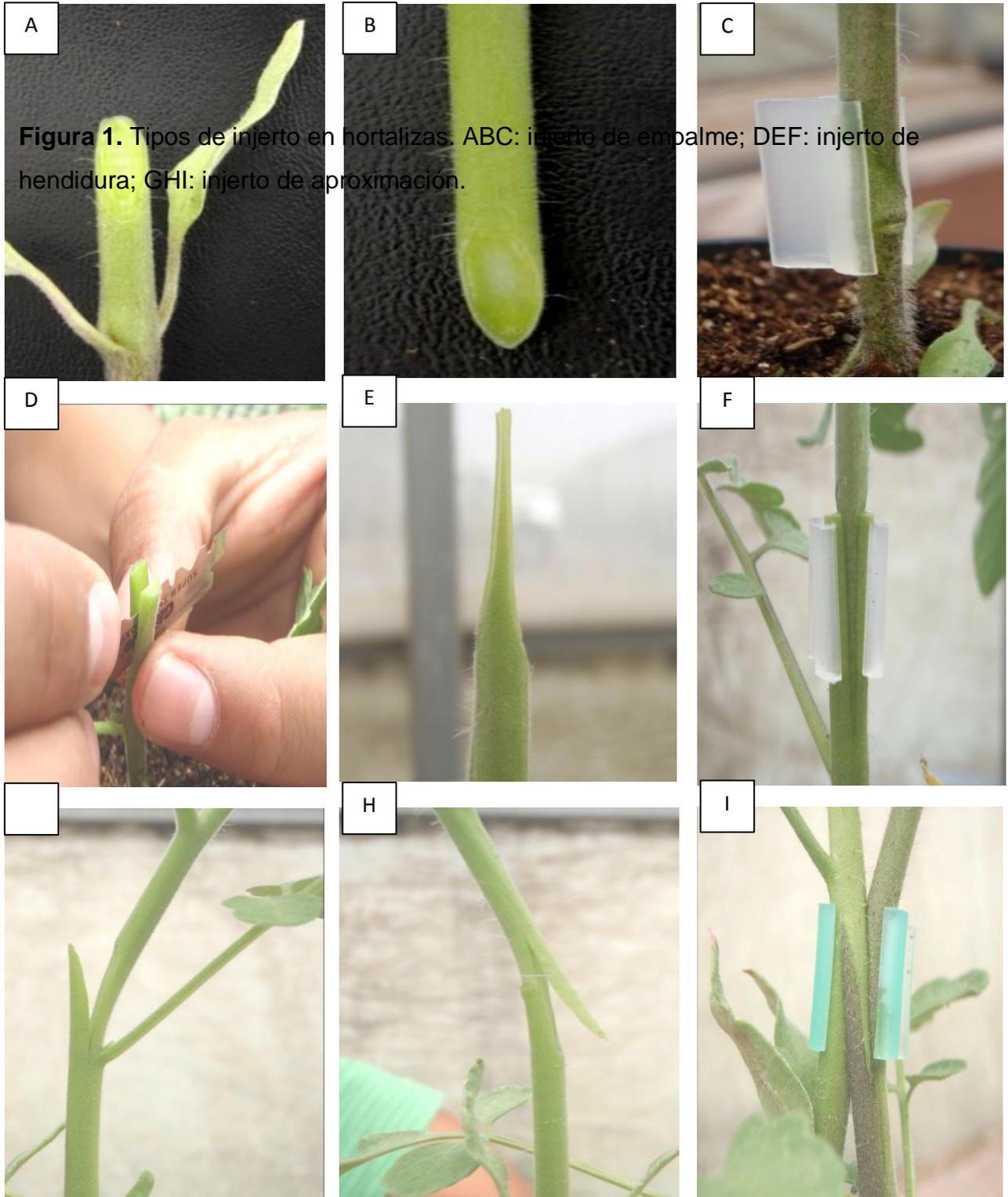


Figura 1. Tipos de injerto en hortalizas. ABC: injerto de empalme; DEF: injerto de hendidura; GHI: injerto de aproximación.

Beneficios del Injerto

En México falta información sobre las ventajas económicas de esta práctica (Kubota *et al.*, 2008). Según Godoy y Castellanos (2009), el uso del injerto es de uso más frecuente, esto como resultado de la eliminación gradual del bromuro de metilo. Por lo que diversas instituciones de investigación han iniciado proyectos para evaluar las bondades del injerto y algunas empresas de semillas están validando el posible efecto que pueda tener el patrón sobre el rendimiento y la calidad del fruto (Contreras, 2014). Investigaciones recientes (Davis *et al.*, 2008; Mišković y Marković, 2009), reportan efectos en algunas características de fruto como: pH, sabor, color, contenido de azúcar y carotenoides y textura como resultado del injerto y de los patrones utilizados. Los resultados de dichas investigaciones varían sobre si el injerto es ventajoso o no, pero en general están de acuerdo en que la combinación patrón/variedad debe ser cuidadosamente elegida para una óptima calidad del fruto. Además, es importante estudiar las múltiples combinaciones de patrones/variedades bajo distintas condiciones climáticas y geográficas (Davis *et al.*, 2008).

En México las investigaciones más recientes llevadas a cabo por Godoy *et al.*, (2009) tratan sobre el efecto del patrón en el crecimiento y rendimiento de tomate bajo condiciones de suelo y sustrato. Así como el efecto del injerto en el contenido de licopeno de tomate sembrado en invernadero bajo diferentes sistemas de cultivo. En ambas investigaciones, los resultados mostraron diferencias significativas a favor de las plantas injertadas, en mayor contenido de licopeno en fruto, como en mayor rendimiento total y calibre del fruto.

Manejo de los Injertos y Factores que Inciden en la Unión del Injerto

Dentro de los factores que influyen en la cicatrización de la unión del injerto, están las condiciones ambientales: temperatura, humedad relativa y oxígeno. La temperatura tiene un marcado efecto en la formación del tejido del callo y la diferenciación de nuevos haces vasculares; entre 4 y 32°C, la producción del callo aumenta linealmente con la temperatura. Con temperaturas sobre 29°C se obtiene una producción abundante de tejido calloso de tipo suave que se daña fácilmente, por otra parte, a menos de 20°C la formación de callo es lenta y bajo los 15°C se inhibe totalmente, la temperatura óptima durante la fase de unión es de 25 a 28°C. El contenido de humedad del aire es muy importante para la unión del injerto, debido a que las células de parénquima que forman el tejido del callo son de paredes delgadas y sensibles a la deshidratación. Por lo tanto, el contenido de humedad del aire menor que el punto de saturación, inhibe la formación del callo y aumentan la tasa de desecación de las células. La presencia de una película de agua sobre la superficie de encajecimiento es más estimulante que mantener 100% la humedad relativa. Debido a que la unión del injerto es un proceso en el cual se produce una división y crecimiento celular importante, acompañado de una respiración celular elevada, el oxígeno es altamente necesario para la optimización de este proceso, por esto, es importante que la ligadura del injerto permita el acceso de aire en la zona de unión (Hartmann *et al.*, 2002).

Temperatura. Tiene un marcado efecto sobre la formación de tejido de callo. En el tomate la temperatura óptima para el injerto es de 26 a 28° C (Gomez,1997). En cucurbitáceas se recomienda mantener una temperatura de

20 a 28°C durante la fase de unión. Se obtienen, sin embargo, buenos resultados cuando las mínimas no bajan de 15° C ni las máximas exceden los 33° C.

Humedad. Los contenidos de humedad del aire menores al punto de saturación, inhiben la formación de callo y aumentan la tasa de desecación de las células cuando disminuye la humedad. La presencia de una película de agua sobre la superficie de encajecimiento es más estimulante para la cicatrización que mantener al 100% la humedad relativa. Se recomienda mantener una humedad relativa de 80 a 90% (Gómez, 1997).

Actividad de Crecimiento del Patrón

La actividad cambial se debe a un estímulo de auxinas y giberelinas producidas en las yemas en crecimiento. Si el patrón está en fase de reposo o crecimiento lento, es más difícil la producción de cambium en el injerto. Cuando el patrón está hiperactivo (presión excesiva de las raíces) o hipoactivo, debe dejársele algún órgano por encima del injerto, que actúa de tirasavias (Hartmann *et al.*, 1991).

El injerto de hortalizas es una técnica muy común a nivel mundial, no sólo para manejo de enfermedades del suelo, sino también para la mejora de la calidad del fruto y la mejora de la respuesta de la planta a estreses abióticos tales como la sequía, la humedad, la restricción de nutrientes, las temperaturas extremas y la salinidad (King *et al.*, 2010). El uso de híbridos interespecíficos como portainjertos ha mostrado una mejora en el desarrollo de la planta y en la

producción de muchas solanáceas y cucurbitáceas, incluyendo el tomate, sandía, melón, pepino, pimiento y berenjena (Di Gioia *et al.*, 2010; Djidonou *et al.*, 2013). Para tomate se utilizan principalmente híbridos interespecíficos de *Lycopersicum esculentum* x *L. hirsutum* y *L. esculentum* x *L. pimpinellifolium*. También se emplea *Lycopersicum esculentum*, aunque no son tan vigorosos como los híbridos interespecíficos (De Miguel, 2011).

El cultivo de tomate en fresco se ha visto beneficiado con la práctica del injerto, siendo una técnica cada vez más utilizada.

A principios de 2000, menos del 25% de las plantas cultivadas eran injertadas, pero a finales de 2010, alrededor de la mitad de las plantas ya eran injertadas. Además de prevenir problemas del suelo, se busca alargar el ciclo de cultivo y luchar contra los agentes abióticos, aprovechando el vigor de los portainjertos. Actualmente se utiliza el injerto en más de un 70% de las plantas de tomate cultivadas, buscándose con el injerto una mejora en la calidad del fruto, como sabor y aumento de los rendimientos (Lambies, 2015). A finales de esta década se cree que más del 90% de las plantas de tomate serán injertadas.

El injerto sobre patrones vigorosos ha conseguido incrementar entre un 20 y 62% la producción de tomate comercializable, dependiendo de la combinación porta injerto-variedad y las condiciones de cultivo, frente a plantas no injertadas (Di Gioia *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2003) (Leonardi y Giuffrida, 2006).

Cultivo de Tomate en la Agricultura Protegida

El desarrollo del cultivo de tomate bajo condiciones de la agricultura protegida, es capaz de generar frutos de excelente calidad, además de cumplir con estándares de inocuidad alimentaria. Por otra parte, en años recientes, la demanda de productos desarrollados orgánicamente se ha incrementado, debido a que los fertilizantes orgánicos permiten, mejorar las características cualitativas de los vegetales consumidos por el hombre (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2009). El sistema de producción de tomate bajo condiciones protegidas en México es relativamente nuevo y de crecimiento constante, generando un impacto importante en los últimos años, por su incremento en superficie cultivada, productividad, rentabilidad y calidad del producto final. El rendimiento promedio obtenido con este sistema es entre 5 y 8 kg•planta⁻¹, superando tres veces el que se obtiene a campo abierto, que va de 1.5 a 2 kg•planta⁻¹ (Jaramillo-Noreña *et al.*, 2006).

