

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**Instituto de Ciencias Agrícolas**



**SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE PORTAINJERTOS DE**  
***Lagenaria siceraria* EN LA PRODUCCIÓN DE SANDÍA**

**T E S I S**

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
**DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA**

**ÁNGEL MANUEL SUÁREZ HERNÁNDEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. ONECIMO GRIMALDO JUÁREZ**

La presente tesis "Selección y evaluación de portainjertos de *Lagenaria siceraria* en la producción de sandía" realizada por el M. C. Ángel Manuel Suárez Hernández, dirigido por el Dr. Onécimo Grimaldo Juárez y Co-Dirigido por la Dra. María Victoria Huitrón Ramírez, ha sido evaluada y aprobada por el Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

## Doctor en Ciencias Agropecuarias

Comité Particular




---

Dr. Onécimo Grimaldo Juárez  
Director de Tesis



---

Dr. María Victoria Huitrón Ramírez  
Co-Director de Tesis



---

Dr. Alejandro Manelik García López  
Sinodal



---

Dr. Daniel González Mendoza  
Sinodal



---

Dr. Lourdes Cervantes Díaz  
Sinodal

## AGRADECIMIENTOS

A CONACYT, por el apoyo brindado durante mis estudios de posgrado, sin la cual no fuese posible culminar una etapa más en mi vida de desarrollo personal y profesional.

A la Universidad Autónoma de Baja California - Instituto de Ciencias Agrícolas, por el tiempo y lugar prestado, y que en todo momento hizo placentera mi estancia. Asimismo, por el apoyo otorgado a través de la 17<sup>a</sup> Convocatoria Interna de Proyectos de Investigación, mediante la cual fue posible adquirir semillas e insumos durante el desarrollo de la investigación.

Al Dr. Onécimo Grimaldo Juárez, por su apoyo incondicional durante mi formación académica. Durante mi estancia has sido un amigo y guía en todo momento, una persona de gran admiración y deseo algún día ser un reflejo de tus virtudes. El tiempo que trabajamos juntos siempre fueron gratos momentos que siempre tendré presente.

A los profesores por su constante apoyo y tiempo en la comprensión de los diversos temas que fueron de gran ayuda en mi formación profesional.

Al personal administrativo por su apoyo en los diversos tramites durante mi estancia como estudiante.

## DEDICATORIAS

A mis padres:

*Venancio Félix Suárez Reyes*

*Rosalina Hernández Vigil*

Por su gran amor, apoyo y sacrificio hasta este momento de mi vida, al formarme en una persona de bien.

A mis hermanos:

Quienes me han brindado su apoyo incondicional para finalizar una etapa más de mi vida.

A mis amigos:

Por su apoyo y consejos, que me han permitido seguir avanzando en mi desarrollo como profesionista.

Maestros:

Por su tiempo y paciencia que han tenido en mi desarrollo profesional. Personas que merecen todo mi admiración y respeto.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIAS.....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
ÍNDICE DE CUADROS .....	VII
CAPITULO I:.....	9
1.1. Introducción general .....	9
1.1.1. Hipótesis.....	11
1.1.2. Objetivos .....	11
1.2. Revisión de literatura .....	11
1.2.1. Importancia del cultivo de sandía en México.....	11
1.2.1.1. Producción, comercialización e importación nacional de sandía .....	12
1.2.1.2. Zonas productoras de sandía en México .....	14
1.2.1.3. El cultivo de sandía en Baja California.....	14
1.2.2. Sistema de producción de sandía .....	15
1.2.2.1. Densidad de siembra .....	15
1.2.2.2. Fertilización y sistema de riego.....	16
1.2.2.3. Factores estresantes en la producción de sandía.....	17
1.2.2.4. Cosecha.....	21
1.2.3. Calidad postcosecha de fruto .....	22
1.2.3.1. Pérdida de peso .....	22
1.2.3.2. Color externo e interno.....	22
1.2.3.3. Textura del fruto .....	24
1.2.3.4. Contenido de sólidos solubles .....	25
1.2.4. Uso del injerto en la producción hortícola.....	25
1.2.4.1. Uso del injerto en la producción de sandía .....	26
1.2.4.2. Técnicas de injerto.....	27
	III

1.2.4.3. Interacción patrón variedad.....	27
1.2.5. Portainjertos en la producción de sandía .....	29
1.2.5.1. Recurso genético de <i>Lagenaria siceraria</i> en México .....	30
1.2.6. Literatura citada.....	32
CAPITULO II: DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE SEMILLA Y FRUTO DE DIEZ COLECTAS MEXICANAS DE <i>Lagenaria siceraria</i> .....	46
2.1. Resumen .....	46
2.2. Abstract.....	47
2.3. Introducción .....	48
2.4. Materiales y métodos.....	49
2.5. Resultados.....	52
2.6. Discusión .....	56
2.7. Conclusión .....	58
2.8. Literatura citada .....	59
CAPITULO III: EVALUACIÓN DE PORTAINJERTOS CRIOLLOS DE <i>Lagenaria siceraria</i> EN LA PRODUCCIÓN DE SANDÍA INJERTADA .....	62
3.1. Resumen .....	62
3.2. Abstract.....	63
3.3. Introducción .....	64
3.4. Materiales y métodos.....	64
3.5. Resultados y discusión .....	67
3.6. Conclusión .....	70
3.7. Literatura citada .....	71
CAPITULO IV: RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SANDÍA INJERTADA EN PORTAINJERTOS CRIOLLOS DE <i>Lagenaria siceraria</i> .....	74
4.1. Resumen .....	74
4.2. Abstract.....	75
4.3. Introducción .....	76
4.4. Materiales y métodos.....	77
4.4.1. Sitio experimental.....	77
4.4.2. Material vegetal .....	77

4.4.3. Manejo del cultivo.....	78
4.4.4. Variables .....	79
4.4.5. Análisis estadístico.....	79
4.5. Resultados y discusión .....	79
4.6. Conclusión .....	85
4.7. Literatura citada .....	86
<b>CAPITULO V: INFLUENCIA DEL PORTAINJERTO EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE SANDÍA.....</b>	<b>92</b>
5.1. Resumen .....	92
5.2. Introducción .....	93
5.3. Materiales y métodos.....	94
5.4. Resultados y discusión .....	95
5.5. Conclusión .....	100
5.6. Literatura citada .....	101
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>105</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción y superficie de sandía en México en el periodo 1990-2014 .....	12
Figura 2. Producción y rendimiento de sandía en México en el periodo 1990-2014 .....	13
Figura 3. Volumen y valor de exportación de sandía en México en el periodo 1990-2014 .....	13
Figura 4. Volumen y Valor de importación de sandía en México en el periodo 1990-2014 .....	14
Figura 5. Caracteres evaluados en fruto de <i>L. siceraria</i> empleados en un estudio de diversidad morfológica. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014 .....	51
Figura 6. Distribución de diez colectas mexicanas de <i>L. siceraria</i> con base en los dos primeros componentes principales del análisis de 17 variables. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014 .....	53
Figura 7. Distribución de diez colectas mexicanas de <i>Lagenaria siceraria</i> con base en las dos primeras funciones discriminantes canónicas de ocho variables seleccionadas en ACP. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014 .....	55
Figura 8. Fenograma de diez colectas mexicanas de <i>Lagenaria siceraria</i> , obtenido por la técnica de ligamiento promedio (UPGMA). Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014.....	56

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.Requerimientos de nutrientes de acuerdo a la fase del cultivo .....	16
Cuadro 2.Necesidades nutritivas en cada fase de desarrollo del cultivo .....	17
Cuadro 3.Clave y procedencia de colectas mexicanas <i>L. siceraria</i> empleadas en un estudio de diversidad morfológica. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México.2014.....	50
Cuadro 4.Caracteres evaluados en frutos y semillas de <i>L. siceraria</i> empleados en un estudio de diversidad morfológica. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014.....	50
Cuadro 5.Vectores propios y porcentaje de variación total en los primeros dos componentes principales (CP) de diez colectas mexicanas de <i>Lagenaria siceraria</i> , empleadas en un estudio de diversidad morfológica. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014 .....	52
Cuadro 6.Coefficientes canónicos y porcentaje de variación total de las dos primeras funciones discriminantes de diez colectas mexicanas de <i>Lagenaria siceraria</i> , empleadas en un estudio de diversidad morfológica. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014 .....	54
Cuadro 7.Media y error estándar de caracteres: longitud de fruto (cm), circunferencia inferior en fruto (cm), longitud de semillas (cm) y diámetro aritmético de semilla (cm) en diez colectas mexicanas de <i>Lagenaria siceraria</i> . Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014 .....	55
Cuadro 8.Ubicación geográfica y tamaño de fruto de materiales criollos <i>L.</i>	65

<i>siceraria</i> colectados en México .....	
Cuadro 9.Relación de tratamientos empleados en la evaluación de dos variedades sandía sin injerto e injertadas en seis portainjertos de <i>L. siceraria</i> .....	65
Cuadro 10.Análisis de varianza de producción y calidad de frutos de sandía en dos variedades de sandía sin injerto e injertadas en seis portainjertos de <i>L. siceraria</i> .....	67
Cuadro 11.Comparación de medias de las variables producción precoz y rendimiento total de sandía en dos variedades sin injerto e injertadas en seis portainjertos de <i>L. siceraria</i> .....	68
Cuadro 12.Comparación de medias de las variables firmeza y porcentaje de pulpa en frutos de sandía de dos variedades sin injerto e injertadas en seis portainjertos de <i>L. siceraria</i> .....	69
Cuadro 13.Comparación de medias de la variable contenido de sólidos solubles (°Brix) en frutos de sandía de dos variedades sin injerto e injertadas en seis portainjertos de <i>L. siceraria</i> .....	69
Cuadro 14.Procedencia y localización geográfica de colectas de <i>L. siceraria</i> ..	78
Cuadro 15.Parámetros de rendimiento de sandía Tri-X 313 injertada y sin injerto.....	81
Cuadro 16.Características externas de calidad de frutos de sandía Tri-X 313 injertada y sin injerto. ....	82
Cuadro 17.Características internas de calidad del fruto de sandía Tri-X 313 injertada y sin injerto.....	83
Cuadro 18.Procedencia y localización geográfica de colectas de <i>L. siceraria</i> ..	94
Cuadro 19.Relación de tratamientos obtenidos de la combinación portainjertos y días de almacenamiento de frutos de sandía. ....	95
Cuadro 20.Análisis de varianza de parámetros de calidad de sandía variedad Tri-X 313 bajo condición normal e injertada.....	96

Cuadro 21.Promedio y contraste ortogonal de parámetros de calidad de sandía variedad Tri-X 313 en condición normal e injertada.....	97
Cuadro 22.Parámetros de calidad de frutos de sandía injertada y sin injertar almacenados a los 0 y 14 días .....	97
Cuadro 23.Parámetros de coloración de pulpa en frutos de sandía injertada y sin injertar almacenados a los 0 y 14 días.....	100

## CAPÍTULO I.

### 1.1. Introducción general

La sandía [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai] es una cucurbitácea de clima cálido originaria de África (Maroto *et al.*, 2002), su consumo en fresco o procesada en jugos y dulces, es generalizado en la población (Wehner, 2008). En el año 2012, el consumo per cápita fue de 6.76 kg (USDA, 2012). Es una fuente rica en licopeno, glucosa, fructosa y sacarosa (Yativ *et al.*, 2010; Naz *et al.*, 2014). La composición del fruto es agua (91%), carbohidratos (7.6%), proteína (0.6%), fibra (0.3-0.4%), potasio (112 mg), vitamina C (2.7-10 mg), y 3.4-10 mg de licopeno por cada 100 g de peso fresco (Nunes, 2008).

El cultivo de esta especie se ha expandido por 112 países a nivel mundial, registrándose en el año 2013 3.47 Mha, con producción de 108.93 Mt (FAO, 2014). El principal país productor es China con un volumen de 73.19 Mt, seguido de Irán con 3.95 Mt, Turquía (3.89 Mt), Brasil (2.16 Mt) y Egipto (1.89 Mt). México ocupa el onceavo lugar con 37,699 ha de superficie de cultivo y una producción nacional de 0.95 Mt. Según la Secretaría de Economía, aproximadamente 66% de la producción es destinada al mercado internacional, manteniéndose como principal receptor Estado Unidos con 99.9% de las exportaciones (SE-SIAVI, 2013). La zona más productora de sandía en México es el noroeste del país, que comprende los estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Sonora, y Sinaloa. Reportes de SAGARPA en el año 2013, indican que la zona noroeste participo con 43% de la producción nacional, producto de la mayor superficie de cultivo y rendimientos de 31.09 t ha<sup>-1</sup> (SAGARPA-SIAP, 2014).

En el estado de Baja California, la superficie de cultivo de la sandía asciende a 268 ha, donde el valle de Mexicali participa con 66 ha que representan el 25% (SAGARPA-SIAP, 2014). Las limitaciones del cultivo en la región del valle de Mexicali son las temperaturas bajas en invierno (-1 a 10 °C) y altas en verano (30 a 45 °C) (OEIDRUSBC, 2016). Las temperaturas al inicio del año impiden el establecimiento de siembras tempranas y en el verano por las altas temperaturas, los frutos tienen riesgo de ser afectados por los rayos del sol, especialmente cuando

no se desarrolla suficiente cubierta vegetal en la planta. Otro factor importante es la incidencia de fitopatógenos, donde los métodos de control además de los químicos, se ha impulsado los biológicos, con el propósito de reducir los niveles de contaminación (Gullino *et al.*, 2003). Entre estos métodos, se ha utilizado patrones o portainjertos tolerantes a patógenos, donde se ha demostrado resistencia específica a *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, a través de diferentes especies de cucurbitáceas como *Lagenaria siceraria*, *Benincasa hispida* e híbridos de calabaza (*Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*) empleadas como portainjertos (King *et al.*, 2010). Los beneficios de los portainjertos, además de prevenir la incidencia de patógenos, inducen características a las plantas que mejoran los niveles de producción y calidad de los frutos (Lee, 1994). Entre las características sobresalen mayor vigor y proporción de flores femeninas, incremento en número y peso de frutos; asociado a la tolerancia de factores adversos como salinidad, bajas y altas temperaturas, déficit y exceso hídrico (Schwarz *et al.*, 2010).

*L. siceraria* como portainjerto ha demostrado que induce resistencia a *Fusarium*, tolerancia a condiciones salinas y bajas temperaturas (Uygur y Yetisir, 2009; Lee *et al.*, 2010). Sin embargo, el éxito del injerto depende de la combinación variedad-portainjerto. En México, *Lagenaria* es una especie que ha sido cultivada por sus frutos desde tiempos prehispánicos, los cuales después de cosechados y secados, se extrae la semilla y restos pulpa, a fin de emplearlos como recipientes para el almacenamiento de agua o bien como instrumento musical en eventos religiosos (Decker-Walters *et al.*, 2001). En la actualidad, también es común encontrarlo en mercados regionales como artesanía decorada con diferentes colores y figuras. La explotación como portainjerto ha sido escasa en México, a pesar de las múltiples ventajas que se han registrado en la producción de sandía.

El centro de origen de *Lagenaria* es África y su presencia en México, se considera introducida de dicho continente (Kistler *et al.*, 2014). La diversidad de la especie esta expresada en diferentes formas y tamaños de los frutos, así como en la morfología de las semillas (Mladenović *et al.*, 2012). La distribución en México abarca varios estados, establecida en huertos familiares, ya que su cultivo en grandes extensiones no se ha documentado. El uso de genotipos criollos de *Lagenaria* de México como portainjertos para la producción de sandía, representa una oportunidad de

aprovechamiento de los recursos genéticos del país, sin embargo, se requiere del conocimiento previo de la diversidad genética de los materiales para su posterior evaluación en la producción y calidad de la sandía. Por lo anterior, en la presente investigación se realizó la caracterización morfológica de colectas criollas de *Lagenaria* y posteriormente se evaluaron sus características como portainjerto en la producción de sandía de las variedades Sangría, 2800 y Tri-X 313.

### **1.1.1. Hipótesis**

La diversidad genética de *Lagenaria* en México, contiene genotipos que mejoran la producción y calidad físico químico de frutos de sandía, al emplearse como portainjertos.

### **1.1.2. Objetivos**

- 1) Caracterizar y agrupar morfológicamente materiales criollos de *Lagenaria siceraria*, de acuerdo a la similitud de caracteres.
- 2) Evaluar compatibilidad de injerto en materiales criollos de *L. siceraria* con sandía.
- 3) Evaluar precocidad y rendimiento de sandía injertada en materiales criollos de *L. siceraria*
- 4) Evaluar la calidad de sandía injertadas en materiales criollo de *L. siceraria*
- 5) Evaluar la calidad postcosecha de sandía injertada en portainjertos criollos de *Lagenaria* y comerciales de calabaza.

## **1.2. Revisión de literatura**

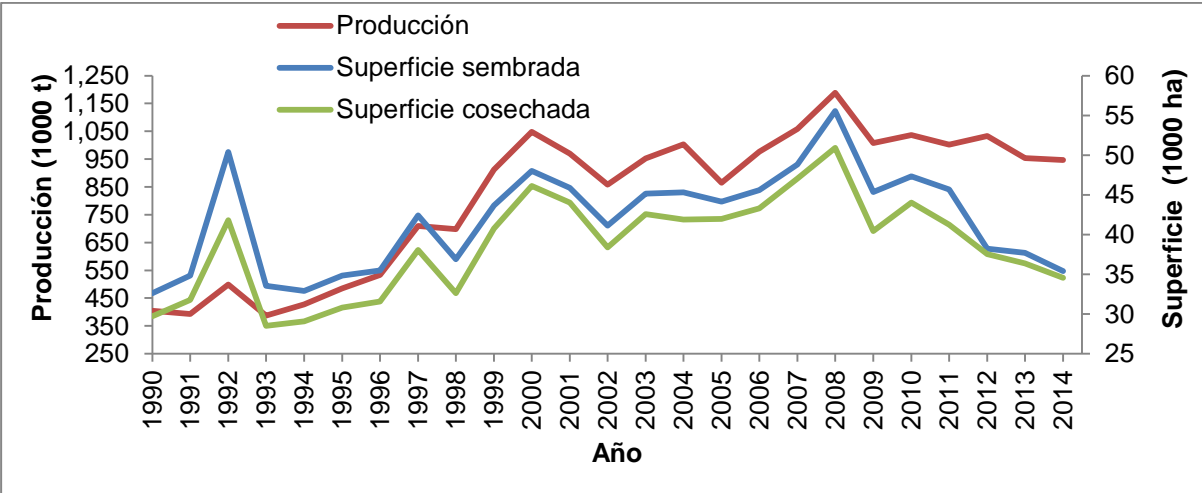
### **1.2.1. Importancia del cultivo de sandía en México**

La sandía es un fruto consumido ampliamente en México en cualquier época del año (ASERCA, 1999) y su cultivo es realiza en la mayoría de las entidades federativas, aunque la mayor producción se concentra en los estados de Sonora, Veracruz y Jalisco, los cuales producen el 44% de la producción nacional. El destino de la producción es el mercado estadounidense y nacional. Estadísticas al respecto

muestran que el 70% se destina a la exportación y el resto se comercializa nacionalmente (FAO, 2014; SE-SIAVI, 2013).