Sustratos

El término sustrato se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que es colocado en un contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular (Pastor, 2000; Samperio, 2004). Además a los sustratos se les clasifica en químicamente inertes (perlita, lana de roca, etc.) químicamente activos (turberas, corteza de pino, etc.). En el caso de los materiales químicamente inertes, estos actúan únicamente como soporte de la planta, mientras que los químicamente activos actúan en procesos de adsorción y fijación de nutrientes (Resh, 1997).

El sustrato adecuado para cada caso concreto depende de numerosos factores: tipo de planta, fase del proceso productivo en el que interviene, condiciones climatológicas y lo que es fundamental, el manejo de ese sustrato (Maroto,1990; Pastor, 2000; Samperio, 2004). Por lo tanto, no se tiene un sustrato ideal, pero si puede hacerse referencia a los requerimientos que un sustrato debe de tener, como son:

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible.
- Elevada aireación
- Baja densidad aparente
- Elevada porosidad
- Baja salinidad
- Elevada capacidad tampón
- Baja velocidad de descomposición
- Estabilidad estructural
- Bajo costo
- Fácil manejo (mezclado, desinfección, etc.)

En ocasiones el sustrato muestra problemas en la producción hortícola, debido a la inapropiada mezcla de partículas finas y gruesas. Por ello, el uso de sustrato con muy baja proporción de partículas finas ($>0,01\text{mm}$) presenta una baja retención de agua y el cultivo suele sufrir de sequía en las horas de máxima insolación. Por lo contrario, un sustrato con una alta proporción de partículas finas, presentara una alta capacidad de retención de agua, pero sus características de aireación serán pobres (Castellanos y Vargas, 2003).

Tipos de sustratos

Castellanos y Vargas (2003), mencionan que los sustratos que más comúnmente se usan en horticultura protegida en los sistemas de cultivo sin suelo son: Perlita y Peat moss, fibra de coco, seguido de:

- Lana de roca
- Tezontle
- Arena
- Corteza de pino

Soluciones Nutritivas

La solución nutritiva es el conjunto de elementos nutritivos requerido por las plantas y disueltos en agua. En los sistemas hidropónicos a excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados a través de soluciones nutritivas y son asimilados por las raíces de las plantas, por lo que se considera un prerrequisito la solubilidad de los iones esenciales en el agua. Se debe ajustar el pH de las soluciones de acuerdo a la necesidad de la especie a cultivar (Sánchez y Escalante, 2001).

Las principales fuentes de cada uno de los elementos nutrientes que forman parte de la solución nutritiva para la hidroponía son:

El **nitrógeno**, que es absorbido por las plantas en forma de nitrato NO_3^- y en forma de amonio (NH_4^+) soluble en agua. Las fuentes principales son: nitrato de potasio (KNO_3^-), de calcio ($\text{Ca} (\text{NO}_3^-)_2$), de sodio (NaNO_3^-), de amonio ($\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$), sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$), fosfato mono amónico

($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), fosfato di amónico ($(\text{NH}_4^+)\text{H}_2\text{PO}_4$), urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) y fosfonitrato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3\text{-H}_2\text{PO}_4$). El fósforo es asimilado por las plantas como ion fosfato (PO_4)₃⁻. Las fuentes empleadas son: superfosfato de calcio simple y triple ($\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$), fosfato de amonio, fosfato monoamónico ($\text{NH}_4\text{+H}_2\text{PO}_4$), fosforo diamónico, ácido fosfórico (H_3PO_4).

Para el Potasio las fuentes principales son: nitrato de potasio (KNO_3^-), sulfato de potasio (K_2SO_4) y cloruro de potasio (KCl). Las principales fuentes de calcio son: nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3^-)_2$), superfosfato (simple y triple), sulfato de calcio (yeso) ($\text{CaSO}_4\text{H}_2\text{O}$), cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2\text{H}_2\text{O}$). El azufre es utilizado por las plantas en forma de sulfato (SO_4)₂⁺ se encuentra en: sulfato de amonio y de potasio, superfosfato, sulfato de magnesio (sal de Epsom ($\text{MgSO}_4\text{H}_2\text{O}$)), que proporciona el magnesio necesario. El boro, zinc, manganeso, cobre, fierro, molibdeno, entre otros son necesarios en dosis muy pequeñas, además pueden reaccionar con sales en el agua y su nivel en exceso puede ser toxico. Las fuentes empleadas son: bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{H}_2\text{O}$) y ácido bórico (H_3BO_3) para el boro, el quelato de zinc y las mezclas de zinc con nitrógeno como fuente del zinc, el sulfato ($\text{MnSO}_4\text{H}_2\text{O}$), cloruro ($\text{MnCl}_2\text{H}_2\text{O}$) y quelatos de manganeso para el manganeso, el sulfato y cloruro de cobre para el cobre, el sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4\text{H}_2\text{O}$), cloruro férrico ($\text{FeCl}_3\text{ 6H}_2\text{O}$) y quelatos para el fierro. También hay fertilizantes comerciales que incluyen estos micro elementos como el Peters S.T.E.A.M (Soluble Trace Element Mix) (Contreras, 2006). De acuerdo con Steiner (1961, 1966,1984) y De Rijck y Schrevens (1998), la composición química de una solución nutritiva está

determinada por: 1) Una relación catiónica mutua. 2) Una relación anionica mutua. 3) La concentración iónica total.

Funciones de los Elementos Esenciales en las Plantas

Los nutrimentos minerales tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo vegetal. Un nutrimento mineral puede funcionar como un constituyente de una estructura orgánica, como un activador de reacciones enzimáticas.

Nitrógeno

Después del carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el potasio, el N es uno de los elementos más abundante en las plantas. El N es absorbido por las plantas en forma de nitrato NO_3^- y en forma de amonio (NH_4^+) soluble en agua. El N se encuentra en la planta en forma orgánica e inorgánica y forma parte de los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, clorofila y alcaloides. Aunque el N inorgánico se puede acumular en forma de nitrato, el N orgánico predomina por el mayor peso molecular de las proteínas vegetales. Alrededor del 80% del N que absorbe la planta, se utiliza para formar proteínas, el 10 % ácidos nucleicos, el 5 % aminoácidos solubles y clorofila (Marschner, 1986 y Favela *et al.*, 2006).

Fósforo

Las plantas absorben el P de la solución del suelo como ion ortofosfato: HPO_4^{-2} o H_2PO_4^- . El P es un componente de ciertas enzimas y proteínas, adenosina trifosfato (ATP), ácido ribonucleico (ARN) y ácido

desoxirribonucleico (ADN); el ATP participa en varias reacciones de transferencia de energía, el ARN y el ADN son componentes de la información genética; también el P forma parte del ácido fítico, principal forma de P en las semillas (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Potasio

El K actúa como coenzima o activador de coenzimas. Las plantas absorben el potasio en su forma iónica, K^+ y la síntesis de proteínas requiere altos niveles de K. Este elemento no forma parte estable en la estructura de las moléculas que se encuentran dentro de las células vegetales. El K es un activador en gran cantidad de procesos, los cuales son necesarios para la conservación del agua de la planta y de la presión de la turgencia de las células, así como para la apertura y el cierre estomático (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Azufre

La función más importante del S se relaciona con su participación en la síntesis de las proteínas. Las plantas pueden absorber el S en diversas formas SO_2 , SO_4 y S elemental, sin embargo, los cultivos lo absorben principalmente en forma de SO_4 . El azufre forma parte de los aminoácidos cisteína, cistina, tiamina y metionina; también de compuestos como la coenzima A, vitamina B1 y algunos glúcidos, los cuales dan el olor y sabor característicos a algunas plantas, como las crucíferas y liliáceas (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Magnesio

El Mg es la parte esencial de la molécula de clorofila y es necesario para la actividad de muchas enzimas. Las plantas absorben el magnesio en su forma iónica Mg^{+2} . Es esencial para mantener la estructura del ribosoma (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Calcio

El Ca^{++} se encuentra a menudo precipitado como cristales de oxalato cálcico en las vacuolas. El calcio es absorbido por las plantas en su forma catiónica Ca^{++} . Se encuentra también en las paredes de la célula como pectato cálcico, el cual une las paredes primarias de las células adyacentes. Mantiene la integridad de la membrana y forma parte de la enzima α -amilasa. Algunas veces interfiere la capacidad del Magnesio para activar las enzimas (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Hierro

El Fe actúa como portador de electrones en la fotosíntesis y la respiración. Forma también parte esencial de la ferredoxina y posiblemente de la nitrato reductasa, activando también algunas otras enzimas. Las plantas pueden absorber el hierro en sus estados de oxidación Fe^{2+} (hierro ferroso) y Fe^{3+} (hierro férrico). El Fe es de gran importancia en los sistemas redox biológicos y puede funcionar como componente estructural o como cofactor enzimático. Forma parte estructural de: citocromo (paso final de la respiración), citocromo oxidasa (transporte de electrones), catalasa, peroxidasa y ferredoxina; es necesario para la reducción del nitrato y sulfato, la

asimilación del N atmosférico y la producción de energía (NADP); también se encuentra asociado con la síntesis de la clorofila (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Cloro

El Cl es un micronutriente esencial para las plantas y su función se le relaciona con la evolución del oxígeno en el proceso de fotosíntesis, especialmente unida al fotosistema II en los cloroplastos. El cloro es absorbido por las plantas tanto por la raíz como por vía aérea en forma de Cl^- . En ausencia de Cl^- , los cloroplastos se deterioran rápidamente con la luz, Este nutrimento aumenta la presión osmótica celular y participa en la regulación del nivel de turgencia de la planta, a través de la regulación de la apertura y cierre de estomas (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Manganeso

El Mn activa una o más enzimas en la síntesis de los ácidos grasos, es absorbido por la planta como Mn^{2+} . Activa también la enzima responsable de la formación del DNA y RNA, actuando también en la enzima: deshidrogenasa en el ciclo de Krebs. Participa directamente en la producción fotosintética de oxígeno molecular O_2 a partir de H_2O y puede tomar parte en la formación de la clorofila (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Boro

La función más conocida del B es la transportación de azúcares a través de la planta; también participa en la síntesis del ácido giberélico y en el

metabolismo del ARN. El B es absorbido por la planta como ácido bórico ($B(OH)_3$) y como anión borato $B(OH)_4^-$. El papel que desempeña el B en la germinación del polen y su viabilidad, es de gran importancia (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Zinc

Es fundamental en la síntesis de auxinas, especialmente en la ruta metabólica del triptófano que conduce a la formación del ácido indolacético. El Zinc es absorbido principalmente en forma Zn^{2+} ó en condiciones de pH alto, como $ZnOH^+$. Las enzimas que requieren zinc para su actividad, son: anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenasa, alguna piridina nucleótido deshidrogenasa, glucosa-fosfato deshidrogenasa y trifosafato deshidrogenasa. Activa las enzimas alcohol deshidrogenasa, ácido láctico deshidrogenasa, ácido glutámico deshidrogenasa y carbopeptidasa. (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Cobre

El Cu, por su importancia en procesos redox, es un nutrimento con características similares a las del hierro. El cobre se absorbe por las plantas principalmente de forma activa como Cu^{2+} . El Cu es un componente de la proteína del cloroplasto denominada plastocinina, que toma parte en el sistema de transporte de electrones en el fotosistema I y II; también participa en el metabolismo de las proteínas y carbohidratos, en la fijación del N atmosférico y es un componente de las enzimas (citocromo oxidasa, polifenol oxidasa y

ácido ascórbico oxidasa), las cuales reducen el oxígeno molecular (O₂), al catalizar procesos de oxidación (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Molibdeno

Su función parece estar relacionada con las reacciones de transferencia de electrones. El Mo es constituyente de las enzimas nitrato reductasa y nitrogenasa; la primera, indispensable en la reducción de los nitratos, la segunda, en la fijación biológica de nitrógeno (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Carbono

El C es el constituyente de todos los compuestos orgánicos encontrados en las plantas (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Hidrógeno

El H es el constituyente de todos los compuestos orgánicos en los cuales el carbono también se encuentra formando parte. Es muy importante su acción en el intercambio de cationes en la relación planta-suelo (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Oxígeno

El O forma parte de la mayoría de los compuestos orgánicos de las plantas. Solamente unos pocos de estos compuestos orgánicos, como, por ejemplo, el caroteno, no contienen oxígeno. También da lugar al intercambio de aniones entre las raíces y el medio exterior. Es, receptor terminal de electrones en la respiración aerobia. (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

Formas de Absorción y Transporte del Nitrógeno por las Plantas

Nitrato y amoniaco son las dos formas de nitrógeno presentes en el suelo y utilizadas por las plantas. Ambas pueden ser tomadas y metabolizadas por las plantas, sin embargo, la mayor parte de las plantas toman el nitrato, que es el más rápidamente asimilado (Haiquim, 1998).

La absorción más generalizada por las plantas es en forma de nitrato y amonio, sin embargo el nitrógeno en esta forma no puede ser directamente empleado por la planta, sino que debe reducirse hasta amoniaco, antes de que pueda ser incorporado a los compuestos nitrogenados de la planta (Devlin y Smith, 1986).

Las plantas cultivadas y muchas especies nativas absorben la mayor parte del nitrógeno en forma de NO_3^- , debido a que el NH_4^+ , es oxidado a NO_3^- ($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$) con mucha rapidez por bacteria nitrificantes, sin embargo, comunidades clímax de coníferas y pastos absorben casi todo el nitrógeno en forma de NH_4^+ debido a que la nitrificación es inhibida por un pH bajo del suelo o por taninos y compuestos fenólicos (Haynes y Goh, 1978).

Sitios de Asimilación de Nitrato

Las raíces de algunas especies pueden extraer todo el nitrógeno que necesitan a partir de NO_3^- , mientras que las raíces de otras especies dependen de las partes aéreas para obtener el nitrógeno orgánico. La mayor parte la

reducción de NO_3^- ocurre en el sitio de absorción (raíz o parte aérea) (Salisbury, 1992).

Las cantidades relativas de NO_3^- y nitrógeno orgánico en el xilema, dependen de las condiciones ambientales. Incluso plantas que por lo común no traslocan mucho NO_3^- , lo hacen si se proporcionan al suelo grandes cantidades de este ión, o si las raíces se encuentran bajo condiciones de bajas temperaturas (Andrews, 1986). En estas condiciones, la reducción de NO_3^- en raíces no puede seguir el ritmo contra el paso del transporte de nitrato hacia las partes aéreas. Por lo tanto hay reducción de nitrato a amonio en hojas y tallos, en especial durante días soleados (Andrews, 1986).

Absorción de Amonio por la Planta

El nitrógeno es el cuarto elemento más abundante que se encuentra en el tejido vegetal después del carbono, oxígeno e hidrógeno, además éste es parte importante de un gran número de los constituyentes de las plantas, proteína y clorofila, entre otros.

Las plantas pueden aprovechar el nitrógeno en forma de nitrato o amonio, por lo que en hidroponía es posible utilizarlos en las soluciones nutritivas (González *et al.*, 2009).

Se tiende a argumentar sobre el uso de amonio en hidroponía debido a que tiene mucha influencia en el crecimiento y calidad de muchos cultivos. Si solamente tenemos nitrato y es absorbido, este sufre una reducción a amonio y para esto se requiere de energía por parte de la planta. Existe una enzima

llamada “nitrato reductasa” y es la que se encarga de este proceso, para acortar este proceso se recomienda agregar directamente el amonio a la planta y así el crecimiento puede incrementarse y la planta tendría más reservas disponibles para su desarrollo (Morgan, 2000).

La absorción de amonio desde la solución nutritiva debe ser regulada con cuidado, debido a que existen rangos de tolerancia y también depende de la presencia de nitratos. Si el amonio se suministra en exceso y es absorbido por la planta, puede causar un rápido y excesivo crecimiento vegetativo, pero a su vez puede ocasionar toxicidad, por lo que se recomienda que el amonio no exceda el 15 %. Sin embargo, esto depende del tipo de cultivo ya que las plantas difieren en la tolerancia del amonio y también depende de las condiciones ambientales como temperatura y luz (Gallegos *et al.*, 2000).

Los síntomas de toxicidad por amonio varían dependiendo del cultivo y de la cantidad agregada de amonio en la solución nutritiva. El primer síntoma puede ser amarillamiento, en algunos cultivos como tomate y berenjena ocurren lesiones foliares y las hojas se curvan hacia arriba y si no es corregido a tiempo la planta dejará de crecer (Morgan, 2000).

La toxicidad debido a altos niveles de amonio en la zona radical puede ser prevenida o corregida si el pH de la solución nutritiva se mantiene en 7 (neutro), si el pH disminuye la planta presentará toxicidad. En experimentos realizados con ejotes, pepino y arveja cultivados solo con amonio, mantienen su crecimiento normal si el pH se mantiene neutro y en plantas que recibieron

el mismo tratamiento de nutrición y sin control de pH las plantas presentaron toxicidad (Morgan, 2000).

La mayoría de las especies vegetales prefieren nitrato, en lugar del amonio, que al aplicarlo en altas concentraciones resulta tóxico para el metabolismo de las plantas, por lo que se sugiere aplicar amonio a la solución nutritiva en menor cantidad que nitrato (Steiner, 1984).

Se conoce que la forma $N-NO_3^-$ es preferencialmente absorbida por la mayoría de las plantas vasculares, mientras que la forma $N-NH_4^+$ resulta tóxica para muchas de ellas, incluso en bajas concentraciones, ya sea cuando es la única fuente de nitrógeno o en combinaciones con nitrato (Bugarín *et al.*, 1998).

No obstante, se ha demostrado que el amonio es preferentemente absorbido por la planta, en lugar de nitrato, cuando su concentración es mayor que 10 % del nitrógeno total presente en la solución y que la adición de amonio a la solución nutritiva en concentraciones menores que 30 % del nitrógeno total permite incrementar las tasas de crecimiento en las plantas y tienen un efecto favorable en el número de inflorescencias, tallos y color verde de las hojas (Bugarín *et al.*, 1998).

En hidroponía, las cantidades estándar de amonio incorporadas en las soluciones nutritivas varían de un 5 al 10 % del nitrógeno total y difícilmente excederá 15 %. La adición de amonio ocurre simplemente durante el crecimiento del cultivo en relación con el pH en el ambiente de la zona radical,

lo que provoca que disminuya el pH en el entorno de las raíces, debido a una activación en la absorción de amonio y una disminución en la absorción de nitrato. El pH óptimo en la solución está entre 5 y 6 para casi todos los cultivos (Sonneveld y Voogt, 2009).

Hageman (1992), Maldonado (1993), Salisbury y Ross (1994) han documentado ampliamente que las plantas pueden utilizar nitrato y amonio como fuente de nitrógeno para obtener la máxima productividad de la cosecha. Mengel y Kirkby, (2000) reportaron los resultados de diversos trabajos, a partir de las cuales se estableció que muchas especies de plantas crecen mejor cuando son suministradas con nitrato que con sales de amonio. Sin embargo Bugarín *et al.* (1998) reporta que en crisantemos la biomasa total, en términos de peso fresco y seco fue mayor con el nivel más alto de amonio, es decir, que a mayor concentración de amonio mayor fue la acumulación de materia seca total. Por su parte Gallegos *et al.* (2000), indican que cuando se aplica una proporción óptima de nitrato y amonio a la solución nutritiva, esta favorece el crecimiento y rendimiento de la planta, mientras que una absorción y acumulación excesiva de amonio puede causar toxicidad.

De acuerdo con Sandoval (1992), en el caso del trigo (*Triticum aestivum* L.), es posible tener una mayor producción de grano y de materia seca cuando se emplea amonio en relaciones menores que o iguales a 50% de la cantidad de nitrógeno, que cuando la planta es suministrada exclusivamente con nitrato.

Está documentado que varias especies de plantas pueden incrementar su crecimiento con aportes combinados de nitrato y de amonio comparado con cualquiera de las dos formas de nitrógeno por separado, sin embargo, hay diferencias importantes entre especies y cultivares de plantas con respecto a la concentración de amonio y nitrato que puede ser tolerada (Claussen y Lenz, 1999).

Griffith y Streeter (1994) reportaron que bajo temperaturas frías y condiciones de suelo húmedo el amonio es la forma nitrogenada más importante para el crecimiento y desarrollo de algunas plantas.

Se ha demostrado que un adecuado balance entre el amonio y el nitrato hace máxima la eficiencia y absorción de nitrógeno y promueve mejor el crecimiento de las plantas, pero solo bajo ciertas circunstancias, este efecto benéfico varía entre cultivos (Bugarín *et al.*, 1998)

Cultivos Hidropónicos del Tomate y la Nutrición con Amonio

La planta de tomate es propensa a la toxicidad de amonio y los síntomas incluyen una tasa reducida de crecimiento y daño foliar, así como un descenso en la absorción de calcio y magnesio. Plantas expuestas a nutrición con amonio como única fuente de nitrógeno, desarrollan síntomas típicos de toxicidad con pudrición en el fruto (Hoff *et al.*, 1974). Estos síntomas típicos incluyen plantas pequeñas y deformes con hojas verdes muy oscuras y pobremente desarrolladas y sistema radicular atrofiado. Teóricamente el amonio podría ser utilizado más eficientemente que el nitrato. Si las plantas

tomaran solo amonio, no necesitarían convertir el nitrato a amonio dentro de la célula lo cual requiere energía. Sin embargo, esto no es posible ya que el nitrógeno al ser suministrado en forma de amonio, las reacciones toxicas de la acumulación de amonio anularían el potencial de eficiencia de asimilación.

Nitrato / Amonio en las Plantas

Las plantas pueden aprovechar el nitrógeno en forma de NO_3^- o NH_4^+ , por lo que en hidroponía es posible utilizar nitrato y amonio en las soluciones nutritivas. Se ha argumentado que en cualquiera de las dos formas es benéfico o de igual forma puede causar desbalances nutrimentales en la solución nutritiva. Se ha demostrado que un adecuado balance entre el amonio y el nitrato es benéfico para el crecimiento de las plantas, pero sólo bajo ciertas circunstancias, este efecto benéfico varía entre cultivos (Mengel y Kirkby, 1987).