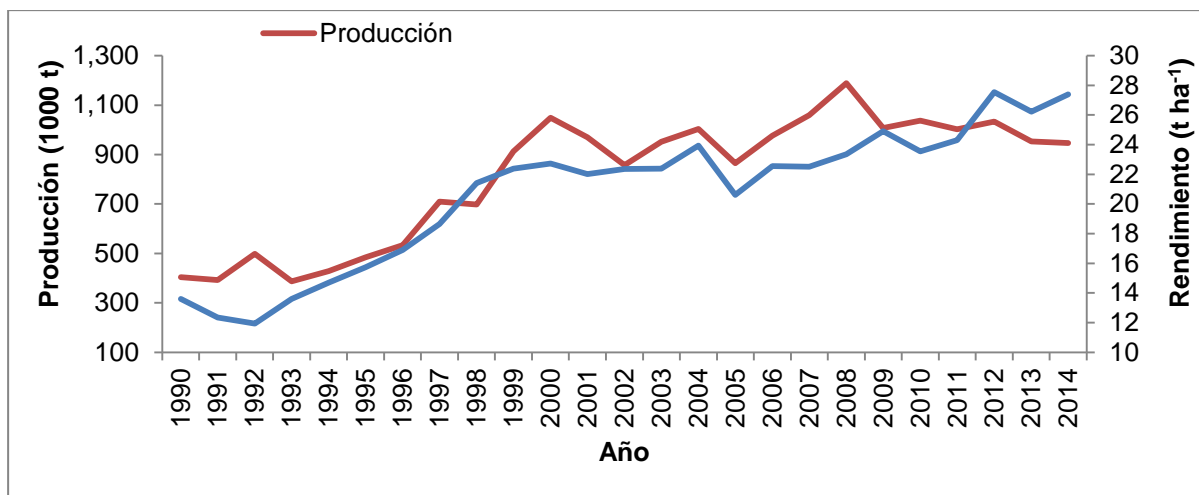
**1.2.1.1. Producción, comercialización e importación nacional de sandía**

La producción de sandía a nivel nacional, ha sido variable a través de los años (Figura 1), registrándose incrementos significativos en los años 1990's, pasando de 0.40 Mt al inicio de la década a 1.05 Mt al final del periodo. Los incrementos se han asociado al aumento en superficie de cultivo (55%) y rendimiento por hectárea. En el periodo 2000-2010, la producción anual presentó altibajos de 0.86 a 1.19 Mt, por efecto principalmente de los cambios en superficie cosechada, mientras que el rendimiento se mantuvo entre 23 y 25 t ha<sup>-1</sup>. En los últimos 4 años (2011-2014) la producción se ha mantenido constante entre 0.95 a 1.00 Mt, a pesar de un decline de 16% en la superficie. Uno de los aspectos más relevantes durante el periodo 1990-2014 es el aumento en rendimiento que ascendió hasta 28 t ha<sup>-1</sup> (Figura 2); esto debido a la tecnificación del cultivo, en donde, la combinación de sistema de riego por goteo, acolchado de plástico y fertirrigación han sido la pauta en el incremento en producción (ASERCA, 1999).



Fuente: Elaboración con datos de SAGARPA-SIAP (2014)

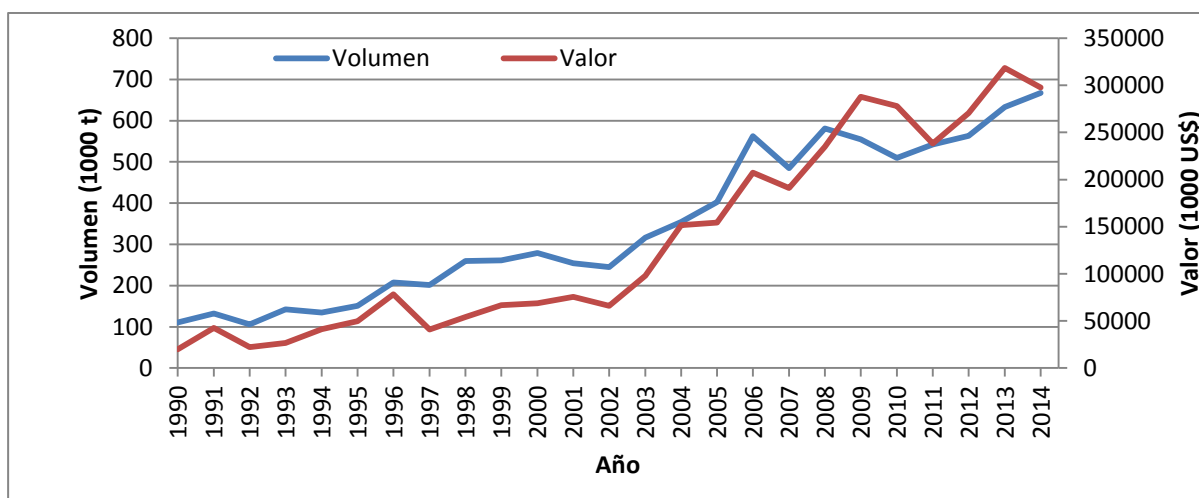
Figura 1. Producción y superficie de sandía en México en el periodo 1990-2014



Fuente: Elaboración con datos de SAGARPA-SIAP (2014)

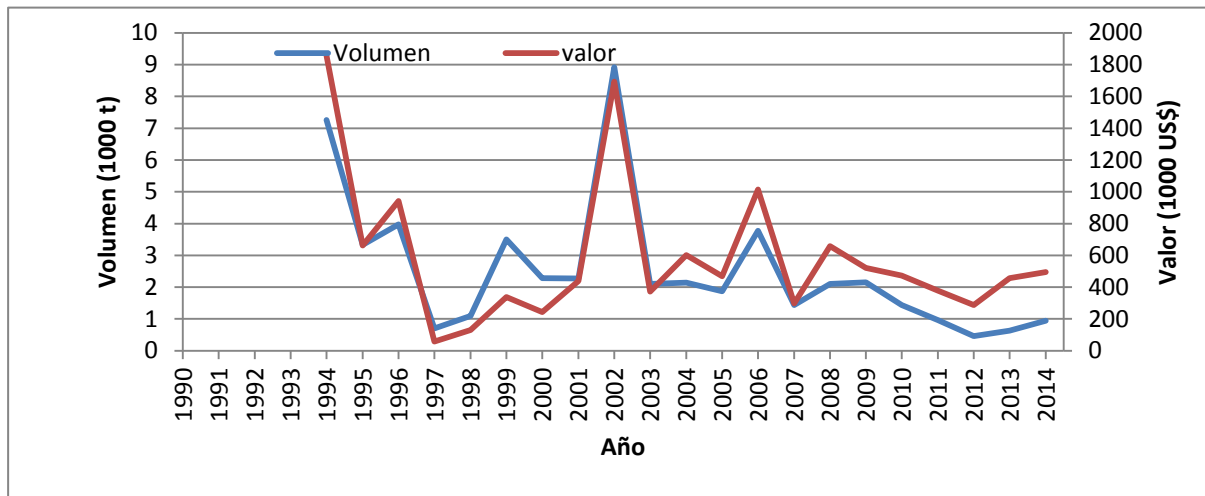
Figura 2. Producción y rendimiento de sandía en México en el periodo 1990-2014

El mercado de la sandía en México, en parte ha sido el de exportación, donde el mercado de los Estados Unidos, es el principal comprador. En el periodo 1990-2004, se tiene registro que el 37% de la producción nacional fue exportada y en los años 2011-2014 el volumen aumentó a 70%. Según la FAO (2014) la exportación de este producto aumento constantemente (Figura 3), alcanzando el mayor volumen de exportación en el año 2014 con 0.67 Mt y un valor de 297.56 MUSD. En lo que respecta a las importaciones, la tendencia es a la reducción del volumen de sandías provenientes del mercado internacional (Figura 4); presentándose las menores importaciones (<1000 t) en los últimos cuatro años. En los últimos 20 años, el 100% de las sandías importadas proviene de Estados Unidos (SE-SIAVI, 2016).



Fuente: Elaboración con datos de FAO (2014)

Figura 3. Volumen y Valor de exportación de sandía en México en el periodo 1990-2014



Fuente: Elaboración con datos de FAO (2014)

Figura 4. Volumen y Valor de importación de sandía en México en el periodo 1990-2014

### 1.2.1.2. Zonas productoras de sandía en México

México cuenta con una gran diversidad de climas y suelos que permiten la producción de sandía en diferentes épocas del año y entidades federativas. Actualmente, se tiene registro que se cultiva en 28 entidades del país; de los cuales Sonora, Jalisco, Chihuahua, Veracruz, Nayarit y Guerrero, son los más importantes. El Estado de Sonora destaca como el principal productor con un volumen 249,364 t anuales (SAGARPA-SIAP, 2014), que representa el 26% de la producción total. Jalisco ocupa el segundo lugar con un volumen de 101,165 t, seguido de Chihuahua con 82,255 t. En el caso de Veracruz, Nayarit y Guerrero aportan 7, 6 y 5% del volumen nacional, respectivamente.

### 1.2.1.3. El cultivo de sandía en Baja California

En Baja California, la sandía es un cultivo de primavera verano con una superficie 268 ha y rendimiento de 36.53 t ha<sup>-1</sup> (SAGARPA-SIAP, 2014). La estacionalidad de este cultivo es de Marzo a Noviembre, con producción de 8,950 t, que representa el 1% a nivel nacional, con una superficie cosechada de 245 ha. Las regiones productoras son Ensenada y Mexicali. Ensenada registra el 72% de la superficie con

rendimiento promedio de 35.5 t ha<sup>-1</sup>; alcanzando un volumen de producción de 5,994 t, cosechándose en julio y agosto el 40%, y el resto en los meses de septiembre a diciembre (OEIDRUSBC, 2016). En Mexicali la superficie de cultivo representa el 25% y su producción es de 2,586 t, con un rendimiento promedio de 39.18 t ha<sup>-1</sup>. El 85% del volumen cosechado se concentra en los meses de junio y julio, y solamente el 15% se obtiene en agosto.

### **1.2.2. Sistema de producción de sandía**

La producción de sandía se caracteriza principalmente por cultivarse al aire libre de modalidad riego y en menor proporción temporal. La producción en condiciones de temporal se realiza principalmente en los estados de Chiapas (89%), Morelos (85%), Tabasco (100%) y Veracruz (98%), en donde, más del 85% superficie sembrada son cultivos con agua de lluvia (SAGARPA-SIAP, 2014). El ciclo predominante de este cultivo es otoño-invierno (61% de la superficie nacional); esta producción está dirigida principalmente al mercado estadounidense, ya que las condiciones climáticas invernales no les permiten el desarrollo de este cultivo (Espinoza-Arellano *et al.*, 2006).

#### **1.2.2.1. Densidad de siembra**

El establecimiento del cultivo puede realizarse en forma directa (siembra) o trasplante (plántula). La densidad de siembra es de 1.5 a 2.5 kg ha<sup>-1</sup> (INIFAP-Chihuahua, 2012), establecida a doble hilera en camas meloneras de 4.0 a 5.0 m de ancho, con separación entre camas de 1.0 m y distancia entre planta de 0.8 a 1.0 m. Cuando el sistema es por trasplante, la cantidad de semilla se reduce a 0.5 a 0.6 kg ha<sup>-1</sup>, en donde, el marco de plantación puede ser el mismo que en siembra directa. Otro factor que influye en la densidad de siembra, es el periodo productivo. La Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Jalisco (2012), indica que en siembras tempranas (ciclo primavera-verano) existe una mayor extensión en el tiempo del crecimiento y desarrollo de la planta hasta alcanzar la madurez del fruto (hasta 19 semanas); en tanto que en siembras tardías (ciclo otoño-invierno) el ciclo es más corto (11 semanas). En el caso de Baja California, sandías de ciclo primavera-verano alcanza la madurez en aproximadamente 21 semanas, mientras que frutos de otoño-invierno maduran en un lapso de 12

semanas (OEIDRUSBC, 2016). Bajo este contexto se recomienda utilizar baja densidad en siembras tempranas, mientras que mayor densidad en siembras tardías (Maroto *et al.*, 2002). La condición de ploidía de las plantas, también es un factor a considerar en la densidad de siembra, ya que, cuando se trata de plantas diploides la cantidad de plantas por hectárea es de 5,000 a 7,410 y en triploides de 5,000 a 7,200 plantas (Uzcanga-Pérez *et al.*, 2015).

### 1.2.2.2. Fertilización y sistema de riego

El suministro de nutrientes a las plantas mediante fertilizaciones químicas según el INIFAP-Nayarit (2012), recomienda la fórmula 120-60-40 kg ha<sup>-1</sup>, donde el 100% de las unidades de fósforo y potasio puede aplicarse en presiembra, así como el 50% de nitrógeno, y el resto del nitrógeno a los 40 días posteriores. Por su parte el INIFAP-Chihuahua (2012) aconseja la fórmula 150N-60P-80K kg ha<sup>-1</sup>; suministrando al momento de la siembra (o trasplante) el 100% P, 33% N y 33% K; el 33% de N y P a los 30 a 40 días posteriores a la primera aplicación, y el resto de N y K a inicio de floración femenina.

El sistema de fertirriego o fertirrigación consiste en la aplicación simultánea de agua y nutrientes. Con este método se optimiza y reduce el aporte de nutrientes, y la fertilización se puede proporcionar cada tercer día a través del riego, a fin de suministrar la cantidad de macro o micronutrientes que requiere según los análisis previos del suelo y savia (ASERCA, 1999). Algunas recomendaciones de dosificación de fertilizantes han sido señaladas por Camacho y Fernández (2000) y Pérez-López (2015), donde las cantidades se aportan según la fase fenológica del cultivo (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Requerimientos de nutrientes de acuerdo a la fase del cultivo (Fernández-Cara, 1998 citado por Camacho y Fernández, 2000)

Fase del cultivo	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Enraizamiento	10.0	2.0	2.0	0.5	0.0	3.0	3.0	2.0
Desarrollo	12.0	1.5	2.0	0.5	2.0	4.0	4.0	2.0
Antes de floración	10.0	2.5	3.0	0.5	2.0	5.0	3.0	2.0
Cuajado y	15.0	1.5	2.0	0.5	0.0	5.0	5.0	2.0

engorde								
Maduración	10.0	1.5	3.0	0.5	2.0	5.0	3.0	2.0

Cuadro 2. Necesidades nutritivas en cada fase de desarrollo del cultivo (Pérez-López, 2015)

Fase del cultivo	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Enraizamiento	10.0	1.8-2.0	2.0	3.0-4.0	3.0-4.0	1.5-2.0
Desarrollo	12.0-13.0	1.5	2.0	4.0-5.0	4.0-5.0	1.5-2.0
Floración	8.0-10.0	2.5-3.0	3.0-3.5	5.0-6.0	3.0	2.0
Engorde	14.0-16.0	1.5	2.0	5.0-6.0	5.0	2.0
Maduración	10.0	1.2-1.5	3.0	5.0-7.0	3.0	2.0

En cuanto al manejo de los riegos en sistema por gravedad, el INIFAP-Chihuahua (2012) sugiere un riego con lámina de 20 cm en presiembra y posteriormente de 6-8 riegos de auxilio con lámina de 12 cm; los primeros riegos de auxilio cada 15 días y posteriormente cada 8 a 10 días a partir del inicio de la floración femenina. Salaya-Dominguez y colaboradores (2002) propone los riegos cuando el potencial hídrico del suelo a 30 cm de profundidad se encuentra a 40.7, 33.8 y 41.2 cbar, durante las fases vegetativa, floración y fructificación respectivamente.

En regiones áridas y semiáridas, o donde el agua es escasa, se sugiere el riego localizado o por goteo que permite un aprovechamiento eficiente del agua de forma que se minimicen las pérdidas por percolación, evaporación y escorrentía (Maroto, 2002). Con este método se sugiere instalar cintas de riego con gasto de agua por gotero de un l h<sup>-1</sup> y separación entre goteros de 30.48 cm (Alvarado *et al.*, 2006). Cuando la evapotranspiración estacional es aproximadamente 390 mm, el riego puede aplicarse cuando existe un abatimiento del 50% de humedad disponible en la zona radicular (Erdem *et al.*, 2001). Kirnak y Dogan (2009) proponen riegos de reposición cada tercer día en un perfil de hasta 90 cm de suelo con un volumen del 75% de riego, en donde el volumen al 100% se estima por gravimetría y déficit hídrico del suelo a 90 cm de profundidad y llevado hasta capacidad de campo. En suelos de textura arenosa deben ser diariamente regadas y fertilizadas, debido a la baja capacidad de retención de agua y nutrientes (Fernades *et al.*, 2014).

### 1.2.2.3. Factores estresantes en la producción de sandía

El cultivo de la sandía requiere de suelos fértiles de textura franco o franco arenoso con buen drenaje, pH entre 5.0 a 7.5 y conductividad eléctrica menor a  $2.5 \text{ dS m}^{-1}$  (Maroto *et al.*, 2002; Camacho-Ferre, 2003). En cuanto a condiciones ambientales, su desarrollo es óptimo con humedad relativa entre 60-80% y temperaturas de 18 a 28 °C (Reche *et al.*, 2000 citado por Pérez-López, 2015). En lo que respecta a necesidades hídricas requiere entre 400 a 600 mm para un ciclo de cultivo de aproximadamente 100 días (Maroto *et al.*, 2002). Cualquier variación en estos factores fuera de los límites indicados, es considerada factor estresante de la producción, además de la incidencia de plagas y enfermedades, lo cual induce diversos trastornos fisiológicos y patológicos en la planta que resultan en baja producción y calidad del fruto.

#### Temperatura

Los efectos adversos de mayor impacto por temperatura en la producción de sandía, se inducen cuando desciende por debajo de los límites de la temperatura cero biológico que ocurre entre 11-13 °C (Maroto *et al.*, 2002). Este estrés por frío, provoca en la planta alteraciones fisiológicas y bioquímicas manifestadas en reducción de fotosíntesis (Hou *et al.*, 2016), disminución de absorción y metabolismo de nutrientes (Rivero *et al.*, 2003). Algunos de los síntomas manifestados es la reducción del crecimiento y desarrollo de la planta, clorosis y necrosis del follaje (Sheikh *et al.*, 2015). Así mismo, existe una lenta maduración del fruto que aunado con la baja intensidad de luz (irradiación), contribuyen a grandes pérdidas económicas en cultivos tempranos (Schwarz *et al.*, 2010).

En condiciones de altas temperaturas superiores a los 30 °C en etapas tempranas del cultivo, las plantas manifiestan deshidratación, la cual puede aumentar de severidad con humedades relativas inferiores al 60% por tiempos prologados (Camacho-Ferre y Fernández-Rodríguez, 2000). Las plantas de sandía en estado de desarrollo avanzado puede tolerar hasta 45 °C (Noh *et al.*, 2013). No obstante, a 40 °C puede presentarse una serie de alteraciones fisiológicas y bioquímicas tales como reducción de tasa fotosintética, conductancia estomática, transpiración, incremento de la concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular (Hou *et al.*, 2016), reducción de

absorción de agua y transporte de nutrientes (Schwartz *et al.*, 2010). Lo que resulta en efectos negativos en crecimiento y desarrollo de la planta, y consecuentemente en el quemado de los frutos antes de alcanzar su estado maduro.

## **Agua**

El cultivo de sandía demanda grandes volúmenes de agua para completar su ciclo biológico, sin embargo, en condiciones de déficit hídrico repercute en la fotosíntesis, conductancia estomática y tasa de transpiración, así como una reducción en el contenido relativo de agua en hoja e incremento de O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y peroxidación lipídica en hoja, agentes causales de disminución del crecimiento de la planta, y marchitamiento y clorosis de las hojas (Mo *et al.*, 2016). Bajo condiciones de exceso hídrico causa falta de oxígeno, que resulta de una lenta difusión de los gases y consumo de oxígeno por microorganismos (Schwartz *et al.*, 2010).

## **Salinidad**

La concentración de sales en suelos ha aumentado progresivamente debido al uso indiscriminado de fertilizantes, convirtiéndose en uno de los principales problemas en zonas áridas y semiáridas (Yetisir y Uygur, 2009). Altas concentraciones (>4 dS m<sup>-1</sup> de NaCl) reducen el crecimiento y desarrollo de las plantas de sandía, exhibiéndose una severidad pronunciada en biomasa (Yetisir y Uygur, 2010), así como efectos negativos en el rendimiento y calidad del fruto (Sousa *et al.*, 2016). Esto debido a desordenes fisiológicos y bioquímicos inducidos por el estrés salino, tales como menor potencial hídrico, toxicidad de iones como cloro y sodio, y desbalance en la absorción y transporte de nutrientes (Colla *et al.*, 2006; 2010).