En muchos cultivos se ha observado que la combinación de NO_3^- con bajas cantidades de NH_4^+ produce un mayor crecimiento; sin embargo, la proporción óptima probablemente difiere entre las distintas especies y podría cambiar con la edad de la planta (Haynes, 1986). Por otro lado, Mengel y Kirkby (1987) reportaron que muchas especies vegetales crecen mejor cuando el nitrógeno se suministra en forma de NO_3^- comparado con NH_4^+ .

El nitrógeno en forma NO_3^- es preferentemente absorbido por la mayoría de las plantas vasculares, mientras que la forma NH_4^+ resulta tóxica para

muchas de ellas, incluso en bajas concentraciones cuando ésta es la única fuente de nitrógeno o en combinación con N-NO_3^- (Salsac *et al.*, 1987).

Relaciones ($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$) en Estudios de Nutrición Vegetal

Se han llevado a cabo muchos estudios para observar el efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en cultivos sin suelo. Al parecer, la relación óptima varía considerablemente entre cultivos. Aunque estudios previos señalan que del total de nitrógeno que utiliza la planta de tomate, es posible suministrar hasta 15% en forma de nitrógeno amoniacal o urea, o bien 7.5% de cada uno, sin afectar el rendimiento final del cultivo (Parra *et al.*, 2012). Por su parte Sandoval *et al.*, (2001) indican que ni la concentración de amonio ni el tiempo de suministro, afectan el rendimiento de tomate, aunque se incrementa la cantidad de frutos con pudrición apical en tanto se incrementa la concentración de amonio en la solución. Mientras que otros estudios señalan que la combinación entre nitrato/amonio genera mayores rendimientos, que si se aplican cada uno por separado (González *et al.*, 2009), por lo que encontrar la combinación ideal para cada cultivo resulta de interés.

Morgan (2000) señala que en un estudio realizado con plantas de pimiento, la relación de amonio/nitrato afectó la absorción de algunos nutrimentos tales como el potasio, calcio y magnesio. Las plantas fueron cultivadas con ambas formas nitrogenadas en una relación de 20 % de amonio y 80 % de nitrato, esta última tuvo una baja absorción de nutrimentos por la luminosidad a diferencia de las plantas a nutridas con nitrato. Al momento de hacer los análisis la relación de amonio y nitrato tuvo un decrecimiento en

altura, peso total y rendimiento, pero cuando la luminosidad es baja las plantas a las que se les suministró nitrato y amonio incrementaron en la altura, en rendimiento y el peso total en un 10 %, en comparación a las que solamente fueron nitrogenadas con nitrato.

Jeong y Lee (1999) señalan que, una relación de 15 % de amonio y 85 % de nitratos, encontraron mejores resultados en el crecimiento de plántulas de chile. Mientras que dosis altas causan toxicidad y disminuyen el crecimiento (Siddiqi *et al.*, 2002). Por su parte Preciado *et al.*, (2008) reportó que las concentraciones menores a 1.8 me L^{-1} dan como resultado mayor peso seco, área foliar y contenido de clorofila en las plantas en comparación a cuando son mayores de 3 me L^{-1} , ya que la planta sufre toxicidad por amonio y el contenido de clorofila disminuye.

González *et al.*, (2009) reportó que cuando utilizó una relación de 20/80 ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$), observó una mayor respuesta de la planta de chile habanero, obteniendo una mayor altura, área foliar y biomasa total, a diferencia de los valores obtenidos en plantas tratadas con soluciones nutritivas que únicamente contenían alguna de la fuente individual de nitrógeno.

Kyunghwan y Yongbeom (2004) reportaron un incremento en la producción de biomasa en albahaca, al utilizar relaciones de nitrato/amonio de 30:70 y 15:85 que son resultados parecidos a los reportados por Miyoung y Byoungryong (2001) quienes utilizaron una relación 25/75 de amonio/nitrato en el cultivo de petunias.

Morgan (2000) demostró en plantas de lechuga, la presencia de amonio en la solución nutritiva produce quemadura de puntas (tipburn) a diferencia de las fertilizadas con nitrato y que la absorción de calcio es estimulada por el nitrato y bloqueada por el amonio. En este trabajo se reporta un mayor crecimiento en las plantas de lechuga con un incremento de amonio y un pH entre 6.0 y 7.0.

Palaniswamy *et al.*, (2000) realizaron un estudio en el que evaluaron cuatro relaciones amonio/nitrato (0/100, 25/75; 50/50; 75/25) en la solución nutritiva en Verdolaga (*Portulaca oleracea*) reportando que el número de ramas, el peso fresco de parte aérea y los pesos secos de parte aérea y hojas no tuvieron diferencias significativas, mientras que la altura de planta fue mayor con el tratamiento al que se le agregó una pequeña dosis de amonio (25/75).

Meira (2008) evaluó cuatro relaciones de amonio/nitrato (0/100, 25/75, 50/50, 75/25) en el cultivo ornamental de colleja (*Silene vulgaris*) y reportó que al incrementar amonio en la solución nutritiva con un porcentaje de 25/75 obtuvo mayores alturas, el mayor contenido de clorofila y el mayor peso seco y rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Sitio Experimental

La evaluación agronómica se realizó en un invernadero de mediana tecnología del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila (ubicada a 25° 21´ 24´´ Norte y 101° 02´ 05´´ Oeste, a una altitud de 1762 msnm, con una precipitación media de 400mm y una temperatura media anual oscilante entre 12 y 18 °C.

Formación de los Injertos

El material genético utilizado como porta injerto fue el Silex de Fito Seeds, y como variedad injertada el Arrojado de Gene Seeds.

Para la formación de las plantas injertadas, el portainjerto y la variedad se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, usando Peat moss y perlita en una proporción 80:20 respectivamente, se sembró primero la variedad el Arrojado y 4 días después el portainjerto Silex, para darle una adecuada sincronización. El proceso de injerto se realizó 25 días después de

haber sembrado el portainjerto, el tipo de injerto utilizado fue el de púa cuyos cortes se realizaron con una navaja cúter nueva y desinfectada con una solución con 20 ppm de cloro, después en cada planta injertada se usaron clips de soporte de 2.5 mm, esto para prevenir la contaminación en la zona de corte de cada planta injertada. Las charolas con plantas injertadas se llevaron a una cámara de prendimiento, con microclima a una temperatura de 23 a 25°C y humedad relativa de 80 a 90 %, las primeras 48 horas en oscuridad total y los siguientes 6 días con baja radiación, pasado los 8 días, las plantas injertadas fueron llevadas a invernadero para adaptación y aclimatación en un ambiente de 23 a 27 °C, con humedad relativa entre 75 a 85%.

El logro de injertos permitió cumplir con el Factor A (1.- con injerto y 2.- sin injerto) y con las cuatro relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ se completaron los tratamientos cuatro tratamientos del factor B, dando origen al factorial 2x4, las relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ se muestran en el Cuadro 1 y la lista de los tratamientos se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 1. Composición de la solución nutritiva utilizada para la producción de tomate injertado y sin injertar.

Relación (%)	HCO_3^- y CO_3^{2-}									
	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	Cl^-	CO_3^{2-}	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Miliequivalentes L^{-1}									
100/0	12	1	8	1.9	1	0	7	4.2	8.4	4
92/8	11	1	9	1.9	1	1	7	4.2	8.4	4
85/15	10.2	1	9.8	1.9	1	1.8	7	4.2	8.4	4
80/20	9.6	1	10.4	1.9	1	2.4	7	4.2	8.4	4

Establecimiento en Campo y Manejo del Cultivo

El trasplante se realizó 15 días después de haber realizado el proceso de injerto, manteniendo el clip de soporte en la zona de injerto. El cultivo fue trasplantado el 6 de mayo de 2016, utilizando macetas con capacidad de 10 litros y como sustrato peat moos + perlita en una relación 80:20 respectivamente, bajo un arreglo experimental de bloques al azar con 4 repeticiones. Cada unidad parcela útil con cuatro plantas y 8 tallos, la distancia entre plantas fue de 25 cm y entre surcos de 1.8 m. a doble tallo cada una. Las soluciones nutritivas utilizadas se elaboraron con referencia en la solución nutritiva Steiner (1964) y ajustadas de acuerdo a los tratamientos aplicados y la composición elemental del agua, fueron suministradas de acuerdo a la etapa de crecimiento, el 50% al trasplante, 75% a los 20 días después del trasplante, hasta 100% una vez iniciada la floración y fructificación hasta el término del ciclo, utilizando el 20 % de drenaje. Para la prevención de plagas (mosca blanca, trips, paratrioza) se realizaron aplicaciones semanales Spirotetramat al 15.3%, Spiromesifen al 23.1 %, Imidacloprid 17% + cylvutrn 12% a razón de 1 ml/L⁻¹ y metomilo 90%, a razón de 1 gr/L⁻¹.

Cuadro 2. Lista de tratamientos estudiados en el cultivo de tomate de baja tecnología.

Tratamientos	Factor A	Factor B Relación NO ₃ ⁻ / NH ₄ ⁺ (%)
1	Con portainjerto	100/0
2	Con portainjerto	92/8

3	Con portainjerto	85/15
4	Con portainjerto	80/20
5	Sin Portainjerto	100/0
6	Sin Portainjerto	92/8
7	Sin Portainjerto	85/15
8	Sin Portainjerto	80/20

Mediciones de Rendimiento de Fruto y sus Componentes

Los gramos de fruta por tallo (GrFT), se estimó pesando todos los frutos de la parcela útil mediante una balanza digital de precisión SARTORIUS modelo TS 1352Q37. Después de pesar los frutos se contó el número de frutos (NFT) que se cosecharon por tallo y parcela útil, considerando el total de cortes. El peso promedio de fruto (PPF), se calculó dividiendo el peso total de frutos por parcela útil entre número total de frutos por parcela útil, mientras que el diámetro ecuatorial, diámetro polar del fruto (DEF, DPF) fue estimado tomando al azar ocho frutos por parcela en cada corte, utilizando para ello un vernier digital marca Autotec[®]. La distancia entre racimos (DER) y longitud de raíz (LR) se estimaron mediante una cinta métrica, mientras que el peso fresco de raíz, peso seco de raíz, peso fresco y seco de tallo (PFR, PSR, PFT y PST respectivamente) se estimó con una balanza digital de precisión SARTORIUS modelo TS 1352Q37.

Mediciones de Calidad de Fruto

Para estimar el contenido de sólidos solubles totales (SST) se utilizó un refractómetro Atago N-1E[®] y expresada en (°Brix). El potencial hidrogeno (pH) del fruto se determinó con un pHímetro pHep[®] de la marca Hanna. La firmeza

del fruto se determinó con un penetrométo Fruit Pressure Tester modelo FT-327 de 13 kg con una puntilla de 6 mm.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SAS versión 9.1, se empleó el modelo estadístico para un factorial de 2*4, con significancia ($p \leq 0.05$), con cuatro repeticiones, y la comparación de medias LSD al ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

Para la variable gramos de fruto por tallo (**Figura 2**) no se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, aunque en el tomate injertado se mostro un ligero incremento de rendimiento del 2.02 %, que resulta inferior al incremento en el rendimiento de 35% reportado por Chew *et al.*, (2012), 8 % de Peil y Gálvez (2004) en tomate injertado respecto al tomate sin injertar y de 28 a 30% de incremento en la calidad de tomate bola (Báez *et al.*, 2010).