## **Plagas**

Las plagas más frecuentes en el cultivo de sandía son: mosca blanca (*Bemisia tabaci*), minador de la hoja (*Lirionyza sp.*), gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*), pulgón (*Aphis gossypii*, *Myzus persicae*, *Rhopalosiphum maidis*) y trips (*Frankliniella accidentalis*) (Espinoza-Arellano *et al.*, 2006; INIFAP-Nayarit, 2012). Insectos con alta tasas de reproducción y dispersión, como mosca blanca, pulgón y trips son

vectores que transmiten diferentes tipos de virus (Lokeshwari *et al.*, 2014; Gilbertson *et al.*, 2015) El control de estas plagas puede ser mediante métodos biológicos, químicos o por medio de manejo integrado de plagas. En el control biológico pueden emplearse depredadores o parasitoides como *Eretmocerus sp.* (parasitoides de mosca blanca), *Diglyphus isaea* (parasitoide de minador de hoja), *Aphydoletes aphydimiza* (depredador de pulgón), *Amblyseius cucumeris* y *Orius sp.* (parasitoides de trips), *Bacillus thurigiensis* (insecticida para orugas), entre otros (Camacho-Ferre, 2003). En caso de optar por medios químicos, se recomienda aplicar bifentrin o imidacloprid para mosca blanca y pulgón; azadiractin para mosca blanca y trips; malation para pulgón y trips; abamectina o ciromacina para minador de hoja (Maroto *et al.*, 2002; Camacho-Ferre, 2003). La integración de estrategias de Manejo Integrado de Plagas (MIP) permite reducir la dependencia al uso de insecticidas químicos; mediante prácticas culturales orientadas al control de plagas, empleo de variedades resistentes o tolerantes a daños por plagas, acciones de factores naturales de mortalidad de las plagas (depredadores, parasitoides, reguladores de crecimiento de los insectos perjudiciales, feromonas, repelentes, etc.), y solamente el uso de insecticidas (en dosis recomendada) de acuerdo a umbrales económicos y cuando la población de parasitoides y depredadores no es suficiente (SAGARPA, 2015).

## **Enfermedades**

Los microorganismos patogénicos del genero *Fusarium*, *Monosporascus*, *Verticillium* y *Phytophthora*, entre otros, pueden infectar la raíz de plantas de sandía causando grandes pérdidas económicas (Koike *et al.*, 2007; Melgarejo *et al.*, 2010). Entre los productos químicos para el control de microorganismos patogénicos, el bromuro de metilo (BM) ha sido ampliamente utilizado para la fumigación de suelos debido a que presenta grandes ventajas, tales como: fumigante de amplio espectro, altamente eficaz y su volatilidad le permite penetrar en los suelos (Duniway, 2002). Sin embargo, su uso ha sido restringido en el protocolo de Montreal debido a que las emisiones de BM a la atmosfera afectan la capa de ozono (Gullino *et al.*, 2003; Ricárdez-Salinas *et al.*, 2010). Otros productos, aunque menos efectivo que BM, son 1-3Dicloropropeno (1-3D), cloropicrina y metam sodio, los cuales en combinación pueden mejorar la eficacia de estos compuestos (Ajwa *et al.*, 2003). Existen otros

métodos de control, como es el biológico, donde se pueden emplear microorganismos supresores de agentes patogénicos como *Trichoderma harzianum* para el control de *Fusarium oxysporum* (Gullino *et al.*, 2003); o mediante cultivos de cobertura como el género *Brassica*, que tienen capacidad de suprimir enfermedades como *Fusarium*, aunque no todas las variedades tienen este efecto (Everts y Himmelstein, 2015). Entre los métodos de desinfección no químicas se encuentra la técnica de solarización del suelo que utiliza la radiación solar, y requiere 30 a 45 días con temperaturas superiores a 50 °C para su éxito (Ajwa *et al.*, 2003). La rotación de cultivo es una práctica cultural que sirve para control de enfermedades evitando los sistemas de monocultivos y con ello disminuir la población de patógenos (Everts y Himmelstein, 2015).

A fin de contrarrestar los efectos negativos de los microorganismos presentes en el suelo, se ha empleado cultivares resistentes, los cuales poseen la particularidad de presentar resistencia o tolerancia a uno o pocos patógenos específicos, y su desarrollo se limita a técnicas tradicionales de fitomejoramiento, procedimientos largos y tediosos (Ajwa *et al.*, 2003). Otra alternativa a los sistemas de producción para mitigar los efectos negativos de los patógenos del suelo es la técnica del injerto (Miguel *et al.*, 2004; Boughalleb *et al.*, 2008), donde desempeña un papel importante en cultivos de solanáceas y cucurbitáceas, induciendo tolerancia a variedades susceptibles mediante el empleo de patrones resistentes (Lee, 1994).

#### **1.2.2.4. Cosecha**

La maduración del fruto se produce una vez alcanzado su tamaño máximo, durante esta etapa se producen cambios bioquímicos en el fruto que resultan en transición de color de la pulpa (de blanco a rojo), y formación de azúcares solubles y aromas (Camacho-Ferre, 2003). Una vez alcanzado la madurez de consumo, con 10% de contenido de sólidos solubles y 75% de color rojo se procede a la cosecha del fruto (Dhatt y Mahajan 2007 citado por El-Ramady *et al.*, 2015). La recolección de los frutos oscila entre 80 a 100 días posterior a la plantación, sin embargo, los días a madurez de las sandías pueden variar dependiendo de la variedad, fecha de plantación, condiciones climáticas, etc. (Maroto *et al.*, 2002). Algunos indicadores externos de madurez que pueden tomarse en cuenta son: marchitez del zarcillo y

estípula próximo al pedúnculo del fruto, pérdida de brillo superficial en fruto, mancha de color amarillo en la parte del fruto que está en contacto con el suelo, sonido sordo al golpear el fruto con los dedos y por un crujido leve en el extremo de la flor cuando se presiona (Camacho-Ferre, 2003; Perkins-Veazie *et al.*, 2006; Perkins-Veazie *et al.*, 2012).

### **1.2.3. Calidad postcosecha de fruto**

La vida postcosecha de la sandía depende de las condiciones ambientales en las que son almacenadas, particularmente la temperatura y humedad. Se recomienda el preenfriamiento de la fruta con aire forzado antes de su almacenamiento (Nunes, 2008) y mantener durante el almacenamiento temperaturas de 10 a 15 °C y humedad relativa de 80 a 90% a fin de lograr una máxima vida postcosecha de 2 a 3 semanas (Risse *et al.*, 1990; Sargent, 1999). Altas temperaturas durante el almacenamiento están relacionadas con elevadas tasas de transpiración y degradación de las características de calidad (El-Ramady *et al.*, 2015), como el ablandamiento de la fruta, producto de la exposición al etileno (Mao *et al.*, 2004).

#### **1.2.3.1. Pérdida de peso**

La transpiración del fruto afecta el contenido de agua y por consiguiente la reducción en peso. La tasa de transpiración o pérdida de agua depende de las características propias del fruto (morfológicas, anatómicas, etapa de madurez, relación superficie-volumen), así como de factores externos como temperatura y humedad (Kader y Barrett, 1996). Cuando se almacena entre 5 y 21 °C con una humedad relativa (HR) del 75% durante 14 días, la fruta exhibe una pérdida de peso de aproximadamente uno por ciento (Perkins-Veazie y Collins, 2006). En condiciones de 22 a 26 °C con HR entre 52 y 60% durante un lapso de 21 días de almacenamiento la pérdida es de hasta 3.8% (Neto *et al.*, 2000). Sin embargo, a temperatura de 28 °C y humedades de 70 a 80% por un periodo de 16 días de almacenamiento se tiene pérdidas de hasta del 2% (Yau *et al.*, 2010). El peso del fruto puede decrecer hasta un 13.3% cuando existe un extenso periodo de almacenamiento (45 días) a 30 °C y HR de 55 a 65% (Khater y Bahnasawy, 2016).

### 1.2.3.2. Color externo e interno

#### Color externo

La sandía posee cáscara de color verde que van desde claro a oscuro y desde un patrón rayada a solido uniforme. Entre los materiales empleados en México predominan las sandías de corteza verde oscuro con franjas verde claro como Sangria, Estrella, Escarlett, Summer Flavor 800, Carnival, Fiesta, Arriba y Macarena (Sabori-Palma, *et al.*, 2010; Anonimo, 2013; Anonimo, 2015). En algunos materiales el color predominante es el verde claro con franjas verde oscuro como Jubilee, Summer Sweet 5244 y Super Seedless; o verde medio u oscuro con franja más oscuras como Laurel y Tri-X Brand (313, Palomar y Carousel) (Sabori-Palma, *et al.*, 2015). Otra variante en corteza es el color claro con nervaduras ligeramente marcadas de color más oscuro como se presenta en Charleston Gray (INIFAP-Chihuahua, 2012). Existen variedades con cáscara de color sólido como Peacock y Matador los cuales son verdes oscuros (Sabori-Palma, *et al.*, 2010).

Los cambios de color en la corteza por efecto del almacenamiento, en el caso de sandías de tipo Peacock (corteza verde oscuro) presenta cambios de verde oscuro a más oscuro, cuando se almacena a temperaturas superiores a 10 °C por un periodo mínimo de 28 días (Nunes, 2008), temperaturas inferiores a 5 °C durante 28 días no se presenta cambios en el color de la cáscara, no obstante, presenta pequeñas lesiones color marrón en la corteza que son más notables cuando se transfiere a condiciones de 20 °C durante dos días adicionales de almacenamiento (Nunes, 2008).

#### Color interno

Las variedades de sandía en estado maduro, en su mayoría, se caracterizan por poseer variantes de color rojo o rojo-anaranjado, y solo en pocos materiales predomina el pigmento amarillo. La diferencia en color de pulpa se debe al contenido de carotenos como fitoflueno,  $\beta$ -caroteno, licopeno,  $\zeta$ -caroteno,  $\gamma$ -caroteno y xantofilas. La pulpa de color rojo, rosa o coral presentan perfiles de composición de carotenos idénticos, conteniendo en mayor proporción licopeno, seguido de  $\beta$ -caroteno y en pequeñas cantidades  $\zeta$ -caroteno,  $\gamma$ -caroteno, xantofilas (Zhao *et al.*,

2013). La neoxantina es el constituyente dominante en frutos con pulpa amarilla, en segundo lugar  $\beta$ -caroteno y en pequeñas cantidades  $\zeta$ -caroteno y fitoflueno; en tanto que en pulpas de color blanco en pequeñas cantidades, no detectable con HPLC, presenta fitoflueno,  $\beta$ -caroteno y  $\zeta$ -caroteno.

En postcosecha el color rojo de la pulpa en sandía almacenada durante 14 días a 13 °C de temperatura tiende a reducirse ( $\leq 13\%$ ), mientras que a 21 °C el color se torna más rojo ( $\geq 11\%$ ) y oscuro ( $\leq 11\%$  en luminosidad) que al inicio del almacenamiento (Perkins-Veazie y Collins, 2006). El color rojo tiende a intensificarse ( $\geq 18\%$ ) cuando existe un periodo de almacenamiento de 14 días a 28° C (Yau *et al.*, 2010). El aumento en la intensidad del color rojo se atribuye al incremento en la síntesis de carotenos, específicamente de licopeno (Perkins-Veazie y Collins, 2006). Contrariamente, una disminución en el tono rojo se debe a la pérdida del contenido de licopeno cuando se almacena a bajas temperaturas (5 °C) (Gil *et al.*, 2006).

### **1.2.3.3. Textura del fruto**

Uno de los atributos más apreciados por los consumidores es la textura del fruto; el cual depende de la anatomía de las células de tejido como tamaño, forma, turgencia y composición de las células, espesor y resistencia de la pared celular, y adhesión celular (Toivonen y Brummell, 2008). La textura es cuantificada como firmeza del fruto, que se define como la fuerza (ya sea través de punción o compresión) de deformación de los tejidos (Barrett *et al.*, 2010). Entre las variedades cultivadas, materiales de sandía triploides (sin semilla) exhiben mayor firmeza en pulpa que aquellos de tipo diploide (con semilla), con valores de 6.3-15.6 N y de 3.6-10.6 N, respectivamente (Bruton *et al.*, 2009). Variedades como Sangria, Summer Flavor y Jubilee (todos diploides) presentan valores que oscilan de 6.0 a 10.6 N, mientras que en el caso del material triploide Summer Sweet 5244 tiende a presentar hasta 11.3 N, en donde las fluctuaciones en los valores de cada variedad depende de las condiciones agronómicas y climáticas en las que se desarrolle el cultivo.

La pérdida de firmeza en el fruto es un proceso de degradación natural consecuentemente de la madurez. La reducción de este carácter en la pulpa puede ser de 11 y 24%, cuando se almacena los frutos a 13 °C durante 7 y 13 días, respectivamente, en tanto que existe mayor reducción (38%) después de 21 días de

almacenamiento (Mao *et al.*, 2004). A temperaturas inferiores (5 °C) la fruta tiende a presentar daños por frío, ocasionando pérdida en firmeza de la pulpa hasta 11% después de un periodo de nueve días mientras que la menor pérdida (4%), se puede obtener cuando el fruto se almacena a 14 °C (Gil *et al.*, 2006). La pérdida en firmeza se intensifica cuando existen extensos periodos de almacenamiento a bajas y altas temperaturas, registrándose decrementos mayores a 50% cuando se almacena a temperaturas inferiores o superiores a 15 °C durante un periodo de cuatro semanas (Risse *et al.*, 1990). Los daños generados por dichas condiciones son degradación de la pared celular, reducción de la rigidez de la estructura celular y adhesión intercelular (Brummell *et al.*, 2004; Brummell, 2006).

#### **1.2.3.4. Contenido de sólidos solubles**

El contenido de sólidos solubles, es un atributo del sabor de la pulpa y es determinante para la aceptación por el consumidor. La dulzura estimada como contenido de sólidos solubles, es el parámetro que típicamente es considerado como un indicador de madurez de la fruta y un parámetro de calidad. Los sólidos solubles totales es el contenido total de compuestos o sólidos que se encuentran disueltos en los frutos y se conforman principalmente de azúcares y ácidos (Dantas de Almeida *et al.*, 2010; Hale *et al.*, 2015). Los estándares de calidad clasifican a las sandías con buena calidad cuando poseen valores igual a 8 °Brix y de muy buena calidad cuando presentan mayor a 10 °Brix (USDA, 2006). Frutos en estado maduro de variedades como Sangría, Summer Flavor 800, Summer Sweet, Super seedless y Tri-X (313, Carousel y Palomar) presentan contenido de sólidos solubles de 9 a 11 °Brix (Perkins-Veazie *et al.*, 2006). Este valor puede ser variable dependiendo de las condiciones en las que se desarrolle el fruto.

Entre los parámetros de calidad, el contenido de sólidos solubles es uno de los atributos que decrece con el incremento de la temperatura durante el periodo de almacenamiento (Risse *et al.*, 1990). En estudios con frutos de sandía almacenados por un periodo de 14 días, el contenido de sólidos solubles no sufre cambios significativos a temperaturas menores a 21 °C (Perkins-Veazie, y Collins, 2006), mientras que a 25 °C este parámetro se reduce a los 14 días (Kyriacou y Soteriou,

2015), presentándose mayores reducciones a temperaturas a 28 °C, en un menor tiempo de almacenamiento (Yau *et al.*, 2010).

#### **1.2.4. Uso del injerto en la producción hortícola**

El injerto se define como un sistema genético compuesto por la unión de dos porciones de tejido vegetal, cada uno de los cuales mantiene su propia identidad genética durante el ciclo biológico de la planta (Mudge *et al.*, 2009). La porción inferior de la planta denominado portainjerto o patrón, y la parte superior conocido como vástago o púa (Mondal *et al.*, 2015). Actualmente, esta técnica es considerada una estrategia para minimizar pérdidas económicas generadas por factores adversos como patógenos del suelo, altas y bajas temperaturas, salinidad y sequía, en los sistemas de producción de tomate, chile, sandía, melón y pepino (Colla *et al.*, 2010; Louws *et al.*, 2010; Schwarz *et al.*, 2010). Adicionalmente, se induce mayor crecimiento y desarrollo de la planta, lo cual está asociado al vigor presente en los portainjertos que favorecen mayor absorción y metabolismo de nutrientes, uso eficiente de agua y síntesis de fitohormonas (Lee, 1994). No obstante, el éxito del injerto depende de la compatibilidad entre variedad y portainjerto

##### **1.2.4.1. Uso del injerto en la producción de sandía**

El uso del injerto en sandía se inició en la década de 1920, con el fin de mitigar los efectos de *Fusarium*, induciendo tolerancia a variedades susceptibles mediante el empleo de patrones resistentes (Sakata *et al.*, 2007). Actualmente existen portainjertos que exhiben tolerancia a varios microorganismos patogénicos como son: *Fusarium*, *Monosporascus*, *Verticillium*, *Phytophthora*, *Pseudomonas*, *Didymella*, y *Meloidogyne*, (Louws *et al.*, 2010).

El uso del injerto, además de prevenir la incidencia de patógenos, favorece la tolerancia a la salinidad, bajas y altas temperaturas e incrementa la absorción de nutrientes y agua (Rivero *et al.*, 2003; Goreta *et al.*, 2008). Los mecanismos adquiridos en la plantas injertadas a condiciones salinas (8 dS m<sup>-1</sup>) son la regulación del transporte de iones, donde se limita la captación de sodio y promueven la absorción de cationes como calcio, potasio y magnesio (Yetisir y Urgur, 2010). En condiciones de bajas temperaturas en el suelo, se ha evidenciado mayor transporte

de agua y nutrientes en plantas injertadas, inducido por un aumento en la actividad de proteínas transportadoras que crean un gradiente electroquímico y consecuentemente la fuerza necesaria para el desplazamiento de moléculas a través de la membrana plasmática (Ahn *et al.*, 1991).

El incremento en crecimiento de la planta y mayor proporción de flores femeninas, son otros de los efectos del injerto en la sandía, los cuales favorecen la productividad del cultivo (Alan *et al.*, 2007; Islam *et al.*, 2013). Se considera que estos efectos resultan de una alteración en la concentración de hormonas vegetales, que son responsables en la regulación del crecimiento vegetativo y productivo de las plantas (Aloni *et al.*, 2010). Al respecto, Yamasaki *et al.* (1994) reporta una mayor tasa de absorción de nutrientes y síntesis de citocininas en plantas injertadas de sandía.

#### **1.2.4.2. Técnicas de injerto**

Existen distintas técnicas que se pueden emplear en la unión de la planta injertada, no obstante, la elección del método depende de la experiencia laboral, instalaciones disponible y las características del portainjerto (Lee *et al.*, 2010; Mohamed *et al.*, 2014). Las técnicas comúnmente empleadas son: a) de aproximación, la cual no requiere de instalaciones sofisticadas, debido a que no es muy exigente en condiciones ambientales; b) de púa y c) empalme requiere de temperatura entre 20 y 25 °C, y humedad relativa (RH) entre el 85% y 100% (Hassell y Memmott, 2008). Investigaciones recientes sugieren que la técnica de aproximación presenta el mayor crecimiento de la planta y producción que otras técnicas (Mohamed *et al.*, 2014), no obstante, depende del portainjerto a emplear (Khankahdani *et al.*, 2012; El-Wanis *et al.*, 2013).

#### **1.2.4.3. Interacción patrón variedad**

En los injertos el grado de interacción entre patrón y variedad es el factor determinante para la elección de especies potenciales como portainjertos. Durante el proceso de formación de la unión, existe alta proliferación de células parenquimatosas en la superficie de contacto de ambas partes (patrón y variedad), formando tejido de callo, que posteriormente se diferenciará a nuevas células que

darán origen a las conexiones vasculares (Pina y Errea, 2005). En uniones incompatibles se genera una lenta comunicación entre células en la unión del injerto, produciéndose la acumulación de compuestos fenólicos (Pina *et al.*, 2012). Esta situación afecta la translocación de agua y nutrientes, debido a la restricción de la comunicación entre portainjerto y vástago, lo que conduce a diversos trastornos fisiológicos que dan lugar a la reducción del crecimiento del vástago y la raíz (Martínez-Ballesta *et al.*, 2010). Pruebas histológicas, bioquímicas y fisiológicas, han evidenciado que la incompatibilidad se presenta cuando existe poca diferenciación de tejido en la reconexión de los haces vasculares, donde a través del uso de safranina o fucsina acida como colorante incorporado en el agua se ha demostrado el transporte del colorante a la parte aérea en situaciones de compatibilidad, mientras que existe un nulo movimiento del colorante en plantas incompatibles (Aloni *et al.*, 2008; Flaishman *et al.*, 2008). Otras pruebas fehacientes son la determinación de intercambio de gases en las hojas, donde la transpiración se incrementa en plantas injertadas compatibles, en tanto en plantas incompatibles la transpiración se reduce en 50%. También la determinación de la concentración de azúcares, almidón y azúcares reductores, han sido evaluados como indicadores de compatibilidad (Aloni *et al.*, 2008).