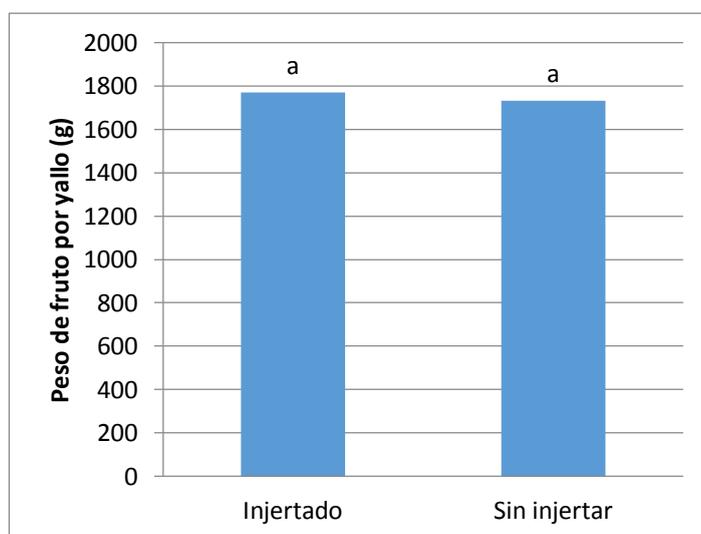


Figura 2. Comparación de medias gramos de fruta cosechada por planta en tomate injertado y sin injertar.

En la variable NFP (**Figura 3**) tampoco se encontraron diferencias estadísticas significativas (LSD $p \leq 0.05$), sin embargo Chew *et al.*, (2012) reportan incrementos de 17.6 % y 5 %, resultados obtenidos que muestran los beneficios que genera el portainjerto a la variedad en la calidad del fruto cosechado, por tanto el injerto debe considerarse en los sistemas de agricultura protegida, como innovación tecnológica que permite incrementar no solo el rendimiento por unidad de superficie, también la calidad de los frutos cosechados (Rouphael *et al.*, 2010).

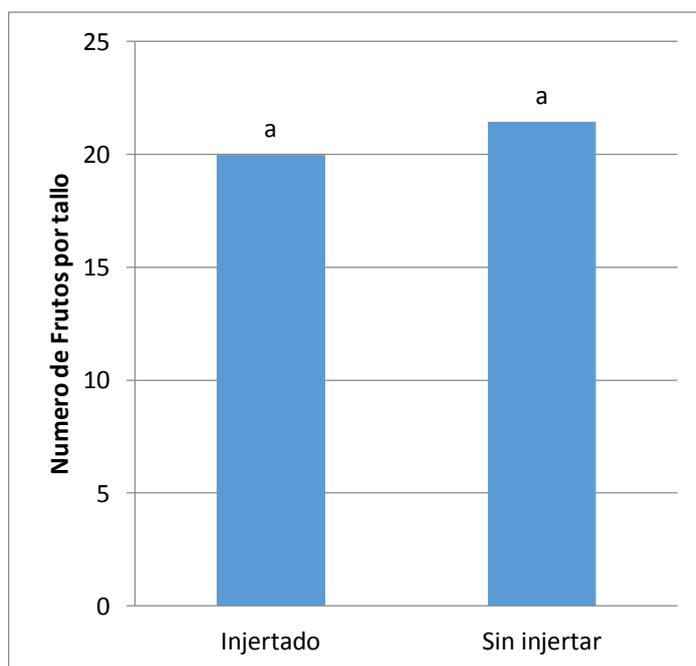


Figura 3. Medias del número de frutos por planta en tomate injertado y sin injertar.

En el PPF (**Figura 4**) no se encontró diferencia significativa (LSD, $p \leq 0.05$) entre tratamientos, sin embargo, al utilizar la técnica de injerto en

tomate se genera un incremento de 9.85% en esta variable, respecto del tomate sin injertar, coincidiendo con Chew *et al.*, (2012) quien reporta incrementos del 14.88%, mientras que Peil y Gálvez (2004) reportan incrementos de 3.63 %.

Para las variables diámetro polar y diámetro ecuatorial del fruto (Cuadro 3) se encontró diferencia significativa entre tratamientos, indicándonos que el uso del injerto genera un incremento de 3.54 y 3.63% respectivamente, respecto del tomate sin injertar, esto coincide con resultados reportados por Chew *et al.* (2012); Miguel *et al.* (1997) y Khaled *et al.* (2006) quienes reportan que plantas injertadas en tomate igualan o mejoran el tamaño del fruto con respecto a las plantas sin injertar.

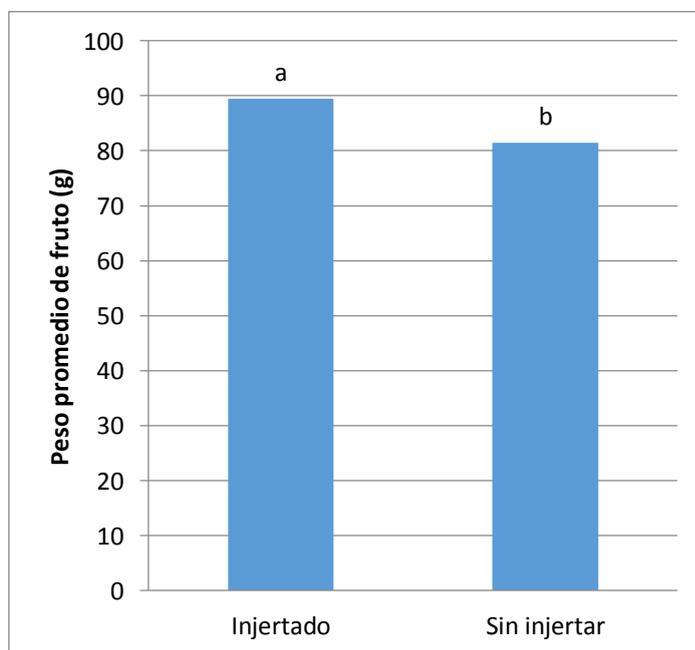


Figura 4. Medias de peso promedio fruto en tomate injertado y sin injertar.

Para las variables SST(°Brix) y firmeza de fruto (Cuadro 3) se encontró diferencia significativa entre tratamientos, indicando que el uso de la técnica del injerto en tomate tiene un efecto positivo, incrementando un 5.03 y 2.39% respectivamente, respecto del tomate sin injertar, esto coincide con Chew *et al* (2012) quienes reportan un incremento del 27% respecto a la firmeza del fruto y Miguel (2005), quien menciona que el uso del injerto no debe de modificar negativamente la calidad del fruto; al igual que Miguel (1997) y Khaled *et al.* (2006) en donde reportan una mayor calidad del fruto al utilizar plantas injertadas.

En cuanto a la variable PH no se encontró diferencia significativa entre tratamientos, esto concuerda con Chew *et al.* (2012) quienes reportan que no hubo diferencias en esta variable entre plantas injertadas y no injertadas.

Cuadro 3. Análisis de varianza y comparación de medias de variables de calidad de fruto en tomate injertado y sin injertar.

	DPF (mm)	DEF (mm)	SST (°Brix)	Firmeza (Kg cm ⁻²)	pH
Injertado	63.07 a	54.49 a	3.96 a	8.98 a	4.22 ^{&} a
Sin injertar	60.91 b	52.58 b	3.77 b	8.77 b	4.2 a
	**	**	**	*	Ns
CV(%)	3.33	3.74	6.14	4.78	1.74
GLE	88	88	88	88	88

*, **=significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente, Ns= no significativo, GLE= grados de libertad del error, &= media seguida de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales DMS=(p<=0.05) , DPF= diámetro polar de fruto, DEF= diámetro ecuatorial de fruto, SST= sólidos solubles totales, pH= potencial Hidrogeno.

En cuanto a las variables DTP, PFR, PSR, LR, DER, PFT y PST se encontró diferencia significativa entre tratamientos, indicándonos que al usar la técnica de injerto en tomate se observan incrementos estadísticamente positivos con 1.88, 13.03, 46.03, 29.02, 2.52, 3.3 y 9.18 % respectivamente respecto del tomate sin injertar (Cuadro 4). El incremento en sistema radicular y la parte aérea del tallo de la planta, indica que el portainjerto genera una mayor capacidad de acumulación de materia fresca y seca en el tallo y las raíces, así como una mayor longitud de los mismos, derivada de una mayor capacidad de asimilación, absorción y transporte nutrimental por parte de las raíces del portainjerto, hasta los sitios de demanda de la variedad, tal como lo reporta (Colla *et al.*, 2010; Savvas *et al.*, 2010; Khah *et al.*, 2006) y San Bautista *et al.*, (2011) que reportan incrementos de 30% en peso seco aéreo en melón injertado.

Cuadro 4. Análisis de varianza y comparación de medias de variables de caracteres morfo anatómicos evaluados en tomate injertado y sin injertar.

	DTP	PFR	PSR	LR	DER	PFT	PST
	(mm)	(g)	(g)	(cm)	(cm)	(g)	(g)
Injertado	14.08 a ^{&}	107.90 a	15.54 a	53.83 a	28.43 a	239.32 a	52.08 a
Sin injertar	13.82 b	95.46 b	10.64 b	41.72 b	27.73 b	231.66 b	47.70 b
	*	*	**	**	**	*	*
CV(%)	3.52	19.07	29.3	14.65	2.16	7.31	13.24
GLE	88	88	88	88	88	88	88

*,**=significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente, GLE= grados de libertad del error, &= media seguida de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (DMS,p≤0.05), DTP=

diámetro de tallo principal, PFR= peso fresco de raíz, PSR= peso seco de raíz, LR= longitud de raíz, DER= distancia entre racimos, PFT=peso fresco de tallo y PST= peso seco de tallo.

Relación Nitrato/Amonio

Se encontraron diferencias significativas entre las diferentes relaciones Nitrato /Amonio para la variable GrFT cosechados (**Figura 5**) (LSD, $p \leq 0.05$), generando estadísticamente mayor rendimiento al aplicar una relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 92/8 seguido de 85/15 %, los cuales fueron estadísticamente iguales, en tanto que si no se aplica amonio (100/0) o bien si se excede en su aplicación (80/20) el rendimiento disminuye alrededor de 12%. El NFT también se incrementó con la relación 92/8 seguido de 85/15%, con un incremento de 5.04 % respecto de la fertilización con solo nitrógeno nítrico (100/0) (**Figura 6**) (LSD, $p \leq 0.05$), aunque éstos tratamientos fueron también estadísticamente iguales a la relación 80/20.

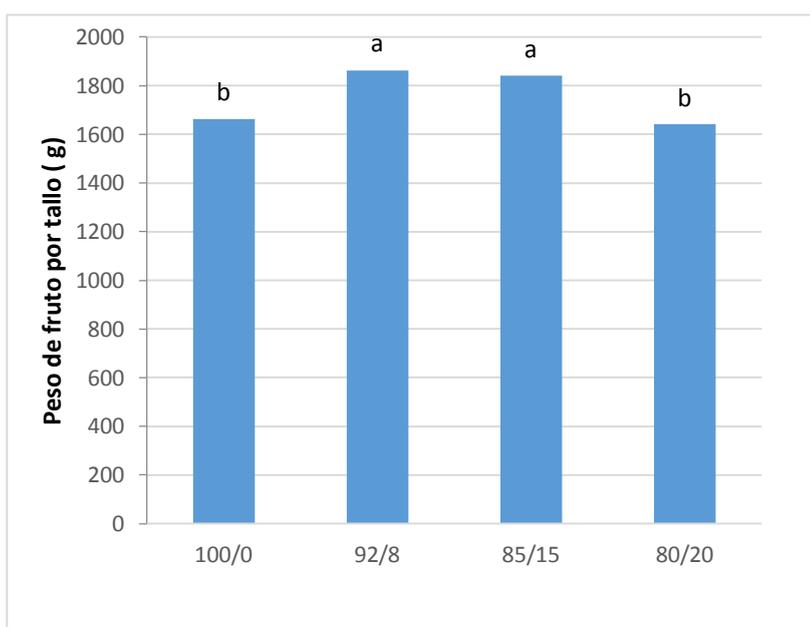


Figura 5. Comparación de medias para la variable gramos por tallo, en el cultivo de tomate en invernadero de baja tecnología.

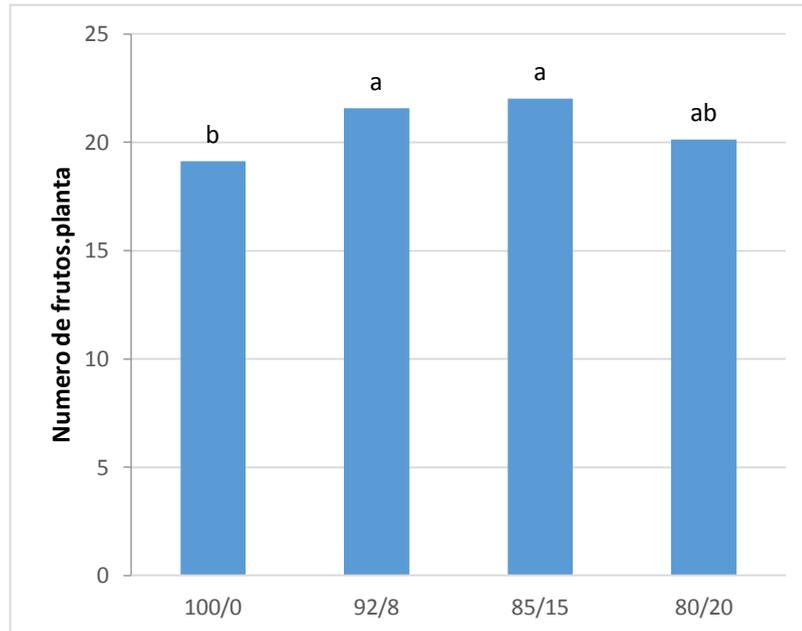


Figura 6. Comparación de medias de número de fruto por tallo en el cultivo de tomate, en respuesta a la aplicación de diferentes relaciones de nitrato/amonio.

La relación de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 100/0, 92/8 y 85/15 %, en cuanto a PPF generan una respuesta estadísticamente similar, sin embargo se observa que como aumenta el nivel de amonio en la solución, el peso promedio de los frutos disminuye, observándose en la relación de 80/20 una disminución de 6.88% respecto del tomate cultivado únicamente con nitrógeno nítrico (**Figura 7**) (LSD, $p \leq 0.05$), los resultados encontrados indican que del total de nitrógeno requerido, es posible suministrar a la solución nutritiva de 0 a 8 % en forma de nitrógeno amoniacal (NH_4^+), para lograr el mayor PPF. Lo que concuerda con Parra *et al.*, (2012) quienes señalan un 15 % como óptimo, para cultivo de tomate en tezontle o bien 7.5% de amonio y urea sin afectar el rendimiento final del cultivo, además de que el contenido de fósforo se incrementa con la relación 85% de NO_3^- /15% de NH_4^+ adicionado con 9 mol m^{-3} de K, contrario a lo que reporta Sandoval *et al.*, (2001) quienes señalan que ni la concentración

amonio ni el tiempo de suministro, afectan el rendimiento de tomate, aunque si se producen más frutos con pudrición apical conforme se incrementa la concentración de amonio en la solución, esto debido a la rápida absorción de este catión por parte de las plantas y a la baja movilidad de Ca^{++} (Parra *et al.*, 2012).

Para las variables DPF, DEF, SST, Firmeza y pH no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes relaciones nitrato/amonio estudiadas en ésta investigación, lo cual indica que el contenido de amonio no afecto significativamente a las citadas variables mencionadas (Cuadro 5).

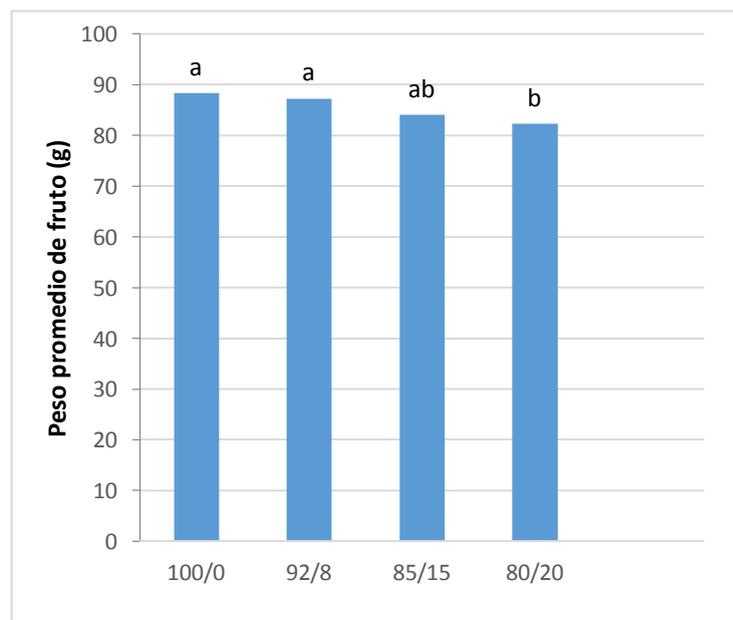


Figura 7. Comparación de medias de peso promedio de fruto de tomate en respuesta a la aplicación de diferentes relaciones de nitrato/amonio.

Cuadro 5. Análisis de varianza y comparación de medias de variables de calidad de fruto evaluados en tomate cultivado bajo diferente relación nitrato/amonio en la solución nutritiva aplicada.

	DPF	DEF	SST	Firmeza	PH
% (NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺)	(mm)	(mm)	(°Brix)	(Kg cm ⁻²)	
100/0	62.6 a	54.18 a	3.89 a	8.93 a	4.20 a
92/8	61.43 a	53.61 a	3.85 a	9.00 a	4.23 a
85/15	62.31 a	53.66 a	3.86 a	8.68 a	4.21 a
80/20	61.61 a	52.69 a	3.87 a	8.89 a	4.21 a
	Ns	Ns	ns	ns	ns
CV(%)	3.33	3.74	6.14	4.78	1.74
GLE	88	88	88	88	88

ns= no significativo, GLE= grados de libertad del error, &= media seguida de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales DMS=($p \leq 0.05$), DPF= diámetro polar de fruto, DEF= diámetro ecuatorial de fruto, SST= sólidos solubles totales, PH= potencial hidrogeno.

En cuanto al contenido de amonio disuelto en la solución nutritiva aplicada al cultivo de tomate se encontraron diferencias significativas, indicando que este induce mayor PFR y PSR al aplicar una relación NO₃-/NH₄⁺ de 85/15 % respectivamente (Figura 8 y 9), efectos similares reporta Parra *et al.*, (2012) en tomate, en tanto que si se aplica una relación de 92/8 %, o si no se aplica amonio (100/0) el PFR y PSR disminuyen entre 11 y 18 % respectivamente, o bien si se suministra la relación NO₃-/NH₄⁺ de (80/20) la acumulación de PFR y PSR disminuyen 28.5% y 32.6% respectivamente, en este sentido (Errebhi y Wilcox, 1990; Osorio *et al.*, 2003) señalan que realizar mezclas nitrato/amonio en la solución nutritiva generan mayor biomasa y

producción, que si se aplica solo nitrato o amonio de manera separada. Para el resto de las variables evaluadas (DTP, LR, DER, PFT, PST) no se observaron diferencias estadísticas entre promedios (Cuadro 6), lo que indica que el contenido de amonio en la solución aplicada no ejerce efecto significativo sobre estos, coincidiendo con Parra *et al.*, (2012) en DTP y PST, quienes tampoco encontraron diferencia estadística en dichas variables.

Interacciones (Injertos x Relación nitrato/amonio)

Las variables de respuesta que mostraron diferencias estadísticas en la interacción Injerto x nitrato/amonio, fueron GrFT, que manifestaron un comportamiento diferente en los diferentes porcentajes de nitrato/amonio y se observó una respuesta diferente al pasar de plantas injertadas a plantas sin injerto, manifestando una interacción. El DEF también exhibió un comportamiento diferente entre las diferentes relaciones nitrato/amonio, sin embargo éste comportamiento se modifica cuando cambia de plantas injertadas a plantas sin injertar, indicando que el uso de portainjerto modifica de diferente forma al DEF al cambiar de una relación a otra, mostrando una interacción entre los factores bajo estudio (Cuadro 7).

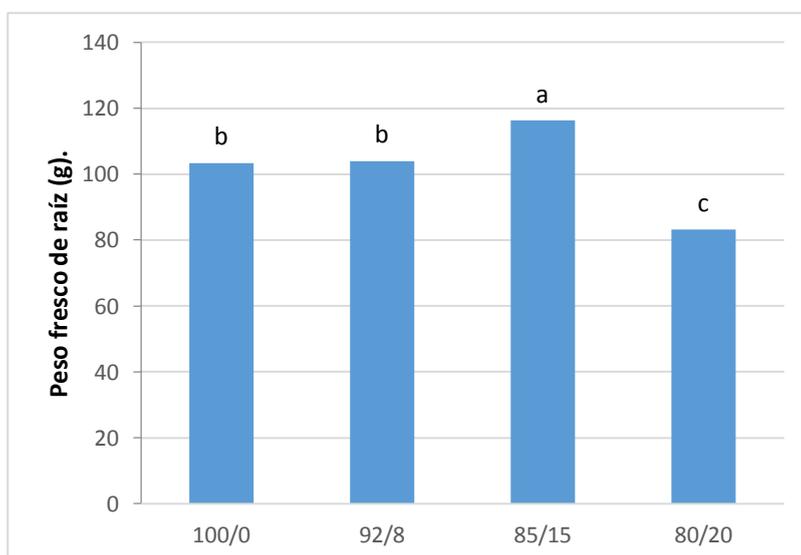


Figura 8. Comparación de medias para la variable peso fresco de la raíz en respuesta a la aplicación de diferentes relaciones de nitrato/amonio, en el cultivo de tomate.