Otros factores importantes en la interacción de patrón variedad son las características que transfiere el portainjerto a la planta cultivada, entre las cuales se encuentra la tolerancia a patógenos y factores adversos del clima, así como en la producción y calidad de los frutos. Los mecanismos de resistencia a patógenos están asociados al sistema radicular de los portainjertos, los cuales sintetizan sustancias que inducen tolerancia a enfermedades en plantas injertadas, y que pueden ser translocados al vástago por vía xilema (Biles *et al.*, 1989), sin embargo hay pocos estudios que confirmen esta teoría. Los efectos positivos en crecimiento y rendimiento, así como resistencia a enfermedades se debe a un alto contenido de fenoles (kaempferol ácido clorogénico y ácido cafeico) presentes en patrones de cucurbitáceas que puede inhibir la germinación y el crecimiento de esporas o conidios de hongos (Evrenosoglu *et al.*, 2010; Ling *et al.*, 2013).

La absorción y transporte de agua y nutrientes también depende de la interacción portainjerto y variedad, así como de las condiciones ambientales. En este sentido,

plantas injertadas compatibles favorecen la absorción de agua aun en condiciones de baja temperatura, lo cual se debe a un incremento en la actividad de la proteína H<sup>+</sup>-ATPasa en la raíz (Anh *et al.*, 1999). Esta proteína también puede favorecer el movimiento de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros, mediante el transporte activo ya sea por co-transportes, canales proteicos o antiportes (Smith, 2002; Dreyer y Uozumi, 2011). Estos supuestos son evidentes en plantas injertadas, en donde la cuantificación de nutrientes en la raíz y tallo, expresa mayor concentración en la sabia del xilema (Salehi *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2013). También se ha documentado una mayor actividad del metabolismo del nitrógeno, observándose una mayor crecimiento y desarrollo de la planta, como resultado de una alta actividad de actividad de Nitrato reductasa (NR) y Nitrito reductasa (NiR) en hoja (Pulgar *et al.*, 2000; Colla *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2013).

La calidad final del fruto puede ser una de las características de mayor relevancia en planta injertada, la cual puede estar influenciada por la interacción portainjerto variedad (Soteriou *et al.*, 2014). Algunas investigaciones indican que parámetros físico-químico de fruto como grosor de epicarpio y atributos de endocarpio (color, textura y contenidos de azúcares), entre otros, pueden ser alterados positiva o negativamente por la interacción portainjerto variedad (Karaca *et al.*, 2012; Turhan *et al.*, 2012; King *et al.*, 2010). Estas diferencias pueden estar dadas por el estado de madurez en la que se realiza la cosecha de los frutos, en donde se ha reportado que frutos provenientes de planta injerta requieren mayor tiempo para alcanzar la madurez (Soteriou *et al.*, 2014).

#### **1.2.5. Portainjertos en la producción de sandía**

En la producción de sandía injertada, los portainjertos empleados pertenecen a la familia de las cucurbitáceas, siendo utilizados las especies *C. maxima*, *C. moschata*, *Lagenaria siceraria* y *Citrullus lanatus* var. *citroides* (Huitron *et al.*, 2008; King *et al.*, 2010). En la actualidad diversos estudios han evidenciado que genotipos de *L. siceraria* y *Citrullus lanatus* var. *citroides*, así como cultivares de híbridos de calabaza (*C. maxima* x *C. moschata*), son altamente compatibles con sandía (Lee y Oda *et al.*, 2003; Yetisir *et al.*, 2007; Karaca *et al.*, 2012; Edelstein *et al.*, 2014), favoreciéndose la conexión de los haces vasculares en la unión del injerto. Estos

portainjertos se caracterizan por la resistencia a patógenos como *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Monosporascus cannonballus* y *Meloidogyne incognita*, donde portainjertos híbridos de calabaza son más específicos para *F. oxysporum* f. sp. *niveum* (FON), *melonis* (FOM), *cucumerinum* (FOC) y *lagenariae* (FOLag), y *Monosporascus cannonballus*; en el caso de *L. siceraria* para FON, FOC, FOM y *F. solani* f sp. *cucurbitae* (Louws *et al.*, 2010); sin embargo ambos portainjertos son susceptibles a *Meloidogyne* (Edelstein *et al.*, 2010). La sandía silvestre es una buena elección en suelos con incidencia de *Meloidogyne incognita*, pero su resistencia está restringida a FOC y FOM.

En forma generalizada, todas especies empleadas como portainjertos en sandía, también presentan diferentes grados de tolerancia a condiciones adversas como bajas temperaturas y salinidad (Colla *et al.*, 2006; Davis *et al.*, 2008; Uygur y Yetisir, 2009). En algunos casos, se ha reportado tolerancia a altas temperaturas y déficit hídrico en plantas de sandía injertada con híbridos de calabaza (Rouphael *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2010), mientras que al emplear portainjerto de *Lagenaria* exhibe tolerancia a condiciones de exceso de hídrico (Yetisir *et al.*, 2006). No obstante, el grado de resistencia o tolerancia a estrés biótico o abiótico puede variar dependiendo de los morfotipos (genotipos o accesiones) de la especie empleada como portainjerto.

Otros portainjertos con alta afinidad son *Benincasa hispida* y *Sicyos angulatus* (Lee y Oda, 2003), los cuales poseen tolerancia a patógenos como FON, FOM, FOLag y *Meloidogyne incognita* (Louws *et al.*, 2010). Sin embargo, presentan un lento y bajo porcentaje de germinación, susceptibilidad a bajas y altas temperaturas, así como déficit hídrico, lo cual limita su uso como portainjertos (Sakata *et al.*, 2007; Davis *et al.*, 2008; Louws *et al.*, 2010).

#### **1.2.5.1. Recurso genético de *Lagenaria siceraria* en México**

*Lagenaria siceraria* es conocido regionalmente como bule o guaje, la planta es de hábito trepador y generalmente se les encuentra sobre los árboles, cercos o cualquier tipo de estructura. Las flores son unisexuales y su polinización es generalmente por insectos. Los frutos muestran amplia variabilidad en forma y tamaño. La forma varía de esférica a alargada, oblonga y periforme con una

constricción en la parte media del fruto (Decker-Walters *et al.*, 2001; Morimoto *et al.*, 2005). En tamaño la altura oscila de 9 cm a 140 cm, la circunferencia entre 17 y 84 cm, y el peso de 0.1 kg a 4.6 kg (Mladenović *et al.*, 2012). Las semillas difieren en longitud de 8 a 20 mm, ancho de 5 a 12 mm, grosor de 2 a 3.7 mm, y peso de 100 semillas entre 10 y 30 g.

El centro de origen de la especie de acuerdo a estudios taxonómicos y moleculares, se ubica en África (Gürcan *et al.*, 2015), dada la amplia diversidad genética registrada en dicho continente. La distribución en otros países del mundo incluido México, se considera que fue a través de las corrientes marinas, en donde los frutos fueron transportados al mantenerse flotando, además del transporte por el hombre (Kistler *et al.*, 2014). En México, esta especie es una de la primeras plantas cultivadas aproximadamente en los años 8000 AC (Smith, 2005; Perales y Aguirre, 2008). La distribución de la especie es principalmente en regiones de climas tropicales, aunque también se le ha encontrado en regiones áridas (Lira-Saade y Rodríguez-Arévalo, 2006). La condición de las plantas es en huertos familiares, donde se podría decir que reciben cuidados mínimos o no los reciben. El interés antropogénico ha sido el fruto, el cual después de madurado y secado, se le extrae las semillas y restos de pulpa, para emplearse posteriormente como recipiente para el almacenamiento de agua o bien como artesanía decorada con diferentes figuras y colores (Whitaker y Cutler, 1965; Chimonyo y Modi, 2013). El interés actual de estudio de *L. siceraria* además del fruto, es el potencial de uso como portainjerto para la producción de cucurbitáceas como la sandía (Karaca *et al.*, 2012; Candir *et al.*, 2013).

### 1.3. Literatura citada

Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA). 1999. La sandía, una tradición exportadora. Revista Claridades Agropecuarias, 75:3-40.

Ahn, S. J.; Im, Y. J.; Chung, G. C.; Cho, B. H.; Suh, S. R. 1999. Physiological responses of grafted-cucumber leaves and rootstock roots affected by low root temperature. Scientia Horticulturae, 81:397-408.

Ajwa, H. A.; Klose, S.; Nelson, S. D.; Minuto, A.; Gullino, M. L.; Lamberti, F.; Lopez-Aranda, J. M. 2003. Alternatives to methyl bromide in strawberry production in the United States of America and the Mediterranean region. Phytopathologia Mediterranea, 42:220-244.

Alan, O.; Ozdemir, N.; Gunen, Y. 2007. Effect of grafting on watermelon plant growth, yield and quality. Journal of Agronomy, 6(2):362-365.

Aloni, B.; Cohen, R.; Karni, L.; Aktas, H.; Edelstein, H. 2010. Hormonal signaling in rootstock-scion interactions. Scientia Horticulturae, 127:119-126.

Aloni, B.; Karni, L.; Deveturero, G.; Levin, Z.; Cohen, R.; Kazir, N.; Lotan-Pompan, M.; Edelstein, M.; Aktas, H.; Turhan, E.; Joel, D. M.; Horev, C.; Kapulnic, Y., 2008. Physiological and biochemical changes at the rootstock–scion interface in graft combinations between Cucurbita rootstocks and a melon scion. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 83:777-783.

Alvarado, M.; Díaz, A.; Morales, J. 2006. Tecnología para producir sandía con fertirriego en el norte de Tamaulipas. Folleto técnico. Serie CERIB. INIFAP. 22 p.

Anonimo. 2013. Casa comercial syngenta. Disponible en <http://fria.syngenta.com.mx/>

Anonimo. 2015. Casa comercial King seed. Disponible en <http://www.kingseeds.com.mx/>

Barrett, D. M.; Beaulieu, J. C.; Shewfelt, R. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and

sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50:369-389.

Biles, C. L.; Martyn, R. D.; Wilson, H. D. 1989. Isozymes and general proteins from various watermelon cultivars and tissue types. *HortScience*, 24(5):810-812.

Boughalleb, N.; Mhamdi, M.; El Assadi, B.; El Bourgi, Z.; Tarchoun, N.; Romdhani, M. S. 2008. Resistance evaluation of grafted watermelon (*Citrullus lanatus* L) against Fusarium wilt and Fusarium crown and root rot. *Asian Journal Plant Pathology*, 2(1): 24-29.

Brummell, D. A.; Cin, V. D.; Crisosto, C. H.; Labavitch, J. M. 2004. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit. *Journal of Experimental Botany*, 55:2029-2039.

Brummell, D.A. 2006. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology*, 33, 103-119.

Bruton, B. D.; Fish, W. W.; Roberts, W.; Popham, T. W. 2009. The influence of rootstock selection on fruit quality attributes of watermelon. *The Open Food Science Journal*, 3:15-34.

Camacho, F.; Fernández, E. J. 2000. El cultivo de sandía apirena injertada, bajo invernadero, en el litoral mediterráneo español. 1 ed. España: Mundi-prensa libros. 312 pp.

Camacho-Ferre, F. 2003. El cultivo de sandía invernada. p. 691-738. En F. Camacho-Ferre (Coord). *Técnicas de producción en cultivos protegidos*. Tomo 2 de 2. Cajamar Caja Rural. Intermediterránea.

Candir, E.; Yetisir, H.; Karaca, F.; Ustun, D. 2013. Phytochemical characteristics of grafted watermelon on different bottle gourds (*Lagenaria siceraria*) collected from the Mediterranean region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37:443-456.

- Chimonyo, V. G. P.; Modi, A. T. 2013. Seed performance of selected bottle gourd (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.). *American Journal of Experimental Agriculture*, 3:740-766.
- Colla, G.; Roupahel, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E. 2006. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas Exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. *Hortscience*, 41(3):622-627.
- Colla, G.; Roupahel, Y.; Leonardi, C.; Zhilong, B. 2010. Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 127:147-155.
- Colla, G.; Roupahel, Y.; Mirabelli, C.; Gardarelli, M., 2011. Nitrogen-use efficiency traits of mini-watermelon in response to grafting and nitrogen-fertilization doses. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174:933-941.
- Dantas de Almeida, L.; Freire-Abílio, G. M.; Tejo-Cavalcante, M.; Dias-Castro, R.; Leite-Cavalcanti, A. 2010. Cariogenic and erosive potential of industrialized fruit juices available in Brazil. *Brazilian Journal of Oral Sciences*, 9(3):351-357.
- Davis, A. R.; Perkins-Veazie, P.; Sakata, Y.; López-Galarza, S.; Maroto, J. V.; Lee, S. G.; Huh, Y. C.; Sun, Z.; Miguel, A.; King, S. R.; Cohen, R.; Lee, J. M. 2008. Cucurbit grafting. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27:50-74.
- Decker-Walters, D.; Staub, J.; López-Sesé, A.; Nakata, E. 2001. Diversity in landraces and cultivars of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*; Cucurbitaceae) as assessed by random amplified polymorphic DNA. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 48:369-380.
- Dreyer, I.; Uozumi, N. 2011. Potassium channels in plant cells. *Federation of European Biochemical Societies*, 278:4293-4303.
- Duniway, J. M. 2002. Status of chemical alternatives to methyl bromide for pre-plant fumigation of soil. *Phytopathology*, 92(12):1337-1343.
- Edelstein, M.; Oka, Y.; Burger, Y. Eizenberg, H.; Cohen, R. 2010. Variation in the response of cucurbits to *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. *Plant Science*, 58:77-84.

- Edelstein, M.; Tyutyunik, J.; Fallik, E.; Meir, A.; Tadmor, Y.; Cohen, R. 2014. Horticultural evaluation of exotic watermelon germplasm as potential rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 165:196-202.
- El-Ramady, H. R.; Domokos-Szabolcsy, E.; Abdalla, N. A.; Taha, H. S.; Fári, M. 2015. Postharvest management of fruits and vegetables storage. *Sustainable Agriculture Reviews*, 15:65-152.
- El-Wanis, M. A.; El-Eslamboly, A. A. S. A.; Salama, M. A. 2013. Impact of different grafting methods on yield and quality of watermelon. *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 9(6):330-340.
- Erdem, Y.; Yuksel, A. N.; Orta, A. H. 2001. The effects of deficit irrigation on watermelon yield, water use and quality characteristics. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4(7):785-789.
- Espinoza-Arellano, J. J.; Orona-Castillo, I.; Narro-Reyes, J. G.; León-Robles, M. J. 2006. Aspectos sobre producción, organización de productores y comercialización del cultivo de la sandía en la comarca lagunera. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 10(19):1-13.
- Everts, K. L.; Himmelstein, J. C. 2015. Fusarium wilt of watermelon: Towards sustainable management of a re-emerging plant disease. *Crop Protection*, 73:93-99.
- Evrenosoglu, Y.; Alan, O.; Ozdemir, N. 2010. Leaf phenolic content of some squash rootstocks used on watermelon (*Citrullus lanatus* (thunb.) Matsum and Nakai) growing and phenolic accumulation on grafted cultivar. *African Journal of Agriculture Research*, 5(8):732-737.
- Fernandes, C. N. V.; Azevedo, B. M.; Nascimento-Neto, J. R.; Viana, T. V. A.; Sousa, G. G. 2014. Irrigation and fertigation frequencies with nitrogen in the watermelon culture. *Bragantia*, 73(2):106-112.
- Flaishman, M. A.; Loginovsky, K.; Golobowich, S.; Lev-Yadun, S. 2008. *Arabidopsis thaliana* as a model system for graft union development in homografts and heterografts. *Journal of Plant Growth Regulation*, 27:231-239.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2014. Dirección de Estadística. Disponible en <http://faostat3.fao.org/>

Gil, M. I.; Aguayo, E.; Kader, A. A. 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12):4284-4296.

Gilbertson, R. L.; Batuman, O.; Webster, C. G.; Adkins, S. 2015. Role of the insect supervectors *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the emergence and global spread of plant viruses. *Annual Review of Virology*, 2:67-93.

Goreta, S.; Bucevic-Popovic, V.; Selak, G.V.; Pavela-Vrancic, M.; Perica, S. 2008. Vegetative growth, superoxide dismutase activity and ion concentration of salt-stressed watermelon as influenced by rootstock. *Journal of Agricultural Science*, 146:695-704.

Gullino, M. L.; Camponogara, A.; Gasparri, G.; Rizzo, V.; Clini, C.; Garibaldi, A. 2003. Replacing Methyl bromide for soil desinfestation: the italian experience and implication for other countries. *Plant Disease*, 87(9):1012-1021.

Gürcan, K.; Say, A.; Yetisir, H.; Denli, N. 2015. A study of genetic diversity in bottle gourd [*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.] population, and implication for the historical origins on bottle gourds in Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 62:321-333.

Hale, T. A.; Hassell, R. L.; Phillips, T. 2015. Refractometer measurements of soluble solid concentration do not reliably predict sugar content in sweet corn. *HortTechnology*, 15(3):668-672.

Hassell, R. L.; Memmott, F. 2008. Grafting Methods for Watermelon Production. *HortScience*, 43(6):1677-1679.

Hou, W.; Sun, A. H.; Chen, H. L.; Yang, F. S.; Pan, J. L.; Guan, M. Y. 2016. Effects of chilling and high temperatures on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in leaves of watermelon seedlings. *Biologia Plantarum*, 60(1):148-154.

Huang, Y.; Li, J.; Hua, B.; Liu, Z.; Fan, M.; Bie, Z. 2013. Grafting onto different rootstocks as a means to improve watermelon tolerance to low potassium stress. *Scientia Horticulturae*, 149:80-85.

Huitrón, M.V.; Rodríguez, N.; Díaz, M.; Camacho, F. 2008. Effect of different rootstocks on the production and quality of watermelon cv Reina de Corazones. *Acta Horticulturae*, 797:437-442.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Chihuahua (INIFAP-Chihuahua). 2012. Disponible en <http://www.inifap-chihuahua.gob.mx/images/paquetes-tec/Agricolas/sandia.pdf>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Nayarit (INIFAP-Nayarit). 2012. Disponible en <http://www.cesix.inifap.gob.mx/guias/SANDIA.pdf>

Islam, M. S.; Bashir, H. M. K.; Howlader, M. I. A.; Sarker, J. U.; Al-Mamun, M. H. 2013. Effect of grafting on watermelon growth and yield. *Khon Kaen Agricultural Journal*, 41:284-289.

Kader, A. A.; Barrett, D. M. 1996. Classification, composition of fruits, and postharvest maintenance of quality. p. 1-16. In: L. S. Hosahalli, S. Ramaswamy, Y. H. Hui. (Ed.). *Processing Fruits: Science and Technology: Biology, Principles, and Applications*.

Karaca, F.; Yetisir, H.; Solmaz, I.; Candir, E.; Kurt, S.; Sari, N.; Guler, Z. 2012. Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, yield and quality. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36:167-177.

Khankahdani, H. H.; Zakeri, E.; Saeedi, G.; Shakerdargah, G. 2012. Evaluation of different rootstocks and grafting techniques on graft union percent, yield and yield components of watermelon cv. 'Crimson Sweet'. *World Applied Sciences Journal*, 18(5):645-651.

Khater, E. G.; Bahnasawy, A. H. 2016. Watermelon fruits properties as affected by storage conditions. *Journal of Agricultural Engineering*, 101-124 p.