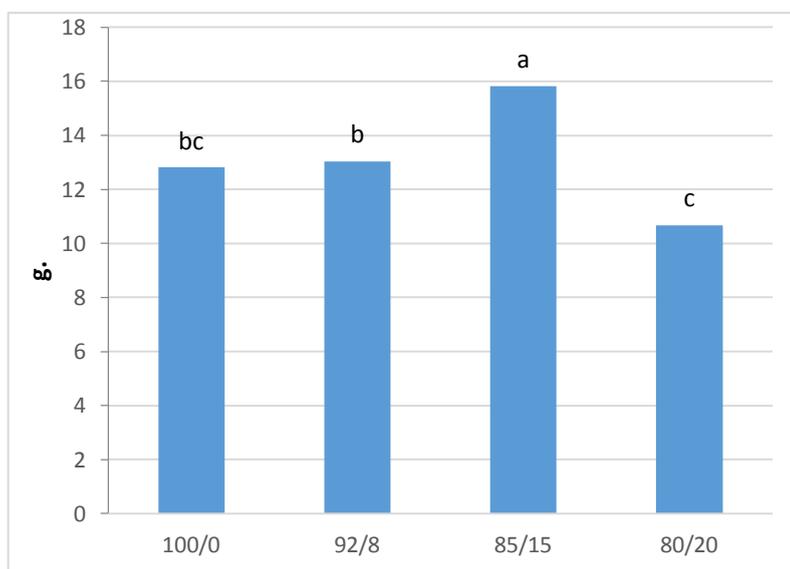


Figura 9. Comparación de medias para la variable peso seco de la raíz en respuesta a la aplicación de diferentes relaciones de nitrato/amonio, en el cultivo de tomate.

Cuadro 6. Análisis de varianza y comparación de medias de variables de caracteres morfo anatómicos evaluados en tomate cultivado bajo diferente relación nitrato/amonio en la solución nutritiva aplicada.

Relación (NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺)%	DTP (mm)	LR (cm)	DER (cm)	PFT (g)	PST (g)
100/0	14.00 a	48.20 a	28.02 a	236.45 a	47.70 a
92/8	14.03 a	48.58 a	28.12 a	232.50 a	50.41 a
85/15	13.92 a	48.33 a	28.17 a	236.97 a	50.83 a
80/20	13.87 a	46.00 a	28.01 a	236.04 a	50.62 a
	Ns	ns	ns	ns	Ns

CV(%)	3.52	14.65	2.16	7.31	13.24
GLE	88	88	88	88	88

*,**=significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente, ns= no significativo, GLE= grados de libertad del error, &= media seguida de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$), DTP= diámetro de tallo principal, PFR= peso fresco de raíz, PSR= peso seco de raíz, LR= longitud de raíz, DER= distancia entre racimos, PFT= peso fresco de tallo y PST= peso seco de tallo.

El peso fresco y seco de raíz también se fueron afectadas de forma diferencial por las relaciones nitrato/amonio estudiadas, donde la combinación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 85/15 %, fue la que presentó el mayor PFR en el caso de las plantas injertadas, sin embargo, en las plantas sin injertar el mayor PFR se observó con la relación nitrato /amonio 100/0. El mayor peso radicular en el PSR se presentó con la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 85/15 $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 85/15. Los resultados señalan que la mejor combinación es la del tomate injertado utilizando la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 85/15 %, por lo que en efecto concuerda con lo descrito por (Errebhi y Wilcox, 1990; Osorio et al., 2003) quienes señalan que al realizar mezclas nitrato/amonio en la solución nutritiva se genera mayor biomasa y producción, que si se aplica solo nitrato o amonio de manera separada, y con incremento de los rendimientos al utilizar injertos (Chew et al., 2012; Baez et al., 2010; Villasana, 2010; Peil y Gálvez, 2004).

Cuadro 7. Comparación de medias de las variables que tuvieron una interacción Injerto x nitrato/amonio en el cultivo de tomate.

		Relación nitrato/ amonio (%)		
Uso de Injerto	100/0	92/8	85/15	80/20
Gramos de Fruto por Tallo				

Injertado	1551.66 b	1839.83 a	1933.95 a	1753.75 ab
Sin injertar	1772.5 ab	1886.08 a	1749.58 ab	1527.7 b
Diámetro Ecuatorial de Fruto				
Injertado	54.84 a	54.27 ab	54.83 a	54.03 abc
Sin injertar	53.53 abc	52.96 bc	52.48 cd	51.36 d
Peso Fresco de Raíz				
Injertado	98.43 cd	117.5 b	134.58 a	81.1 e
Sin injertar	108.33 ab	90.41 cd	97.91 bc	85.2 de
Peso Seco de Raíz				
Injertado	14.79 bc	16.25 b	20 a	11.12 d
Sin injertar	10.83 b	9.83 bc	11.66 a	10.25 b

&= media seguida de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales DMS=($p \leq 0.05$), GrPP= gramos por planta, DEF= diámetro ecuatorial de fruto, PFR= peso fresco de raíz, PSR= peso seco de raíz.

CONCLUSIONES

Para el tomate cultivado en sustrato la relación nitrato/amonio de 85/15% en la solución nutritiva, genera cambios que favorecen el rendimiento y acumulación de materia seca en las raíces. Por tanto, dicha combinación resulta mejor que si se aplica solamente nitrato.

El tomate se ve favorecido con el uso de la técnica de injerto sobre todo en los parámetros de calidad de frutos en variables como; peso promedio de fruto, diámetro polar y ecuatorial, sólidos solubles totales y firmeza de fruto.

Con el injerto de tomate se mejoran caracteres morfoanatómicos de la planta como diámetro de tallos, peso fresco y seco de raíces y tallos.

El tomate se ve favorecido con el uso de la técnica de injerto, por lo que dicha técnica debería sumarse a las innovaciones tecnológicas para incrementar los rendimientos por unidad de superficie, sobre todo en los sistemas de agricultura protegida.

LITERATURA CITADA

- Avendaño Ruiz, B., & Várela Llamas, R. (2010). La adopción de estándares en el sector hortícola de Baja California. *Estudios fronterizos*, 11(21), 171-202.
- José Beltrano y Daniel O. Gimenez. 2015. "Cultivo En Hidroponía." : 180.
- Lambies, J. 2015. "Influencia del injerto y de dos soluciones nutritivas en parámetros de producción y calidad en tomate 'VALENCIANO.'"
- Terraza, Saúl Parra, Praxédes Lara Murrieta, Manuel Villarreal Romero, and Sergio Hernández Verdugo. 2012. "Crecimiento de Plantas Y Rendimiento de Tomate En Diversas Relaciones Nitrato/amonio Y Concentraciones de Bicarbonato." *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35(2): 143–53.
- Ahn, S.J., Y.J. Im., G.C. Chung, B.H. Cho y S.R. Suh. 1999. Physiological responses of grated-cucumber leaves and rootstock roots affected by low temperatura. *Sci. Hortic.* 81: 397-408.
- Andrews, M.1986.The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of higher plants. *Plant, cell and Environment* 9:511-519. Citado por Salisbury, F. B.1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica.
- Báez V. E. P.; Carrillo F. J. A.; Báez S. M. A.; García E. R. S.; Valdez T. J. B.; Contreras M. R. 2010. Uso de Portainjertos Resistentes para el Control de la Fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder & Hansen raza 3) del Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en Condiciones de MallaSombra. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 28(2):111-123.

- Bletsos, F., C. Thanassoulooulos y D. Roupakias. 2003. Effect of grafting on growth yield, and Verticillium wilt of eggplant. Hortsci. 38: 183-186.
- Bugarín MR. Baca CGA. Martínez HJ. Tirado TJL. Martínez GA. 1998. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. I. Crecimiento y floración. Terra 16:113-124.
- Castellanos J.Z y Vargas T.P. 2003. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. In: manual de producción de horticultura en invernaderos. En: Castellanos J:Z (Ed) Intagri 2ª edición Celaya Guanajuato p 124-150.
- Chew M. Y. LL.; Gaytan M. A.; Espinoza A. J. J.; Reta S. D. G.; Reyes J. I.; Chew M. R. G.; Ramírez F. R. 2012. Planta de tomate injertada bajo condiciones de invernadero: rendimiento y calidad de fruto. Producción Agrícola-Agrofaz. 12(3):31-38.
- Colla G.; Roupahel Y.; Cardarelli M.; Salerno A.; Rea E.; 2010. The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. Environ. Exp. Bot. 68:283-291.
- Chung H.D., S.J. Youn y Y.J. Choi. 1997. Effects of rootstock on yield, quality and components of tomato fruits. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38: 603-607.
- Claussen, W.; Lenz, F. 1999. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. Plant Soil 208: 95- 102.
- Contreras M.E. 2006. Manejo de la nutrición en cultivos hidropónicos. Memorias (cd). Curso teórico-práctico "Producción de Cultivos en Sistemas Protegidos en el Trópico Húmedo". Villahermosa, Tabasco, México
- Contreras Salazar, E., & Salazar, E. A. C. (2014). Efecto del injerto sobre la nutrición y fotosíntesis de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero.
- Davis, R., P. Perkins, R. Hassell, A. Levi, S. King and X. Zhang. 2008 Grafting Effects on Vegetable. Quality HortScience, October 43: 1670 - 1672.

- De la Torre F. 2005. Injertos hortícolas. Dirección Técnica de Semilleros Hortícolas. Ed. I. M. Cuadrado Gómez, M.C. Garcia-Garcia y M.M. Fernandez-Fernandez. Curso de especialización. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera –IFAPA-CIFA, Almería, España.
- De Miguel, A., 2011. El injerto en plantas de tomate. Serie Documentos. Consultado 10-10-2017 en: www.poscosecha.com/es/publicaciones/
- De Rijck, G., & Schrevens, E. (1998). Elemental bioavailability in nutrient solutions in relation to complexation reactions. *Journal of plant nutrition*, 21(5), 849-859.
- Di Gioia, F.; Serio, F.; Buttaro, D.; Ayala, O.; Santamaria, P. 2010. Influence of rootstock on vegetable growth, fruit yield and quality in "cuore di bue" , an heirloom tomato. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 85: 477-482
- Djidonou, D., Zhao, X., Simonne, E. H., Koch, K. E., & Erickson, J. E. (2013). Yield, water-, and nitrogen-use efficiency in field-grown, grafted tomatoes. *HortScience*, 48(4), 485-492.
- Devlin, Robert, M. 1986. *Fisiología Vegetal*. Editorial Omega S.A. Barcelona, pp 320-321
- Errebhi, M. and Wilcox, G. E. 1990. Plant species response to ammonium-nitrate concentration ratios. *J. Plant Nutr.* 13(8):1017-1029.
- Favela, E., Preciado, R. P., & Benavides, A. (2006). *Manual para la preparación de soluciones nutritivas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila.
- Gallegos, C. Olivares, E. Vázquez, R. Zavala, F. 2000. Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra Latinoamericana.* 18:133-139.