- King, S. R.; Davis, A. R.; Zhang, X.; Crosby, K. 2010. Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Scientia Horticulturae*, 127:106-111.
- Kirnak, H.; Dogan, E. 2009. Effect of seasonal water stress imposed on drip irrigated second crop watermelon grown in semi-arid climatic conditions. *Irrigation science*, 27:155-164.
- Kistler, L.; Montenegro, A.; Smith, B. D.; Gifford, J. A.; Green, R. E.; Newsom, L. A.; Shapiro, B. 2014. Transoceanic drift and the domestication of African bottle gourds in the Americas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111:2937-2941.
- Koike, S. T.; Gladders, P.; Paulus, A. P. 2007. *Vegetable diseases*. Gulf Professional Publishing, 448 pp.
- Kyriacou, M. C.; Soteriou, G. 2015. Quality and postharvest performance of watermelon fruit in response to grafting on interspecific cucurbit rootstocks. *Journal of Food Quality*, 38:21-29.
- Lee, J. M.; Kubota, C.; Tsao, S. J.; Bie, Z.; Echevarria, P. H.; Morra, L.; Oda, M. 2010. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127:93-105.
- Lee, J. M.; Oda, M. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews*, 28:61-124.
- Lee, J.M. 1994. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *Hortscience*, 29(4):235-239.
- Ling, N.; Zhang, W.; Wang, D.; Mao, J.; Huang, Q.; Guo, S.; Shen, Q. 2013. Root exudates from grafted-root watermelon showed a certain contribution in inhibiting *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *PLOS ONE*, 8(5):1-8.
- Lira-Saade, R.; Rodríguez-Arévalo, I. 2006. Catálogo de la familia Cucurbitaceae de México. Informe final SNIB-Conabio Proyecto DS002. Universidad Nacional Autónoma de México, MEX.

Lokeshwari, D.; Kumar, N. K. K.; Manjunatha, H. 2014. Color polymorphism does not affect species diagnosis of the melon aphid, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae). Florida Entomologist, 97(3):1199-1207.

Louws, F. J.; Rivard, C. L.; Kubota, C. 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. Scientia Horticulturae, 127:127-146.

Mao, L.; Karakurt, Y.; Huber, D.J. 2004. Incidence of water-soaking and phospholipid catabolism in ripe watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit: induction by ethylene and prophylactic effects of 1-methylcyclopropene. Postharvest Biology and Technology, 33:1-9.

Maroto, J. V.; Borrego, I.; Miguel-Gómez, A.; Pomares-García, F. 2002. El cultivo de la sandía. Editorial Mundi-prensa. 322 pp.

Martínez-Ballesta, M. C.; Alcaraz-López, C.; Muries, B.; Mota-Cadenas, C.; Carvajal, M. 2010. Physiological aspects of rootstock–scion interactions. Scientia Horticulturae, 127:112-118.

Melgarejo, P.; Garcia-Jimenez, J.; Jorda, M. C.; Lopez, M. M.; Andres, M. F.; Duran-Vila, N. (coord.). 2010. Patógenos de plantas descritos en España. Editorial Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2ª Edición. Madrid España. 854 p.

Miguel, A.; Maroto, J. V.; San Bautista, A.; Baixauli, C.; Cebolla, V.; Pascual, B.; Lopez, S.; Guardiola, J. L. 2004. The grafting of triploid watermelon is an advantageous alternative to soil fumigation by methyl bromide for control of Fusarium wilt. Scientia Horticulturae, 103:9-17.

Mladenović, E.; Berenji, J.; Ognjanov, V.; Ljubojević, M.; Čukanović, J. 2012. Genetic variability of bottle gourd *Lagenaria siceraria* (mol.) Standley and its morphological characterization by multivariate analysis. Archives of Biological Sciences, 64:573-583.

Mo, Y.; Yang, R.; Liu, L.; Gu, X.; Yang, X.; Wang, Y.; Zhang, X.; Li, H. 2016. Growth, photosynthesis and adaptive responses of wild and domesticated watermelon

genotypes to drought stress and subsequent re-watering. *Plant Growth Regulation* 79:229-241.

Mohamed, F. H.; El-Hamed, K. E. A.; Elwan, M. W. M.; Hussien, M. N. E. 2014. Evaluation of different grafting methods and rootstocks in watermelon grown in Egypt. *Scientia Horticulturae*, 168:145-150.

Mondal, B.; Dutta, R.; Saha, R. 2015. Application of DNA based molecular marker for the assessment of genetic transformation in *Citrus sinensis*. *International Journal of Science and Research*, 4(1):52-55.

Morimoto, Y.; Maundu, P.; Fujimaki, H.; Morishima, H. 2005. Diversity of landraces of the white-flowered gourd (*Lagenaria siceraria*) and its wild relatives in Kenya: fruit and seed morphology. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52:737-747.

Mudge, K.; Janick, J.; Scofield, S.; Goldschmidt, E. E. 2009. A History of Grafting. *Horticultural Reviews*, 35:437-493.

Naz, A.; Butt, M. S.; Sultan, M. T.; Qayyum, M. M. N.; Niaz, R. S. 2014. Watermelon lycopene and allied health claims. *EXCLI Journal*, 13:650-660.

Neto, A.; Hafle, O.M.; Gurgel, F.L.; Menezes, J.B.; Silva, G.G. 2000. Qualidade e vida útil pós-colheita de melancia Crimson Sweet, comercializada em Mossoró. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(2):235-239.

Noh, J.; Kim, J. M.; Sheikh, S.; Lee, S. G.; Lim, J. H.; Seong, M. H.; Jung, G. T. 2013. Effect of heat treatment around the fruit set region on growth and yield of watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai]. *Physiology and Molecular Biology of Plant*, 19(4):509-514.

Nunes, M. C. N. 2008. Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables. Ed. Blackwell Publishing. 463 pp.

Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Baja California (OEIDRUSBC). 2016. Disponible en [http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus\\_bca/](http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/)

Perales, H. R.; Aguirre, J. R. 2008. Biodiversidad humanizada, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 565-603.

Pérez-López, M. 2015. Cultivo de sandía en suelo e hidroponía. p. 17-73. En J. C. Gazquez-Garrido (Coord). Técnicas de cultivo y comercialización de la sandía. Cajamar Caja Rural.

Perkins-Veazie, P.; Beaulieu, J. C.; Siddiq, M. 2012. Watermelon, cantaloupe and honeydew. In: Tropical and subtropical fruits: Postharvest physiology, processing and packaging, First Edition. 549-568 p.

Perkins-Veazie, P.; Collins, J. K.; Davis, A. R.; Roberts, W. 2006. Carotenoid content of 50 watermelon cultivars. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 54:2593-2597.

Pina, A.; Errea, P. 2005. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. *Scientia Horticulturae*, 106:1-11.

Pina, A.; Errea, P.; Martens, H.J. 2012. Graft union formation and cell-to-cell communication via plasmodesmata in compatible and incompatible stem unions of *Prunus spp.* *Scientia Horticulturae*, 143:144-150.

Pulgar, G.; Villora, G.; Moreno, D. A.; Romero, L. 2000. Improving the mineral nutrition in grafted watermelon plants: nitrogen metabolism. *Biologia Plantarum*, 43(4):607-609.

Ricárdez-Salinas, M.; Huitrón-Ramírez, M. V.; Tello-Marquina, J. C.; Camacho-Ferre, F. 2010. Planting density for grafted melon as an alternative to methyl bromide use in Mexico. *Scientia Horticulturae*, 126:236-241.

Risse, L. A.; Brecht, J. K.; Sargent, S. A.; Locascio, S. J.; Crall, J. M.; Elmstrom, G. W.; Maynards, D. N. 1990. Storage characteristics of small watermelon cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences*, 115:440-443.

Rivero, R. M.; Sánchez, E.; Ruiz, J. M.; Romero, L. 2003. Influence of temperature on biomass, iron metabolism and some related bioindicators in tomato and watermelon plants. *Journal Plant of Physiology*, 160:1065-1071.

Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Colla, G.; Rea, E. 2008. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *Hortscience*, 43(3):730-736.

Sabori-Palma, R.; Fu-Castillo, A. A.; Grageda-Grageda, J. 2010. Sandía. p. 79-85. In: E. Jiménez-García, C. Ortega-García. Guía técnica para el área de influencia del campo experimental costa de Hermosillo. INIFAP.

Sabori-Palma, R.; Grageda-Grageda, J.; Fu-Castillo, A. A. Sandía. p. 201-207. In: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2015. Agenda técnica agrícola sonora. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Segunda edición, México. 388 p.

Sakata, Y; Ohara, T; Sugiyama, M. 2007. The history and present state of the grafting of cucurbitaceous vegetables in Japan. *Acta Horticulturae*, 731:159-170.

Salaya-Domínguez, J. M.; Carrillo-Avila, E.; Palacios-Velez, O. L.; Aceves-Navarro, L. A.; Juárez-López, J.F. 2002. Respuesta del cultivo de sandía (*Citrullus vulgaris* Schrad) al potencial del agua en el suelo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(2):127-133.

Salehi, R.; Kashi, A.; Lee, J. M.; Babalar, M.; Delshad, M.; Lee, S. G.; Huh, Y. C. 2010. Leaf gas exchanges and mineral ion composition in xylem sap of iranian melon affected by rootstocks and training methods. *Hortscience*, 45(5):766-770.

Sargent, S.A. 1999. Handling and cooling techniques for maintaining postharvest quality. University of Florida, Department of Horticultural Sciences, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. 1-13 p.

Schwarz, D.; Rouphael, Y.; Colla, G.; Venema, J.H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127:162-171.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA-SIAP). 2014. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en <http://infosiap.siap.gob.mx>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. Manejo integrado de plagas. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Paginas/FichasTecnicasAgricolas.aspx>

Secretaría de Economía (SE-SIAVI). 2013. Sistema de Información Arancelaria Vía Internet. Disponible en <http://www.economia-snci.gob.mx/>

Sheikh, S.; Noh, J.; Seong, M. H.; Jung, G. T.; Kim, J. M. 2015. Consequences of chilling stress on watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai] germplasm lines at seedling stage. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56(1):79-88.

Smith, B. D. 2005. Reassessing Coxcatlan Cave and the early history of domesticated plants in Mesoamerica. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102:9438-9445.

Smith, F. W. 2002. The phosphate uptake mechanism. *Plant and Soil*, 245:105-114.

Soteriou, G.A.; Kyriacou, M.C.; Siomos, A.S.; Gerasopoulos, D. 2014. Evolution of watermelon fruit physicochemical and phytochemical composition during ripening as affected by grafting. *Food Chemistry*, 165:282-289.

Sousa, A. B. O.; Duarte, S. N.; Sousa-Neto, O. N.; Souza, A. C. M.; Sampaio, P. R. F.; Dias, C. T. 2016. Production and quality of mini watermelon cv. Smile irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(10):897-902.

Toivonen, P. M. A.; Brummell, D. A. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48:1-14.

Turhan, A.; Ozmen, N.; Kuscu, H.; Serbeci, M. S.; Seniz, V. 2012. Influence of rootstocks on yield and fruit characteristics and quality of watermelon. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 53(4):336-341.

United State Department of Agriculture (USDA). 2006. United States standards for grades of watermelons. Disponible en [http://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Watermelon\\_Standard%5B1%5D.pdf](http://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Watermelon_Standard%5B1%5D.pdf)

United States Department of Agriculture (USDA) 2012. ERS Economic Research Service. Disponible en <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1399>

Uygur, V.; Yetisir, H. 2009. Effects of rootstocks on some growth parameters, phosphorous and nitrogen uptake watermelon under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 32(4):629-643.

Uzcanga-Pérez, N. G.; Cano-González, A. J.; Ramírez-Silva, J. H. 2015. Diagnóstico socioeconómico del cultivo de sandía en el estado de Campeche, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6):1331-1344.

Wehner, T. C. 2008. Watermelon (p. 381-418). In: J. Prohens and F. Nuez (eds.). *Handbook of Plant Breeding; Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae*. Springer Science+Business LLC, New York, NY, 426 p.

Whitaker, T. W.; Cutler, U. C. 1965. Cucurbits and cultures in the Americas. *Economic Botany*, 19:344-349.

Yamasaki, A.; Yamashita, M.; Furuya, S. 1994. Mineral concentrations and cytokinin activity in the xylem exudate of grafted watermelons as affected by rootstocks and crop load. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 62(4):817-826.

Yang, Y.; Lu, X.; Yan, B.; Li, B.; Sun, J.; Guo, S.; Tezuka, T. 2013. Bottle gourd rootstock-grafting affects nitrogen metabolism in NaCl-stressed watermelon leaves and enhances short-term salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 170:653-661.

Yativ, M.; Harary, I.; Wolf, S. 2010. Sucrose accumulation in watermelon fruits: genetic variation and biochemical analysis. *Journal of Plant Physiology*, 167: 589-596.

Yau, E. W.; Rosnah, S.; Noraziah, M.; Chin, N. L.; Osman, H. 2010. Physico-chemical compositions of the red seedless watermelons (*Citrullus lanatus*). International Food Research Journal, 17:327-334.

Yetisir, H.; Caliskan, M. E.; Soylu, S.; Sakar, M., 2006. Some physiological and growth responses of watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai] grafted onto *Lagenaria siceraria* to flooding. Environmental and Experimental Botany, 58:1-8.

Yetisir, H.; Kurt, F.; Sari, N.; Tok, F. M. 2007. Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, graft compatibility, and resistance to Fusarium. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 31:381-388.

Yetişir, H.; Uygur, V. 2009. Plant growth and mineral element content of different gourd species and watermelon under salinity stress. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 33:65-77.

Yetişir, H.; Uygur, V. 2010. Responses of grafted watermelon onto different gourd species to salinity stress. Journal of Plant Nutrition, 33:315-327.

Zhao, W. E.; Lv, P.; Gu, H. 2013. Studies on carotenoids in watermelon flesh. Agricultural Sciences, 4:13-20.

## CAPÍTULO II. DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE SEMILLA Y FRUTO DE DIEZ COLECTAS MEXICANAS DE *Lagenaria siceraria*

### 2.1. Resumen

*Lagenaria siceraria* presenta una gran diversidad morfológica de semilla y fruto, por lo que es necesario identificar caracteres que diferencien morfotipos. El objetivo del estudio fue determinar la variación morfológica de semilla y de fruto de diez materiales de *Lagenaria* colectados en cuatro estados de México. La investigación se realizó en el campo experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, México durante el ciclo primavera-verano del 2014. Se establecieron en campo diez materiales criollos de *L. siceraria*. La variación morfológica de diecisiete características cuantitativas de fruto y semilla de las colectas se analizó mediante análisis multivariado por componentes principales y discriminante canónico, posteriormente se realizó análisis de conglomerado. La variación fenotípica de *L. siceraria* se diferenció principalmente por la longitud y diámetro de semilla, y en fruto por la longitud y circunferencia inferior, identificándose dos morfotipos a un nivel de disimilitud de 0.76. El primer morfotipo formado por las colectas L45, L46, L47 y L56, presentaron menor dimensión en fruto y semilla con alto nivel de similitud entre los materiales. El segundo morfotipo integrado por las colectas L43, L48, L50, L53, L54 y L55 fue más variable y presentó mayores dimensiones que el anterior. El reconocimiento de diferentes morfotipos independiente del origen de las colectas, hace suponer que el patrón de variabilidad estuvo asociado al tipo de uso de los frutos en las diferentes regiones del país.

**Palabras clave:** diversidad genética, familia cucurbitaceae, morfotipo.

## 2.2. Abstract

*Lagenaria siceraria* is morphologically variable in seed and fruit. Therefore, it is necessary identify characters that differentiate morphotypes. The aim of this study was to analyze the morphological variation in seed and fruit among ten *L. siceraria* landraces, collected in different regions of Mexico. The research was conducted at the experimental field of Institute of Agricultural Sciences UABC, Baja California, Mexico during the spring-summer 2014. The seeds from ten landraces were sown in open field. Morphological variation of seventeen quantitative characteristics in fruit and seed of landraces were subject to multivariate analysis by principal components and canonical discriminant, subsequently cluster analysis was performed. Phenotypic variation of *L. siceraria* differentiated mainly by length and diameter of seed, and length and lower circumference of fruit. Two morphotypes were identified to a dissimilarity level of 0.76. The first morphotype formed by L45, L46, L47 and L56 creoles materials, presented smaller size fruit and seed with a high level of similarity between the materials. The second formed by L43, L48, L50, L53, L54 and L55 landraces, was more variable and with larger size in seed and fruit. The recognition of different morphotypes independent the origin of landraces, suggests that the pattern of variability was associated with the type of use of fruits in different regions of the country.

**Keywords:** genetic diversity, family Cucurbitaceae, morphotype.

### 2.3. Introducción

*Lagenaria siceraria* es una cucurbitácea conocida regionalmente en México como guaje, bule o tecomate. La importancia de esta especie es el fruto en estado maduro, el cual es de pericarpio endurecido y leñoso (Teppner, 2004). El fruto desecado es abierto para extracción de la semilla y restos de pulpa; después son usados como recipientes para el almacenamiento de agua y granos (Cutler y Whitaker, 1961; Bevacqua, 1994). También es empleado como instrumento musical en eventos religiosos y artesanalmente es decorado y comercializado en mercados regionales (Whitaker y Cutler, 1965; Chimonyo y Modi, 2013). La diversidad de formas de los frutos producto del proceso de domesticación (Morimoto *et al.*, 2005), hace posible sus múltiples usos (Mladenović *et al.*, 2012).

En África, Asia, y América, diversas investigaciones coinciden en señalar que *Lagenaria*, es considerada una de las primeras especies cultivadas por el hombre. Estudios arqueológicos, evidencian que su cultivo en África se estima entre los años 4000 a 5000 AC, en Asia 6000 a 10000 AC y en América 8000 a 10000 AC (Richardson, 1972 citado por Decker-Walters, 2001; Erickson *et al.*, 2005; Simth, 2005). El origen de *L. siceraria* aunque ha sido polémico, análisis moleculares sugieren que germoplasmas americanos tienen orígenes mezclados de africanos y asiáticos (Gürçan *et al.*, 2015). La distribución de esta especie en las diferentes regiones del mundo se considera que se dio por dispersión natural a través de las corrientes marítimas y oceánicas (Richardson, 1972; Kistler *et al.*, 2014).

El género *Lagenaria* integra seis especies, de las cuales *siceraria* es la más variable en fruto y semilla principalmente. La forma del fruto varía de esférica a alargada, oblonga, formando dos cuerpos divididos por una constricción (Decker-Walters *et al.*, 2001; Morimoto *et al.*, 2005). Las semillas difieren en tamaño, peso, y color del margen de semilla (Yetisir *et al.*, 2008). La diversidad morfológica en los frutos y semillas, se considera que son consecuencia de diferencias genéticas, ambientales o la interacción de ambas (Husna *et al.*, 2011).

México como país de dispersión de *L. siceraria*, muestra amplia distribución de la especie (Lira-Saade y Rodríguez-Arévalo, 2006), manejada como planta de ornato en huertos familiares, donde es común encontrar de una a dos plantas; el

establecimiento de plantaciones con fines comerciales es escaso y no se dispone de evidencias suficientes. El interés actual de estudio de *L. siceraria* además del fruto, es el potencial de uso como portainjerto para la producción de cucurbitáceas como la sandía (Yetisir *et al.*, 2007; Karaca *et al.*, 2012; Candir *et al.*, 2013). Sin embargo, es necesario explorar previamente la diversidad de materiales nativos. Por lo anterior el objetivo del presente estudio fue determinar la variación morfológica de semilla y de fruto de diez materiales de *Lagenaria* colectados en cuatro entidades de México

#### **2.4. Materiales y métodos**

Las colectas de frutos de *L. siceraria* fueron realizadas en los estados de Oaxaca, San Luis Potosí, Morelos y Baja California en el año 2013 (Cuadro 3), las cuales consistieron de dos a cuatro frutos, que posteriormente se les extrajo la semilla. Las colectas fueron establecidas y evaluadas en el Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, de la Universidad Autónoma de Baja California en el periodo primavera-verano del año 2014. Cada una de las colectas estuvo representada por 25 plantas, las cuales fueron obtenidas de semillas sembradas en charolas de fon de 67.5 cm de largo, 33.5 cm de ancho y 7.3 cm de alto. Cada charola contuvo 128 cavidades de forma cónico con dimensiones de 3.8 cm x 3.8 cm y capacidad de 55 ml. Las plántulas con cuatro hojas verdaderas desarrolladas fueron trasplantadas en campo (32°24'19.8" N 115°11'50.1" O). La distribución de las plantas fue en hileras a una distancia entre plantas de 50 cm y 150 cm entre hileras.