- González, J.; Rodríguez, M.; Sánchez, P.; Gaytán, H. 2009. Relación nitrato amonio en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agricultura Técnica en México*. 35(1):5-11.
- Godoy, H., J. Castellanos. 2009. El injerto de tomate. Manual de producción de tomate en invernadero. Mexico. J. Z. Castellanos. Editorial Intagri, S.C. pp: 93-104.
- Gómez, A. M. (1997). Injerto de hortalizas. Generalitat Valenciana.
- Griffth, S.M. y D. Streeter. 1994. Nitrate and ammonium nutrition in ryegrass: changes in growth and chemical composition under hydroponic conditions. *J. Plant Nutr.* 17:71-81.
- Hageman, R.H. 1992. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. pp. 67-88. In: R.D.
- Haiquim Haifa Química de México, S.A. de C.V. 1998. La fertilización en los cultivos hortícola con acolchado plástico.
- Hartmann, H., & Kester, D. (1984). Propagación de plantas, Cap. 10. Cia. Editorial Continental. Mexico.
- Hartmann, H.T., D.E. Kester, F.T, Davies, Jr. y R.L. Geneve. 1991. *Planta propagation, principles and practices*. 3th ed. Prentice hall. N.J., USA.
- Hartmann, H.T., D.E. Kester, F.T, Davies, Jr. y R.L. Geneve. 2002. *Planta propagation, principles and practices*. 7th ed. Prentice hall. N.J., USA. 880p.
- Haynes, R.J. and K. M. Goh 1978. Ammonium and nitrate nutrition of plants. *Biological Reviews* 53: 465-510.
- Haynes, R. J. 1986. Uptake and assimilation of mineral nitrogen by plants, 303-358. *In: Mineral Nitrogen in the Soil Plant System*. Haynes, R. J.; Cameron, K. C.; Goh, K. M.; Sherlock, R. R. (eds.). Academic Press, Inc. Florida, USA.

- Hoff, J. E.; Wicox; G.E. & Jones, C.M. 1974. The effect of nitrate and ammonium nitrogen on the free amino acid composition of tomato plants and tomato fruit. J Amer. Soc. Hort. Sci. 99 (1) 27-30. Citado por Morgan L. Artículos Científicos. El gran debate: amonio vs. nitrato. Hydroponics & Greenhouses No 50. PARTE 2 Relación NO₃- / NH₄⁺ <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia>
- Jaramillo-Noreña. J., Rodríguez, V.P., Guzman-A. Miriam., Zapata, M. A. 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Boletín Técnico 21 Centro de Investigación La Selva, Rionegro (Antioquia, Colombia). 48 p
- Jeffree C. E., y M.M. Yeoman. 1982. Developmente of intercellular connections between opposing cells in a graft union. New phytol. 1983: 491-509
- Jeong, B. R. and E. J. Lee. 1999. Growth of plug seedlings of *Capsicum annuum* as affected by ion concentration and NH₄⁺ : NO₃⁻ ratio of nutrient solution. Acta Hortic. 481:425-431.
- Khah, E. M., E. Kakava, A. Mavromatis, D. Chachalis, and G. Goulas. 2006. Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. Journal of Applied Horticulturae. 8(1):3-7.
- Khaled, H., Mejda, D. R., Hayfa, J. K., and Mohamed, E. M. 2006. Control of fusarium crown and root rot of tomato, Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. radicle-lycopersici by Grafting onto Resistant Rootstocks. Plant Pathology Journal 5:161–165.
- King S. R.; Davis A. R.; Zhang X.; Crosby K.; 2010. Genetics, breeding and selection of rootstock for solanaceae and cucurbitaceae. Scientia Horticulturae. 127:106-111.
- Kotsiras, A.; Olympios, C. M. and Passam, H. C. 2005. Effects of nitrogen form and concentration on yield and quality of cucumbers grown on rockwool during spring and winter in southern Greece. J. Plant Nutr. 28:2027-2035.

- Kubota, C., M. McClure, N. Kokalis, M. Bausher y E. Roskopf. 2008. Vegetable Grafting: History, Use and Current Technology Status in North America. HortScience. Vol. 43. Pp. 1664-1669.
- Kyunghwan, Y. and Yongbeom, L. 2004. The effect of N-NO₃ - and N-NH₄ + ratio in the nutrient solution on growth and quality of sweet basil. Korean J. Hort. Sce & Techn. 22(1):29:36
- Lee, J.M. 1994. Cultivation of grafted vegetables I. current status, grafting methods, and benefits Hort. Sci. 29: 235-239.
- Lee J. M. y M. Oda. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. Hort. Rev. 28: 61-124.
- Lee, J. M. 2003. Advances in vegetable grafting. Chronica Horticulturae 43: 13-19
- Leonardi, C., & Giuffrida, F. 2006. Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplants on three different rootstocks. European Journal of Horticultural Science, 97-101.
- Maldonado, J.M. 1993. Asimilación del nitrógeno y del azufre. pp. 215-236. In: J. Azcon B. y M. Talon. Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana McGraw-Hill, Madrid.
- Maroto, B.J.V. 1990. Elementos de Horticultura General. Ediciones Mundi-Prensa Madrid España. pp 343
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed., Academic Press, Burlington, MA. pp. 92-95, 159-218, 429-482.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A. 1987. Nitrogen, pp. 347–374. In: Principles of plant nutrition. Mengel, K. and Kirkby, E. A. (eds.). 4th edition. International Potash Institute. WorldblaufenBern / Switzerland. 593p.
- Meira Barreto, D. J. (2008). Ensayos sobre la influencia del ratio NO₃-/NH₄⁺ de *Silene vulgaris* en bandejas flotantes.

- Mengel, K.; Kirkby, E. A. 2000. Principios de Nutrición Vegetal. Traducción al Español de la 4ª edición de R. J. Melgar Y M. Ruíz. Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland.
- Miguel, A. 1997. El injerto de hortalizas. Ed. Generalitat Valenciana, Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, España. 88 p
- Miguel, A. 2005. Injertos de hortalizas. Curso Internacional. INTAGRI. Jalisco. México.
- Miyoung, L. and Byoungryong, J. 2001. Effect of N concentration and $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$ ratio in nutrient solution on growth and flowering of *Petunia hybrida* 'Midnight' and 'Romeo'. J. Korean Soc. Hort. Sci. 42:748-751.
- Moore, R. y D.B. Walter. 1981. Studies of vegetative compatibility-incompatibility in higher plants. I. A structural study of a compatible autograft in *Sedum telephoides*. Am. J. Bot. 68: 820-830
- Morgan, L. 2000. El Gran Debate: amonio vs. nitrato. Disponible en Internet. <http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/boletin9.htm>. [Consultada: Octubre. 2017].
- Morales R., E. J.; Escalante E., J. A. 2004. Biomass and seed yield of common bean in sole crop and intercrop. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative 47: 207-208.
- Oda, M. 1999. Grafting of vegetables to improve greenhouse production. Ext. Bull. Food y Fert. Tech. Center. 480:1-1
- Osorio, N. W.; Shuai, X.; Miyasaka, S.; Wang, B.; Shirley, R. L. and Wigmore, W. J. 2003. Nitrogen level and form affect taro growth and nutrition. HortScience 38(1):36-40.
- Palaniswamy, U.R., Mcavoy, R.J. y Bible, B.B., 2000 – Omega-3 fatty acid concentration in *Portulaca oleracea* is altered by nitrogen source in hydroponic solution. Journal of the American Society for Horticultural Science, 125: 4-190.

- Pastor S.N.J 2000. Utilización de sustratos en viveros. Revista Terra 17:3-231. Universidad de Lleida. Dep de Hortofruticultura. España.
- Parra T. R.; Mendoza P. G.; Villarreal R. M. 2012. Relación nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la producción de tomate hidropónico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 13(1):113-124.
- Parra T. S.; Lara M. P.; Villarreal R. M.; Hernández V. S. 2012. Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones nitrato/amonio y concentraciones de bicarbonato. Revista Fitotecnia Mexicana. 35(2):143-153.
- Peil R. M. N.; Gálvez J. L. 2004. Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. Horticultura Brasileira 22(2):265-270.
- Preciado, RP. Lara, HA. Segura, CMA. Rueda, PE. Orozco, VJA. Yescas, CP. Montemayor, JA. 2008. Amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño. Terra Latinoamericana. 26:37-42.
- Resh, H. M. 1997. Cultivos hidropónicos. 4ª edición. Editorial Mundi-Prensa. España.
- Rick, C. M. (1986). Genetics and Breeding. pp 35-109.
- Rodríguez-Dimas N., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes U., Favela-Chávez, E., Moreno-Reséndez A., Márquez-Hernández C., Ochoa-Martínez E., PreciadoRangel P. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Revista Terra Latinoamericana 27 (1): 319-327.
- Rouphael Y.; Schwarz D.; Krumbein A.; Colla G. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. Scientia Horticulturae. 127(2):172-179.
- Ruiz J., M. A. Belakbir, C. I. Lopez y L. Romero. 1997. Leaf- macronutrient content ad yield in grafted melón plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. Scie. Hortic. 71: 227-234.

- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.
- Salisbury, F.B., 1992. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. pp.143,175, 325-331, 333-336.
- Salsac, L.; Chaillou, S.; Morot, J. F.; Lesaint, C. and Jolivet, E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 25(6):805–812.
- Samperio, R.G. 2004. Un paso más a la hidroponía. Diana (Edt). pp 65.
- Sandoval, V., M., G. Alcántar G., J.L. Tirado T. y A. Aguilar S. 1992. Effect of the NH₄⁺/NO₃⁻ ratio on GS and PEPCase activities and on dry matter production in wheat. *J. Plant Nutr.* 15:2545-2557.
- Sandoval V. M.; Guertal E. A.; Wood C. W. 2001. Greenhouse tomato response to low ammonium-nitrogen concentrations and duration of ammonium-nitrogen supply. *Journal of Plant Nutrition.* 24:
- Sánchez C. F y Escalante R.E.R. 2001. Hidroponía, Principios y métodos de cultivos. UACH. 3ra. Edición. Imprenta UACH. PP 194.
- Santa-Cruz A., M. M. Martínez, J. Cuartero y M.C. Bolarin. 2001. Response of plant yield and ion contents to salinity in grafted tomato plants. *Acta Hort.* 559: 413- 417
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2013) Consultado 12-09-2017 en <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B466.aspx>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2015) Consultado 12-09-2017 en <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B466.aspx>

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2016) Consultado 12-09-2017 en <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC0351-17.aspx>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). Consultado 09-09-2017 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). Consultado 09-09-2017 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Siddiqi, M. Y., B. Malhotra, X. Min, and A. D. M. Glass. 2002. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponics tomato crop. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165: 191-197.
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). Substrates: Chemical characteristics and preparation. In *Plant nutrition of greenhouse crops* (pp. 227-256). Springer Netherlands.
- Steiner A.A. 1961. A Universal Method for preparing nutrient solutions of certain desired composition. *Plant soil.* 15: 134-154.
- Steiner, A.A. 1968. Soilles culture. pp. 324-341. In *Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute.* Florence, Italy
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *Sixth International Congress on Soilless Culture.* ISOSC Proceeding. The Netherlands. 633-649 pp.
- Savvas D.; Colla G.; Roupael Y.; Schwarz D. Amelioration of heavy metal and nutrient stress in fruit vegetables by grafting. *Sientia Horticulturae.* 127(2):156-161.
- Villasana R. J. A. 2010. Efecto del injerto en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero en Nuevo León. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo Leon. Facultad de Agronomía. Nuevo Leon. Mex.

Yamakawa, B. 1983. Grafting. In: Nishi (ed.). Vegetable handbook (in Japanese). Yokendo Book. Co., Tokyo. p. 141-153.