En la etapa de floración (específicamente en la fase de botón), las flores masculinas y femeninas de cada colecta fueron cubiertas con bolsas de glassine. Posteriormente, en antesis las flores fueron polinizadas manualmente con polen proveniente de las plantas de la misma colecta. En cada planta, se mantuvieron de tres a cinco frutos hasta su madurez. Después de cosechados los frutos fueron sometidos a un periodo de secado para la extracción de semillas. En cada colecta se tomaron al azar 20 frutos y 100 semillas que fueron caracterizadas con base en las características descritas en el Cuadro 4.

Cuadro 3. Clave y procedencia de colectas mexicanas *L. siceraria* empleadas en un estudio de diversidad morfológica. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014

Clave	Procedencia
L43	Poblado Díaz Ordaz, Ensenada, Baja California
L45	Mexicali, Baja California
L46	Silacayoapan, Oaxaca
L47	Mexicali, Baja California
L48	Camalu Baja California
L50	Camalu Baja California
L53	Ejido Nuevo León – Mexicali, Baja California
L54	Rio Verde, San Luis Potosí
L55	Ejido Nuevo León – Mexicali, Baja California
L56	Cautla, Morelos

Cuadro 4. Caracteres evaluados en frutos y semillas de *L. siceraria* empleados en un estudio de diversidad morfológica. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014.

Núm.	Carácter	Abreviación
1	Longitud de pedúnculo de fruto (cm)	LPED
2	Longitud de fruto (cm)	LFR
3	Circunferencia superior de fruto (cm)	CSUP
4	Circunferencia inferior de fruto (cm)	CINF
5	Circunferencia de cintura de fruto (cm)	CTU
6	Volumen de fruto (ml)	VF
7	Número de semillas por fruto	NSF
8	Peso de cien semillas (g)	PCS
9	Peso de testa de semilla (g)	PTS
10	Peso de almendra de semilla (g)	PAS
11	Longitud de semilla (cm)	LS
12	Ancho de semilla (cm)	AS
13	Grosor de semilla (cm)	GS
14	Esfericidad de semilla	ESS
15	Diámetro aritmético semilla (cm)	DAS
16	Relación AS/LS de semilla (%)	RALS
17	Área estimada de semilla (cm <sup>2</sup> )	AES

VARIABLES DE SEMILLA: Esfericidad, diámetro aritmético, relación largo ancho y área, fueron cuantificadas mediante ecuaciones propuestas por Pradhan *et al.* (2013).

a) Esfericidad de semilla (ESS) expresado en porcentaje.

$$ESS = \frac{(LS * AS * GS)^{1/3}}{LS} \quad (1)$$

b) El diámetro aritmético de la semilla (DAS).

$$DAS = \frac{LS + AS + GS}{3} \quad (2)$$

c) La relación ancho/largo de semilla (RALS).

$$RALS = AS/LS \times 100 \quad (4)$$

d) El área de la semilla (AES).

$$AES = \pi D_g^2 \quad (5)$$

En las variables de fruto, la circunferencia superior e inferior se refiere las dos partes separada por la constricción del fruto, tal como se aprecia en la Figura 5.

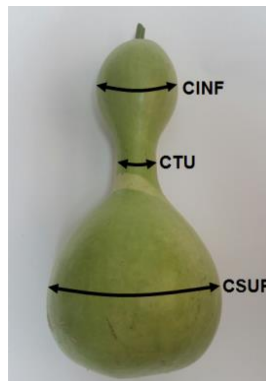


Figura 5. Caracteres evaluados en fruto de *L. siceraria* empleados en un estudio de diversidad morfológica. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014.

La información generada fue analizada mediante componentes principales (ACP), con el propósito de identificar las variables de mayor importancia en la variación de las colectas de *Lagenaria*. Posteriormente se realizó análisis discriminante canónico

y análisis de agrupamiento mediante la técnica de UPGMA. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS v. 9.2 (SAS, 2008).

## 2.5. Resultados

En la variación morfológica de las diez colectas analizadas mediante caracteres de fruto y semilla (Cuadro 5), se encontró que los dos primeros componentes (CP1=72.21% y CP2=9.81%) explicaron el 82% de la variación total. En el primer componente se identificó en fruto a las variables volumen y circunferencia de la parte superior e inferior como las de mayor contribución a la variación y en el caso de semilla el peso de 100 semillas, longitud, diámetro y área estimada. El segundo componente únicamente se asoció con longitud de fruto.

Cuadro 5. Vectores propios y porcentaje de variación total en los primeros dos componentes principales (CP) de diez colectas mexicanas de *Lagenaria siceraria*, empleadas en un estudio de diversidad morfológica. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014.

Carácter	CP 1	CP 2
Longitud de pedúnculo (LPED)	0.21	-0.37
Longitud de fruto (LFR)	0.17	0.55
Circunferencia superior de fruto (CSUP)	0.26	-0.12
Circunferencia inferior de fruto (CINF)	0.26	0.17
Circunferencia de cintura de fruto (CTU)	0.23	-0.27
Volumen de fruto (VF)	0.26	0.04
Numero de semillas por fruto (NSF)	0.20	0.37
Peso de 100 semillas (PCS)	0.25	0.19
Peso de testa de semilla (PTS)	0.22	-0.04
Peso de almendra de semilla (PAS)	0.23	0.03
Longitud de semilla (LS)	0.27	-0.10
Ancho de semilla (AS)	0.21	0.30
Grosor de semilla (GS)	0.19	-0.19
Esfericidad de semilla (ESS)	-0.23	0.13
Diámetro aritmético de semilla (DAS)	0.28	-0.02
Relación ancho/largo de semilla (RALS)	0.18	-0.33
Área estimada de semilla (AES)	0.27	-0.01
% variación	72.21	9.81
% variación acumulada	72.21	82.02

En la dispersión de las colectas (Figura 6) generada por los componentes principales, se observa que en el componente 1 los materiales L43, L48, L50, L53, L54 y L55 comparten características similares en presentar semillas grandes (longitud=1.78 a 2.22 cm, diámetro aritmético=1.00-1.15 cm, área estimada=2.08 a 2.61 cm<sup>2</sup>) y de mayor peso (peso de 100 semillas=18.01-24.93 g), las cuales estuvieron contenidas en frutos de mayor volumen (1981.75-3353.75 ml) y circunferencia (superior=27.65 a 36.18 cm e inferior=60.95 a 71.63 cm), con respecto al grupo formado por las colectas L45, L46, L47 y L56 que se caracterizaron por contener frutos y semillas de menor tamaño. La longitud de semillas fue de 1.17 a 1.48 cm, diámetro aritmético=0.70-0.84 cm y área de 1.15-1.67 cm<sup>2</sup>, en frutos el volumen varió de 309.33 a 1185.71 ml, circunferencia superior=17.37 a 23.91 cm y circunferencia inferior=29.86-48.03. En el componente 2, solo la colecta L53, se diferenció de las demás por presentar mayor longitud de fruto (44.75±4.78 cm), ya que resto de las colectas presentó 34% menos de longitud (16.23 a 29.17 cm).

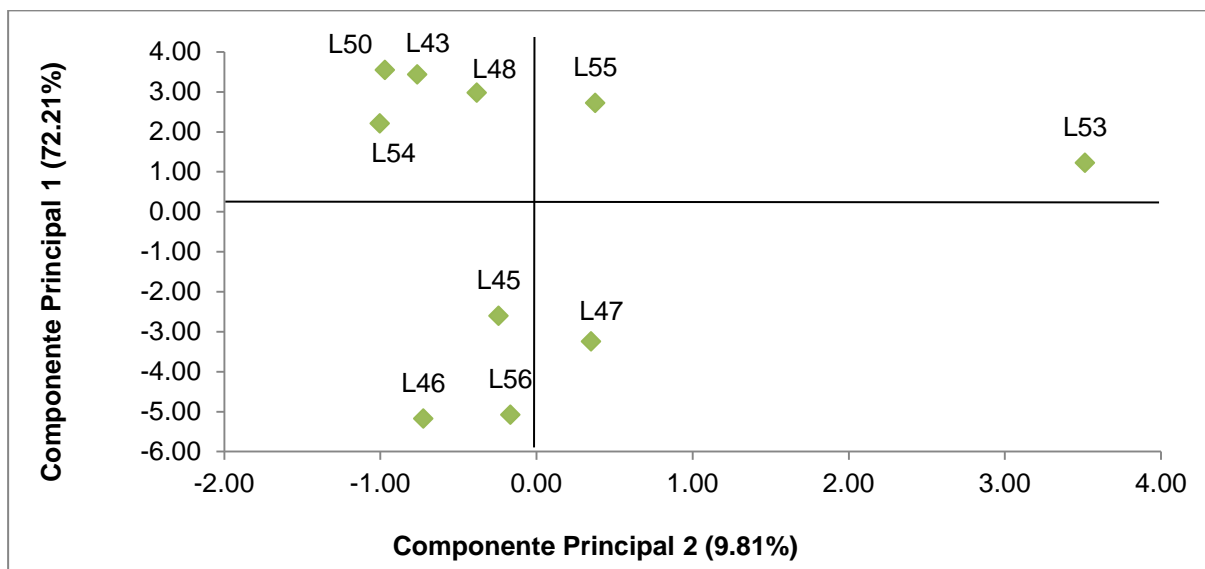


Figura 6. Distribución de diez colectas mexicanas de *L. siceraria* con base en los dos primeros componentes principales del análisis de 17 variables. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014.

En el análisis discriminante canónico de las diez colectas con base en ocho caracteres seleccionados del ACP (Cuadro 6), se ratificó que los caracteres

circunferencia inferior de fruto, longitud y diámetro aritmético de semilla son los de mayor importancia en la variación de *Lagenaria* de acuerdo a la primera función discriminante canónica que registró el 77% de la variación total. En lo que respecta a la función discriminante 2, la contribución en la variación fue del 10%, atribuyéndose principalmente a diferencias en la longitud del fruto entre las colectas.

Cuadro 6. Coeficientes canónicos y porcentaje de variación total de las dos primeras funciones discriminantes de diez colectas mexicanas de *Lagenaria siceraria*, empleadas en un estudio de diversidad morfológica. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014.

Carácter	CAN 1	CAN 2
Longitud de fruto (LFR)	0.76	-0.49
Circunferencia superior de fruto (CSUP)	0.80	0.13
Circunferencia inferior de fruto (CINF)	0.94	0.00
Volumen de fruto (VF)	0.90	-0.01
Peso de 100 semillas (PCS)	0.79	-0.18
Longitud de semilla (LS)	0.94	0.11
Diámetro aritmético de semilla (DAS)	0.95	0.05
Área estimada de semilla (AES)	0.92	0.05
% variación	77.72	9.52
% variación acumulada	77.72	87.24

La similitud en las características de las colectas identificadas por el análisis discriminante canónico, formó grupos de 2 y 3 materiales (Figura 7 y Cuadro 7). Uno de los grupos lo integró las colectas L43, L50 y L54, las cuales presentaron valores de longitud de fruto de 26.79 a 29.01 cm, circunferencia inferior de 60.95 a 71.63 cm, longitud de semilla de 2.07 a 2.15 cm y diámetro aritmético de 1.06 a 1.15 cm. Un segundo grupo se formó con las colectas L45 y L47, que tuvieron menores dimensiones que el grupo anterior, por ejemplo la longitud de fruto fue 21.70 a 23.61 cm, circunferencia de 47.37 a 48.03 cm, longitud de semilla de 1.41 a 1.48 cm y diámetro aritmético de 0.83 a 0.84 cm. El tercer grupo lo conformaron las colectas L46 y L56, que se diferenciaron de los dos grupos anteriores por ser de menor dimensión. La longitud del fruto fue de 16.23 a 17.87 cm, circunferencia de 29,86 a 30.65 longitud de semilla de 1.17 a 1.25 y diámetro aritmético de 0.70 a 0.75 cm.

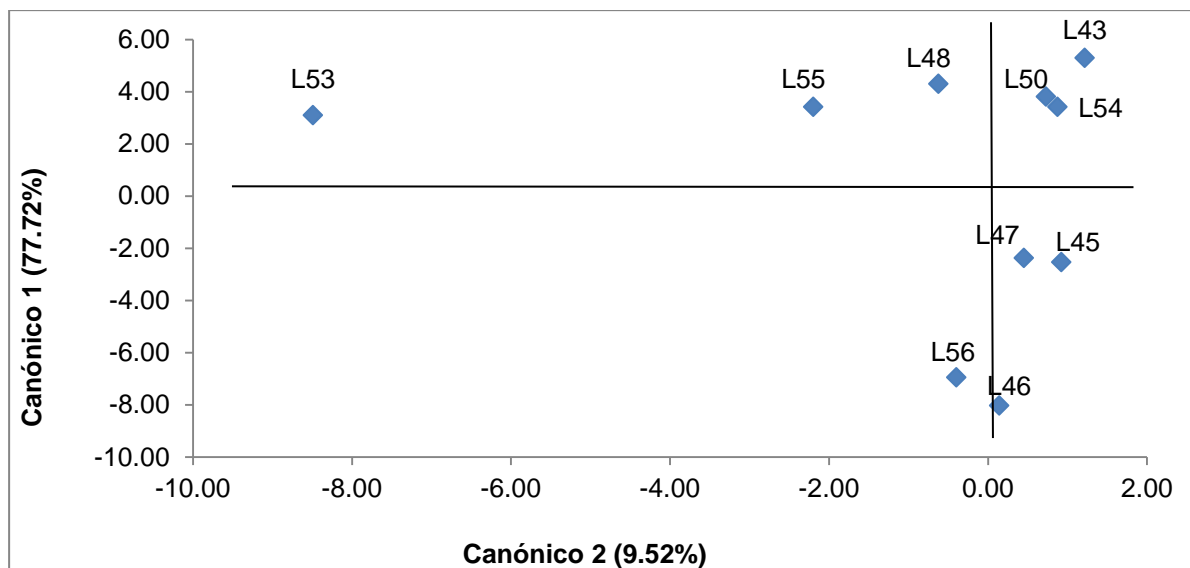


Figura 7. Distribución de diez colectas mexicanas de *Lagenaria siceraria* con base en las dos primeras funciones discriminantes canónicas de ocho variables seleccionadas en ACP. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014.

Cuadro 7. Media y error estándar de caracteres: longitud de fruto (cm), circunferencia inferior en fruto (cm), longitud de semillas (cm) y diámetro aritmético de semilla (cm) en diez colectas mexicanas de *Lagenaria siceraria*. Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014.

Colectas	Longitud de Fruto (cm)	Circunferencia inferior (cm)	Longitud de semilla (cm)	Diámetro aritmético de semilla (cm)
L 43	29.01±1.01	71.63±1.88	2.15±0.04	1.12±0.02
L 45	21.70±0.43	48.03±1.08	1.41±0.04	0.83±0.02
L 46	16.23±0.63	30.65±0.88	1.17±0.02	0.70±0.01
L 47	23.61±0.72	47.37±1.48	1.48±0.02	0.84±0.01
L 48	29.17±0.66	62.65±0.90	2.17±0.04	1.11±0.01
L 50	26.79±0.86	60.95±1.39	2.22±0.03	1.15±0.02
L 53	44.75±4.78	68.95±7.05	1.78±0.06	1.00±0.04
L 54	27.33±0.53	65.27±1.63	2.07±0.06	1.06±0.02
L 55	26.25±1.93	63.63±4.72	1.85±0.02	1.09±0.01
L 56	17.87±0.25	29.86±0.71	1.28±0.03	0.75±0.01

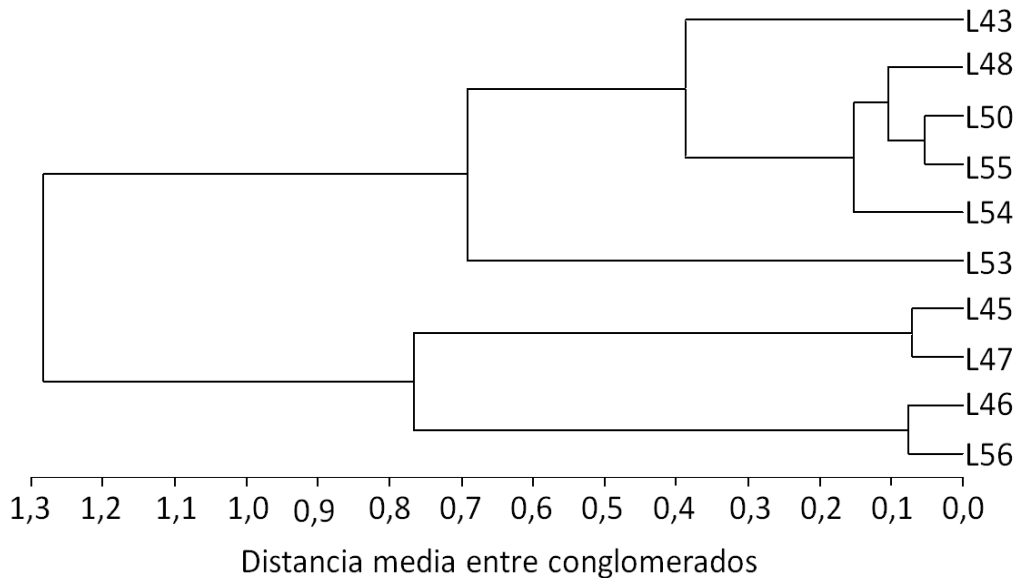


Figura 8. Fenograma de diez colectas mexicanas de *Lagenaria siceraria*, obtenido por la técnica de ligamiento promedio (UPGMA). Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, México. 2014.

El fenograma obtenido muestra la separación de las colectas de *L. siceraria* en dos grupos a un nivel de disimilitud de 0.76 (Figura 8). El primer grupo se integró por las colectas L45, L46, L47 y L56, las cuales a su vez se subdividen en dos subgrupos con alto nivel similitud, el primer subgrupo se conformó por los materiales L46 y L56, mientras que el segundo subgrupo lo integraron las dos colectas restantes. El segundo grupo se integró por las seis colectas restantes, donde L53 y L43 difirieron de las demás en niveles de disimilitud de 0.76 y 0.38 respectivamente, identificándose las colectas L48, L50, L55 y L54 dentro de un mismo grupo.

## 2.6. Discusión

La diversidad morfológica de *L. siceraria* ha sido estudiada mediante la evaluación de caracteres de plántula, planta, hoja, flor, fruto y semilla. Sin embargo, a través de análisis de componentes principales diversas investigaciones coinciden en indicar que caracteres de semilla y frutos son de mayor importancia en la formación de morfotipos (Yetisir *et al.*, 2008; Koffi *et al.*, 2009), además de algunos caracteres de flor y plántula que han contribuido en menor proporción con la variación (Yetisir *et al.*, 2008; Koffi *et al.*, 2009).

En semilla, longitud, ancho, tamaño, peso de cien semillas y número de semilla por fruto y en fruto el volumen, han sido los más importantes descriptores en *L. siceraria* (Yetisir *et al.*, 2008; Koffi *et al.*, 2009). Estos caracteres en parte también fueron identificados en el análisis de componentes principales en la presente investigación. En semilla las características de longitud, peso de cien semillas, diámetro aritmético y área estimada, y en fruto circunferencia superior e inferior, agruparon a las diez colectas de *L. siceraria* en dos grupos (Figura 6). Uno de los grupos se formó por las colectas L43, L48, L50, L54 y L55, las cuales compartieron mayores dimensiones en semilla y fruto con respecto al segundo grupo integrado por L45, L46, L47 y L56. Las características propias de cada grupo estuvieron relacionadas con la correlación positiva entre las dimensiones de semilla y fruto (Mladenović *et al.*, 2012).

El fenograma formado por dos grupos con base en la similitud de caracteres entre las colectas (Figura 8), permitió identificar como principales descriptores a la longitud y diámetro aritmético de semilla y en fruto a la longitud y circunferencia inferior. Uno de los grupos se integró por las colectas L43, L48, L50, L53, L54 y L55, que se caracterizó por ser variable y presentar las mayores dimensiones en semilla y fruto. Las semillas presentaron longitudes de 1.78 cm a 2.15 cm y diámetro de 1.00 a 1.12 cm y en el caso de longitud de fruto de 29.01 a 44.75 cm y circunferencia de 62.02 a 71.63 cm. Estas variaciones identifican a L53 y L43 como las de mayor contraste, mientras que L48, L50, L54 y L55 fueron más similares. El segundo conglomerado, se distinguió del anterior por presentar semillas y frutos de menor dimensión, así como mayor similitud entre las colectas. Las colectas 46 y 56, compartieron alto nivel de similitud, al igual que L45 y L47. La integración de las diez colectas en dos morfotipos formados de manera independiente al origen geográfico de los materiales y alto nivel similitud dentro de uno de los grupos, hacen evidente que la variación morfológica de *L. siceraria* fue consecuencia de la domesticación de la especie, donde los criterios de selección socialmente son definidos de acuerdo al interés de uso de la especie (Morimoto *et al.*, 2005; Lema, 2009), identificándose morfotipos claramente definidos.

## **2.7. Conclusión**

El presente estudio evidenció que *Lagenaria siceraria* en México fue variable morfológicamente principalmente en características de longitud y diámetro de semilla, y en fruto en su longitud y circunferencia inferior. El reconocimiento de diferentes morfotipos independiente al origen de las colectas, hace suponer que el patrón de variabilidad estuvo asociado al tipo de uso de los frutos en las diferentes regiones del país.

## 2.8. Literatura citada

Bevacqua, R.F. 1994. Origin of horticulture in Southeast Asia and the dispersal of domesticated plants to the Pacific islands by Polynesian voyagers: the Hawaiian Islands case study. *HortScience*, 29:1226-1229.

Candir, E.; Yetisir, H.; Karaca, F.; Ustun, D. 2013. Phytochemical characteristics of grafted watermelon on different bottle gourds (*Lagenaria siceraria*) collected from the Mediterranean region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37:443-456.

Chimonyo, V. G. P.; Modi, A. T. 2013. Seed performance of selected bottle gourd (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.). *American Journal of Experimental Agriculture*, 3:740-766.

Cutler, H. C.; Whitaker, T. W. 1961. History and distribution of the cultivated cucurbits in the Americas. *American Antiquity*, 26:469-485.

Decker-Walters, D.; Staub, J.; López-Sesé, A.; Nakata, E. 2001. Diversity in landraces and cultivars of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*; Cucurbitaceae) as assessed by random amplified polymorphic DNA. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 48:369-380.

Erickson, D. L.; Smith, B. D.; Clarke, A. C.; Sandweiss, D. H.; Tuross, N. 2005. An Asian origin for a 10,000-year-old domesticated plant in the Americas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102:18315-18320.

Gürçan, K.; Say, A.; Yetisir, H.; Denli, N. 2015. A study of genetic diversity in bottle gourd [*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.] population, and implication for the historical origins on bottle gourds in Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 62:321-333.

Husna, A.; Mahmud, F.; Islam, M. R.; Mahmud, M.A.A.; Ratna, M. 2011. Genetic variability, correlation and path co-efficient analysis in bottle gourd (*Lagenaria siceraria* L.). *Advances in Biological Research*, 5:323-327.

- Karaca, F.; Yetisir, H.; Solmaz, I.; Candir, E.; Kurt, S.; Sari, N.; Guler, Z. 2012. Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, yield and quality. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36:167-177.
- Kistler, L.; Montenegro, A.; Smith, B. D.; Gifford, J. A.; Green, R. E.; Newsom, L. A.; Shapiro, B. 2014. Transoceanic drift and the domestication of African bottle gourds in the Americas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111:2937-2941.
- Koffi, K. K.; Anzara, G. K.; Malice, M.; Djè, Y.; Bertin, P.; Baudoin, J. P.; Zoro-Bi, Y. A. 2009. Morphological and allozyme variation in a collection of *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. from Côte d'Ivoire. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 13:257-270.
- Lema, V. S. 2009. Criterios de selección en los procesos de manipulación vegetal: el aporte de la etnobotánica a la interpretación de restos arqueobotánicos de *Cucurbita sp.* *Darwiniana* 47(1): 35-55.
- Lira-Saade, R.; Rodríguez-Arévalo, I. 2006. Catálogo de la familia Cucurbitaceae de México. Informe final SNIB-Conabio Proyecto DS002. Universidad Nacional Autónoma de México, MEX.
- Mladenović, E.; Berenji, J.; Ognjanov, V.; Ljubojević, M.; Čukanović, J. 2012. Genetic variability of bottle gourd *Lagenaria siceraria* (mol.) Standley and its morphological characterization by multivariate analysis. *Archives of Biological Sciences*, 64:573-583.
- Morimoto, Y.; Maundu, P.; Fujimaki, H.; Morishima, H. 2005. Diversity of landraces of the white-flowered gourd (*Lagenaria siceraria*) and its wild relatives in Kenya: fruit and seed morphology. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52:737-747.
- Pradhan, R. C.; Said, P. P.; Singh, S. 2013. Physical properties of bottle gourd seeds. *Agricultural Engineering International*, 15(1):106-113.
- Richardson, J. B. 1972. The pre-columbian distribution of the bottle gourd (*Lagenaria siceraria*): a re-evaluation. *Economic Botany*, 26:265-273.

SAS, 2008. SAS versión 9.2. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA

Smith, B. D. 2005. Reassessing Coxcatlan Cave and the early history of domesticated plants in Mesoamerica. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102:9438-9445.

Teppner, H. 2004. Notes on *Lagenaria* and *Cucurbita* (Cucurbitaceae) – Review and new contributions. *Phyton (Horn)* 44:245-308.

Whitaker, T. W.; Cutler, U. C. 1965. Cucurbits and cultures in the Americas. *Economic Botany*, 19:344-349.

Yetisir, H.; Kurt, F.; Sari, N.; Tok, F. M. 2007. Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, graft compatibility, and resistance to Fusarium. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31:381-388.

Yetisir, H.; Sakar, M.; Serce, S. 2008. Collection and morphological characterization of *Lagenaria siceraria* germplasm from the Mediterranean region of Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55:1257-1266.

### **CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE PORTAINJERTOS CRIOLLOS DE *Lagenaria siceraria* EN LA PRODUCCIÓN DE SANDÍA INJERTADA**

#### **3.1. Resumen**

El injerto en hortalizas es una alternativa en los sistemas de producción de cultivos bajo condiciones adversas, siendo de mayor importancia portainjertos de *Cucurbita* y *Lagenaria* en el cultivo de sandía. La especie *Lagenaria siceraria* se encuentra distribuida en México, sin embargo, el uso de materiales criollos como portainjerto es limitado o nulo, por lo que, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar y seleccionar las mejores combinaciones de portainjertos criollos de *L. siceraria* en dos variedades de sandía. El experimento se realizó en un arreglo factorial 2x7 dentro de un diseño completamente al azar y tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron producción precoz, rendimiento total, firmeza de pulpa, proporción de pulpa en fruto y contenido de sólidos solubles. La mayor precocidad de sandía se obtuvo con la variedad 2800 superando en un 12.35% a Sangría, y en el caso de portainjertos, la tendencia generalizada fue mayor precocidad con respecto a las plantas control. El rendimiento se favoreció por el injerto principalmente con las combinaciones de L43 y L56. La proporción de pulpa fue superior en 4.58% en la variedad 2800 con respecto a Sangría, mientras que, no se presentaron efectos significativos por la combinación de injerto. El contenido de sólidos solubles totales fue un parámetro con efectos significativos en la interacción de variedad por combinación de injerto, registrándose mayores incrementos en esta variable en las combinaciones de los portainjertos con la variedad Sangría. Los portainjertos con mayor efecto en precocidad, rendimiento y calidad de fruto fueron L43 y L50, los cuales pueden ser considerados para programas de mejoramiento posteriores.

**Palabras clave:** sandía, *Lagenaria siceraria*, injerto, portainjertos criollos

### 3.2. Abstract

Vegetable grafting is an alternative in crop production systems under adverse conditions. The most important rootstocks are *Cucurbita* and *Lagenaria* in the cultivation of watermelon. The *Lagenaria* specie is distributed in Mexico, however, the use of natives materials as rootstock is limited or non-existent, so that this investigation was to evaluate and select the best combinations of native rootstock *Lagenaria siceraria* and two watermelon varieties. The experimental design utilized was completely randomized with factorial arrangement 2x7 and three replicates per treatment. The variables evaluated were early production, total yield, pulp firmness, pulp proportion of fruit and total soluble solids. The production precocity was greatest with variety 2800 exceeding by 12.35% to Sangría, and in the case of rootstocks, the general trend was higher precocity with respect to control plants. The yield was favored by graft mainly combinations L43 and L56. The proportion of pulp was higher in 2800 compared with Sangría, whereas no significant effects observed by combination of graft. The total soluble solids content was a parameter with significant effects on the interaction between variety and combining graft, registering higher increases in this variable in combinations of rootstocks with variety Sangría. The rootstocks more impact on precocity, yield and fruit quality were L43 and L50, which can be considered for subsequent improvement programs.

**Keywords:** watermelon, *Lagenaria siceraria*, grafting, creoles rootstocks.

### 3.3. Introducción

El injerto en hortalizas es una alternativa ecológica para el control de enfermedades del suelo en la producción de cultivos de solanáceas y cucurbitáceas (Crino *et al.*, 2007; Barrett *et al.*, 2012), además de inducir mayor tolerancia a condiciones de salinidad de suelos, sequía, altas y bajas temperaturas (Colla *et al.*, 2006; Schwarz *et al.*, 2010). Los efectos en las plantas son expresados en mayor crecimiento y producción con respecto a las plantas sin injerto (Tarchoun *et al.*, 2005).

En el cultivo de sandía, las plantas comúnmente son injertadas en portainjertos de *Cucurbita maxima*, *C. moschata*, híbridos de *Cucurbita* (*C. maxima* x *C. moschata*), y *Lagenaria siceraria* (Lee *et al.*, 2010) y la respuesta generalizada ha sido mantener o incrementar el rendimiento (Alan *et al.*, 2007), sin embargo, los días a cosecha al igual que los parámetros de calidad de los frutos son modificados por la combinación portainjerto-variedad (Petropoulos *et al.*, 2014; Soteriou *et al.*, 2014). Los cambios inducidos en las plantas injertadas con portainjertos de *L. siceraria*, es necesario conocerlos previamente antes de emplearse de forma comercial.

*L. siceraria* es considerada una especie originaria de África, sin embargo, se tiene evidencia que en América fue una de las primeras especies cultivadas en los años 8000 a 10000 AC (Richardson, 1972). En México, actualmente *L. siceraria* se distribuye en varios estados de la república mexicana, donde su cultivo se reduce a huertos familiares con interés ornamental, además de emplear sus frutos como recipientes para el almacenamiento de agua o bien como artesanía decorada con diferentes colores y figuras (Lira y Rodríguez, 2006; Chimonyo y Modi, 2013) . El conocimiento como portainjerto ha sido escaso, a pesar de la evidencia de las múltiples ventajas de dicha especie en la producción de sandía. Por lo anterior, en el presente estudio se evaluaron seis materiales criollos de México de *L. siceraria* en la producción de dos variedades de sandía, con el objetivo de seleccionar materiales promisorios para la producción y calidad de sandía.

### 3.4. Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, México (32.40° N y 115.2°

O) en el ciclo primavera-verano 2015. Variedades diploides de sandía 2800 y Sangría fueron injertadas sobre seis portainjertos criollos de *L. siceraria* colectados en México (Cuadro 8). La técnica de injerto empleada fue de púa descrita por Maroto *et al.* (2002). Una vez realizado el injerto, las plántulas se mantuvieron en cámara húmeda (80 a 90% de humedad) con temperatura de 20 a 25 °C por un periodo de siete días, posteriormente se redujo gradualmente la humedad hasta un 60% en un lapso de cuatro días.

Cuadro 8. Ubicación geográfica y tamaño de fruto de materiales criollos *L. siceraria* colectados en México.

Clave	Sitio de colecta	Coordenadas geográficas		Altitud m.s.n.m.	Volumen de fruto (ml)
		Latitud Norte	Longitud Oeste		
L43	Ensenada, Baja California	30°30'22,20"	115° 56'09,11"	13	2591 (grande)
L46	Silacayoapan, Oaxaca	17°30'08,47"	98°08'18,40"	1661	361 (pequeño)
L48	Ensenada, Baja California	30°50'22,76"	116°03'53,39"	27	2342 (grande)
L50	Ensenada, Baja California	30°03'20,48"	116°03'53,57"	26	2512 (grande)
L54	Rio Verde, San Luis Potosí	21°53'40,34"	100°02'48,86"	1011	2117 (mediano)
L56	Cuautla, Morelos	18°48'46,07"	98°57'55,40"	1289	309 (pequeño)

Cuadro 9. Relación de tratamientos empleados en la evaluación de dos variedades sandía sin injerto e injertadas en seis portainjertos de *L. siceraria*.

Combinación de injerto (CI)	Variedad (V)	
	2800	Sangría
Control	T1=2800 sin injerto	T8=Sangría sin injerto
L 43	T2=2800/L43	T9=Sangría/L43
L 46	T3=2800/L46	T10=Sangría/L46
L 48	T4=2800/L48	T11=Sangría/L48
L 50	T5=2800/L50	T12=Sangría/L50
L 54	T6=2800/L54	T13=Sangría/L54

La plantación se llevó a cabo a campo abierto en suelo de textura arcillosa con pH de 8. El trasplante se hizo cuando las plantas presentaron cuatro hojas verdaderas a un marco de plantación de 0.90 m x 3.75 m. El experimento se estableció en un arreglo factorial 2x7 dentro de un diseño completamente al azar, replicando cada tratamiento tres veces y una unidad experimental de 18 plantas. Los factores de estudio fueron variedad (2800 y Sangría) y combinación de injerto (control y portainjertos L43, L46, L48, L50, L54 y L56), los cuales generaron 14 tratamientos (Cuadro 9).

En el manejo del cultivo se aplicaron los riegos por sistema de goteo, el volumen se estimó de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo (Etc), la cual fue estimada como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) y el coeficiente del cultivo (Kc) (Allen *et al.*, 2006). La fertilización fue 129-92-154 NPK complementada con 61.5 kg CaO y 15 kg MgO (Fernández, 1998). Se emplearon abejas (*Apis mellifera*) para asegurar una buena polinización, en una relación de cuatro colmenas por hectárea. En la cosecha de los frutos se utilizó como criterio el secado de la estípula y zarcillo próximo al pedúnculo del fruto.

Las variables evaluadas fueron producción precoz (%), rendimiento de fruto ( $t\ ha^{-1}$ ), firmeza de pulpa (Newtons), porcentaje de pulpa (%) y contenido de sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix). La producción precoz se determinó como la razón del rendimiento acumulado de los dos primeros cortes entre el rendimiento total, expresado en porcentaje. En rendimiento de fruto se consideró la sumatoria de cuatro cortes realizados. La calidad de fruto se determinó en tres frutos por repetición tomados al azar en el segundo corte. En cada uno de los frutos se realizaron tres mediciones de firmeza y contenido de sólidos solubles. La firmeza se cuantificó con un medidor de fuerza digital Chatillon DFE-100 (AMETEK Inc., Florida, USA), y el contenido de sólidos solubles totales con un refractómetro Digital Reichert AR200 (Reichert Inc., New York, USA). El porcentaje de pulpa se determinó con respecto al peso total del fruto.

Los datos generados se analizaron con el programa estadístico SAS 9.1, mediante el procedimiento GLM (General Linear Models) y las medias se compararon con la prueba de DMS (Diferencia mínima significativa) a un nivel de significancia de 0.05.

### 3.5. Resultados y discusión

La precocidad en la producción de sandía por efecto de las variedades, se encontró que la variedad 2800 superó en 12.35% en producción a Sangría en los dos primeros cortes (Cuadro 10 y 11), mientras que al comparar el efecto de los portainjertos, la producción precoz se incrementó en 15.76% con respecto a la plantas sin injerto, sobresaliendo las combinaciones con el portainjerto L46, donde los incrementos fueron hasta del 19.22%. La precocidad estuvo asociada a la aparición prematura de flores pistiladas (datos no mostrados), tal como lo reportó Yamasaki *et al.* (1994). Contrariamente, en otros estudios, se ha reportado menor precocidad en cosecha de sandía injertada en calabaza, lo que se atribuye a mayor absorción de nitrógeno expresado en mayor crecimiento vigoroso de la plantas y retraso en la maduración de los frutos (Huang *et al.*, 2016). Estos mismos investigadores señalan que *Lagenaria* como portainjerto, son menos eficientes en la absorción de nutrientes de N, K y Mg, lo cual explicaría la respuesta de mayor precocidad registrada en el presente estudio.

Cuadro 10. Análisis de varianza de producción y calidad de frutos de sandía en dos variedades de sandía sin injerto e injertadas en seis portainjertos de *L. siceraria*.

Fuente de varianza	Producción precoz (%)	Rendimiento total (t ha <sup>-1</sup> )	Firmeza de pulpa (N)	Porcentaje de pulpa (%)	Contenido de sólidos solubles totales (°Brix)
V	**	ns	ns	**	***
CI	*	*	***	ns	***
V*CI	ns	ns	ns	ns	**

<sup>ns</sup> no significativo, \*nivel de significancia al 0.05, \*\* nivel de significancia al 0.01, \*\*\* nivel de significancia al 0.001.

V=variedad y CI=combinación de injerto.

En rendimiento de fruto (Cuadro 10 y 11), se encontró que la mayoría de los portainjertos empleados en ambas variedades, incrementaron en 20% el rendimiento en comparación con las plantas sin injerto. Este efecto inducido por *L. siceraria*,

también ha sido reportado por Yetisir y Sari (2003) y Karaca *et al.* (2012), quienes coinciden en señalar aumentos en rendimiento que oscila de 27% a 107%, producto de mayor número y tamaño de los frutos. Esta superioridad en la producción se atribuye a mayores tasas de absorción de agua y nutrientes a través de las raíces, así como la asimilación de CO<sub>2</sub> por las hojas (Rouphael *et al.*, 2008). Otro factor involucrado es la mayor proporción de flores femeninas (Islam *et al.*, 2013).

Cuadro 11. Comparación de medias de las variables producción precoz y rendimiento total de sandía en dos variedades sin injerto e injertadas en seis portainjertos de *L. siceraria*.

Combinación injerto	Producción precoz (%)			Rendimiento total (t ha <sup>-1</sup> )		
	2800	Sangría	Media	2800	Sangría	Media
Control	68.88	61.54	65.21 <sup>B</sup>	31.98	29.24	30.61 <sup>B</sup>
L 43	90.44	74.21	82.32 <sup>A</sup>	58.44	49.47	53.95 <sup>A</sup>
L 46	83.87	84.99	84.43 <sup>A</sup>	59.42	34.06	46.74 <sup>A</sup>
L 48	87.95	74.27	81.11 <sup>A</sup>	54.49	49.05	51.77 <sup>A</sup>
L 50	85.02	77.41	81.21 <sup>A</sup>	53.65	51.70	52.68 <sup>A</sup>
L 54	91.46	63.34	77.40 <sup>A</sup>	48.96	42.03	45.49 <sup>AB</sup>
L 56	86.76	72.13	79.44 <sup>A</sup>	53.74	52.16	52.95 <sup>A</sup>
Media	84.91 <sup>a</sup>	72.56 <sup>b</sup>		51.52	43.96	

<sup>AB</sup> Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05).

<sup>ab</sup> Medias con diferente letra en la misma fila son estadísticamente diferentes (P<0.05).

La firmeza de la pulpa de los frutos es un atributo relacionado con varios factores anatómicos que pueden ser alterados por el injerto. En nuestros resultados se encontró una reducción de 3.9 N por efecto del injerto independientemente de la variedad, con excepción de los portainjertos L46 y L56 que tuvieron frutos con firmeza similar a los cosechados en plantas sin injerto (Cuadro 10 y 12). En estudios similares con portainjertos de calabaza, la firmeza registrada ha sido superior con respecto a las plantas sin injerto, atribuyéndose a contenidos altos de  $\alpha$  celulosa (Shinbori *et al.*, 1981). En este sentido, es probable que los frutos cosechados en plantas injertadas en *L. siceraria* contengan menor contenido de celulosa. Diferencias en la firmeza de los frutos, también están dadas por variación en los estados de turgencia de las células, generándose menor resistencia de la pared celular en células turgentes (Kader, 2002) y al respecto, se ha documentado que los

injertos inducen mayores tasas de absorción de agua (Rouphael *et al.*, 2008), lo que podría relacionarse con la menor firmeza registrada.

El porcentaje de pulpa en los frutos (Cuadro 10 y 12), fue diferente entre las variedades empleadas, registrándose 4.58% más de pulpa en la variedad 2800 con respecto a Sangría. En cuanto al efecto de los portainjertos, no se tuvieron cambios en la cantidad de pulpa, lo cual coincide con Proietti y colaboradores (2008), quienes reportaron valores similares de porcentaje de pulpa en frutos provenientes de plantas de sandía mini variedad “Ingrid” en condición normal e injertada. Otros resultados también confirman que en melón, los portainjertos no modifican la proporción de corteza, pulpa y semilla en fruto (Colla *et al.*, 2010).

Cuadro 12. Comparación de medias de las variables firmeza y porcentaje de pulpa en frutos de sandía de dos variedades sin injerto e injertadas en seis portainjertos de *L. siceraria*.

Combinación injerto	Firmeza de pulpa (N)			Porcentaje de pulpa (%)		
	2800	Sangría	Media	2800	Sangría	Media
Control	15.77	15.58	15.67 <sup>A</sup>	75.70	66.05	70.88
L 43	10.88	11.78	11.33 <sup>DE</sup>	75.70	74.81	75.26
L 46	14.73	12.63	13.68 <sup>ABC</sup>	82.44	68.33	75.39
L 48	10.33	10.66	10.49 <sup>E</sup>	71.63	69.39	70.51
L 50	12.55	14.25	13.40 <sup>BCD</sup>	75.93	75.84	75.89
L 54	11.78	11.74	11.76 <sup>CDE</sup>	72.45	71.27	71.86
L 56	14.69	14.95	14.82 <sup>AB</sup>	74.83	70.96	72.90
Media	12.96	13.08		75.53 <sup>a</sup>	70.95 <sup>b</sup>	

<sup>AB</sup> Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0,05).

<sup>ab</sup> Medias con diferente letra en la misma fila son estadísticamente diferentes (P<0,05).

Cuadro 13. Comparación de medias de la variable contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de sandía de dos variedades sin injerto e injertadas en seis portainjertos de *L. siceraria*.

Combinación injerto	Variedad		Media
	2800	Sangría	
Control	10.22 <sup>AB</sup>	9.14 <sup>C</sup>	9.68
L 43	10.16 <sup>AB</sup>	11.12 <sup>AB</sup>	10.64
L 46	9.45 <sup>B</sup>	11.41 <sup>A</sup>	10.43

L 48	10.53 <sup>A</sup>	11.27 <sup>A</sup>	10.90
L 50	10.22 <sup>AB</sup>	10.82 <sup>AB</sup>	10.52
L 54	10.42 <sup>A</sup>	11.74 <sup>A</sup>	11.08
L 56	9.32 <sup>C</sup>	10.15 <sup>BC</sup>	9.73
Media	10.05	10.81	

<sup>ABC</sup> Medias con diferente letra dentro de variedad son estadísticamente diferentes (P<0.05).

El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en los frutos de sandía (Cuadro 10 y 13), se encontró que la variedad Sangría interacciona positivamente con los portainjertos, observándose incrementos de 1.01 a 2.60 °Brix con respecto al testigo. En caso contrario, la variedad 2800 no modificó este parámetro al combinarse con los diferentes portainjertos, a excepción de L56, que registró estadísticamente menor concentración. Estos resultados demuestran que *L. siceraria* como portainjerto, mantiene o incrementa el contenido de °Brix según la variedad de sandía, tal como fue reportado por Karaca *et al.* (2012).

### 3.6. Conclusión

Portainjertos criollos de *L. siceraria* inducen mayor precocidad y rendimiento con respecto a la planta sin injerto. La relación entre el peso de pulpa y el total del fruto es una característica que no fue alterada por los portainjertos de *Lagenaria*, sin embargo, esta especie puede disminuir la firmeza de la pulpa. El contenido de sólidos solubles totales en el fruto es un parámetro que se favorece con el injerto, aunque el nivel de respuesta depende de la combinación variedad/portainjerto. Los portainjertos con mayor efecto en precocidad, rendimiento y calidad de fruto fueron L43 y L50, los cuales pueden ser considerados para programas de mejoramiento posteriores.

### 3.7. Literatura citada

Alan, O.; Ozdemir, N.; Gunen, Y. 2007. Effect of grafting on watermelon plant growth, yield and quality. *Journal of Agronomy*, 6(2):362-365.

Allen, G.; Pereira, S.; Raes, D.; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma. FAO Riego y Drenaje. 299 p.

Barrett, E.; Zhao, X.; McSorley, R. 2012. Grafting for root-knot nematode control and yield improvement in organic heirloom tomato production. *Hortscience*, 47(5):614-620.

Chimonyo, P.; Modi, A. 2013. Seed Performance of Selected Bottle Gourd (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.). *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(4):740-766.

Colla, G.; Cardona, M.; Cardarelli, M.; Roupahel, Y. 2010. Improving nitrogen use efficiency in melon by grafting. *Hortscience*, 45(4):559-565.

Colla, G.; Roupahel, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E. 2006. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. *Hortscience*, 41(3):622-627.

Crino, P.; Bianco, L.; Roupahel, Y.; Colla, G.; Saccardo, F.; Paratore, A. 2007. Evaluation of rootstock resistance to fusarium wilt and gummy stem blight and effect on yield and quality of a grafted 'inodorus' melon. *Hortscience*, 42(3):521-525.

Fernández, C. 1998. Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos del Sureste español. Almería. Ed. Caja Rural de Almería. 445 p.

Huang, Y.; Zhao L.; Kong, Q.; Cheng, F.; Niu, M.; Xie, J.; Muhammad, N.; Bie, Z. 2016. Comprehensive mineral nutrition analysis of watermelon grafted onto two different rootstocks. *Horticultural Plant Journal*, 2(2):105-113.

Islam, S.; Bashar, K.; Howlader, A.; Sarker, U.; Al-Mamun, H. 2013. Effect of grafting on watermelon growth and yield. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 41:284-289.

Kader, A. 2002. Fruits in the global market. In M. Knee (Ed.) Fruit quality and its biological basis (pp. 1-16). USA.

Karaca, F.; Yetisir, H.; Solmaz, I.; Candir, E.; Kurt, S.; Sari, N.; Guler, Z. 2012. Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, yield and quality. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 36:167-177.

Lee, M.; Kubota, C.; Tsao, J.; Bie, Z.; Hoyos, P.; Morra, L.; Oda, M. 2010. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. Scientia Horticulturae Reviews, 127:93-105.

Lira, R.; Rodríguez, I. 2006. Catálogo de la familia Cucurbitaceae de México. Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos, FES Iztacala, Base de datos SNIB-Conabio DS002.

Maroto, V.; Borrego, I.; Miguel, A.; Pomares, F. 2002. El cultivo de la sandía. México. Ed. Mundi-Prensa. 322 p.

Petropoulos, A.; Olympios, C.; Ropokis, A.; Vlachou, G.; Ntatsi, G.; Paraskevopoulos, A.; Passam, C. 2014. Fruit volatiles, quality, and yield of watermelon as affected by grafting. Journal of Agricultural Science and Technology, 16: 873-885.

Proietti, S.; Roupshael, Y.; Colla, G.; Cardarelli, M.; De Agazio, M.; Zacchini, M.; Rea, E.; Moscatello, S.; Battistelli, A. 2008. Fruit quality of mini-watermelon as affected by grafting and irrigation regimes. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88:1107-1114.

Richardson, J.B. 1972. The pre-columbian distribution of the bottle gourd (*Lagenaria siceraria*): a re-evaluation. Economic Botany, 26:265-273.

Roupshael, Y.; Cardarelli, M.; Colla, G.; Rea, E. 2008. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. Hortscience, 43(3):730-736.

Schwarz, D.; Roupael, Y.; Colla, G.; Venema, H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127:162-171.

Shinbori, F.; Kota, N.; Yoshino, A. 1981. Studies on the maturation physiology and the quality of watermelon. II. Influence of rootstocks on the growth properties and the quality in grafting culture. *Bulletin of Chiba-Ken Agricultural Experiment Station*, 22: 21-27.

Soteriou, A.; Kyriacou, M.; Siomos, S.; Gerasopoulos, D. 2014. Evolution of watermelon fruit physicochemical and phytochemical composition during ripening as affected by grafting. *Food Chemistry*, 165:282-289.

Tarchoun, N.; Boughalleb, N.; EL Mbarki, A. 2005. Agronomic evaluation of nine cucurbit rootstocks and watermelon grafted (*Citrullus lanatus* L.). *Revue de L'INAT*, 20(2):125-140.

Yamasaki, A.; Yamashita, M.; Furuya, S. 1994. Mineral concentrations and cytokinin activity in the xylem exudate of grafted watermelon as affected by rootstocks and crop load. *Journal Japanese Society for Horticultural Science*, 62(4):817-826.

Yetisir, H.; Sari, N. 2003. Effect of different rootstock on plant growth, yield and quality of watermelon. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43:1269-1274.

## **CAPÍTULO IV. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SANDÍA INJERTADA EN PORTAINJERTOS CRIOLLOS DE *Lagenaria siceraria***

### **4.1. Resumen**

El éxito del injerto en la producción de sandía, depende de la combinación variedad portainjerto. Por lo anterior, en la presente investigación se evaluó seis portainjertos de *Lagenaria* y dos de *Cucurbita* en la variedad Tri-X 313, más el testigo sin injerto. El objetivo fue identificar el mejor (es) portainjerto(s). El experimento se estableció en el campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la UABC, Baja California, México en el año 2015 en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Las variables fueron rendimiento por hectárea, número de frutos por m<sup>2</sup>, peso promedio de fruto, índice de forma de fruto, pulpa (%), grosor de cáscara (cm), firmeza de fruto y pulpa (N), color de pulpa (L\*, C\*, h°) y contenido de sólidos solubles totales (°Brix). Los resultados mostraron incremento en rendimiento, por efecto del injerto. El porcentaje de pulpa en frutos se redujo por el injerto y la firmeza se incrementó con portainjertos de *Cucurbita*. La coloración de la pulpa fue rojo brillante con portainjertos de *Lagenaria*. La concentración de sólidos solubles no se modificó por el injerto, a excepción del portainjerto L54 que estadísticamente superó a las plantas control. De los resultados se concluye, que portainjertos criollos de *Lagenaria siceraria*, representan un recurso genético apto para mejorar la producción y calidad de los frutos de sandía en la variedad Tri-X 313.

**Palabras claves:** injerto, sandía, *Lagenaria*

## 4.2. Abstract

Graft success in watermelon production, depends on the combination rootstock-variety. Therefore, in the present study the variety Tri-X 313 was grafted on to six *Lagenaria* rootstocks and two *Cucurbita* commercial cultivars. The aim was to identify the best or better rootstocks. The experiment was in the Experimental Field of the Institute of Agricultural Sciences of the UABC, Baja California, Mexico in 2015, conducted in a completely randomized design with three replications. The variables were yield per hectare, number of fruits per m<sup>2</sup>, fruit weight, fruit shape index, pulp (%), rind thickness (cm), fruit and pulp firmness (N), flesh color (L\*, C\*, h°) and total soluble solid (°Brix). The results showed that the yield increases as effect of graft. The percentage of fruit pulp decreased by grafting and firmness increased only with *Cucurbita* rootstocks. The coloration of the pulp was bright red with *Lagenaria* rootstocks. Grafting does not modify the concentration of total soluble solids; the rootstock L54 was the exception that statistically outperformed the control plants. Rootstocks of *Lagenaria siceraria* represent a suitable genetic resource for improving yields and fruit quality of watermelon in the Tri-X 313 variety.

**Keywords:** graft, watermelon, *Lagenaria*

### 4.3. Introducción

En México el cultivo de sandía abarca una superficie promedio de 35 406 hectáreas (SIAP, 2014) y ocupa el sexto lugar en cuanto a superficie se refiere dentro de las hortalizas. La producción total asciende a 0.95 Mt y genera \$2602.95 MMXN de pesos. Las regiones productoras se localizan en los estados de Nayarit, Colima y Sonora, sin embargo, el manejo de monocultivo de la sandía, ha propiciado la proliferación de enfermedades de la raíz relacionadas principalmente con *Fusarium* y nematodos, que han afectado los niveles de producción. El control común de estos patógenos es con la aplicación de fumigantes al suelo como el bromuro de metilo, sin embargo, por los perjuicios generados a la capa de ozono, se restringió el uso de este fumigante desde el año 2005 y actualmente no se oferta en el mercado para tales fines (Gullino *et al.*, 2003). Ante esta situación, el Ministerio de México de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) han implementado proyectos de uso de injertos para prevenir la incidencia de patógenos en el cultivo de sandía (Ricárdez-Salinas *et al.*, 2010).

El injerto ha sido un éxito en diferentes regiones del mundo incluido México (Kubota *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2010; López-Elías *et al.*, 2011). Con esta técnica se ha demostrado mayor tolerancia a diferentes especies de hongos fitopatógenos (eg., *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora capsici*, etc.) y nematodos como *Meloidogyne incognita* (Bogoescu, 2010; Louws *et al.*, 2010; Kousik *et al.*, 2012). Asimismo, se ha documentado la tolerancia a factores abióticos (Schwarz *et al.*, 2002), inducción de mayor vigor, producción y calidad de los frutos (Yetisir y Sari, 2003; Candir *et al.*, 2013). Los efectos benéficos en las plantas injertadas están asociados en parte a la compatibilidad entre el portainjerto y la variedad de sandía (Lee y Oda, 2003; Davis y Perkins-Veazie, 2005).

Los portainjertos comúnmente empleados pertenecen a la familia de las cucurbitáceas (King *et al.*, 2010), especialmente varias especies de calabazas. Otra especie identificada es *Lagenaria siceraria*, conocida regionalmente en México con los nombres de “bule” o “guaje” (Perales y Aguirre, 2008). En estas especies se han identificado portainjertos con diferente nivel de tolerancia a factores bióticos o

abióticos (Boughalleb *et al.*, 2007; Yetisir y Uygur, 2009), donde el productor selecciona el material de acuerdo a su problema en particular. La disponibilidad de los portainjertos en el mercado la ofertan varias casas comerciales, donde los precios generalmente representan una limitante para los pequeños productores que no disponen de suficientes recursos, ya que se considera una doble inversión en semilla con respecto a la planta normal (Davis *et al.*, 2008). Adicionalmente, la importación de semillas o plántulas injertadas, incrementa el riesgo de introducción de enfermedades y virus debido al transporte en grandes distancias de estos materiales (Kubota *et al.*, 2008).

La disponibilidad de recursos genéticos en México de *Lagenaria* (Lira-Saade y Rodríguez-Arévalo, 2006), representa una oportunidad para seleccionar genotipos con potencial a emplearse como portainjerto y con ello, ofertar materiales económicamente más accesibles para los productores de escasos recursos. Sin embargo, son escasos los estudios relacionados con dicho propósito, ya que los antecedentes en el país resaltan el uso de sus frutos de la especie como recipientes para el almacenamiento de agua y granos (Clerck y Negreros-Castillo, 2000) o bien como artesanía decorada o instrumento musical empleado en eventos religiosos (Whitaker y Cutler, 1971). Es por ello que se requiere de generar información referente a la calidad como portainjerto del germoplasma nativo de México, con el propósito de identificar genotipos con potencial productivo.

#### **4.4. Materiales y métodos**

##### **4.4.1. Sitio experimental**

El presente estudio se realizó en el ciclo primavera-verano del 2015 en el Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la UABC, Baja California, México (latitud norte 32° 24' 19" y 115° 11' 48" de longitud oeste, a una altitud de 12 msnm.). El suelo presento textura arcillosa, C.E.=11.9 dS m<sup>-1</sup> y pH=8.

##### **4.4.2. Material vegetal**

El material de sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) utilizado fue el híbrido triploide Tri-X 313, el cual fue injertado mediante la técnica de púa descrita por Maroto *et al.* (2002) en seis portainjertos criollos de *Lagenaria* (Cuadro 14). Así

como dos portainjertos comerciales TZ148 y Supershintosa (híbridos de *Cucurbita maxima* × *Cucurbita moschata*). Además de la planta sin injerto utilizada como control o testigo. Plantas de sandía de la variedad Sangría fueron usadas como polinizador en una relación 3:1 (Tri-x 313:Sangría).

Cuadro14. Procedencia y localización geográfica de colectas de *L. siceraria*.

Clave	Procedencia	Coordenadas		Altitud m.s.n.m.
		LN	LO	
L43	Poblado Díaz Ordaz, Ensenada, Baja California	30°30'22.20"	115° 56'09.11"	13
L46	Silacayoapan, Oaxaca	17°30'08.47"	98°08'18.40"	1661
L48	Camalu, Baja California	30°50' 22.76"	116°03'53.39"	27
L50	Camalu, Baja California	30°03' 20.48"	116°03'53.57"	26
L54	Rio Verde, San Luis Potosí	21°53'40.34"	100°02'48.86"	1011
L56	Cuautla, Morelos	18°48' 46.07"	98°57'55.40"	1289

#### 4.4.3. Manejo del cultivo

La plantación se realizó el 15 de enero de 2015, cuando las plantas presentaron cuatro hojas verdaderas, a una densidad de 0.5 planta por metro cuadrado. La distribución de los tratamientos fue en diseño completamente al azar con tres repeticiones, cada unidad experimental abarco una superficie de 31.5 m<sup>2</sup>. Los riegos fueron aplicados por sistema de goteo, cada gotero separado a 30 cm con un gasto de un LPH. El volumen de riego se estimó de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo (Etc.) mediante la ecuación  $Etc. = ETo \times Kc$  (Allen *et al.*, 2006), considerando valores de: a) lecturas semanales de evapotranspiración de referencia (ETo), obtenidas de la estación agroclimatológica 'Nuevo León' SIMARBC (2015), b) Kc recomendados por Snyder *et al.* (2000). La fertilización empleada fue 129-92-154 NPK complementada con 61.5 kg CaO y 15 kg MgO (Fernández-Cara, 1998). La cosecha de frutos se realizó del 11 de mayo al 8 de junio de 2015 y se utilizó como indicador de madurez, el secado de la estípula y zarcillo próximo al pedúnculo del fruto (Perkins-Veazie *et al.*, 2012).

#### **4.4.4. Variables**

Las variables fueron número de fruto por metro cuadrado, peso de fruto (kg) y rendimiento total ( $t\ ha^{-1}$ ). En calidad de frutos se tomaron muestras al azar de tres frutos por unidad experimental y se determinó índice de forma de fruto mediante la relación longitud ecuatorial /longitud polar (Rouphael *et al.*, 2008), firmeza (Newtons) de cáscara y pulpa, utilizando un equipo de fuerza digital Chatillon DFE-100 (AMETEK Inc., USA), grosor de cáscara (cm) y porcentaje de pulpa con respecto al peso total del fruto. El color interno de pulpa se cuantificó con espectrofotómetro de esfera X-Rite SP62 (X-Rite Inc. USA), las lecturas registradas fueron  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ , el valor de  $L^*$  (Luminosidad) define la claridad del color y van desde 0 (negro) hasta 100 (blanco), el valor de  $C^*$  (Croma) indica la saturación del color que van de 0 (gris) a 100 (matiz puro), y el valor de  $h$  (Hue) indica el ángulo del tono y se expresa en grados que van de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , en donde un valor de  $0^\circ$  o  $360^\circ$  es considerado de color rojo, en tanto que, 90, 180 y 270 grados, representan tonos amarillo, verde y azul, respectivamente (X-Rite, 2002). El contenido de sólidos solubles totales se cuantificó con un refractómetro Digital Reichert AR200 previamente calibrado (Reichert Inc., New York, USA). Todas las determinaciones de calidad de frutos se realizaron por triplicado en cada fruto.

#### **4.4.5. Análisis estadístico**

Se realizó análisis de varianza y comparación de medias con la prueba DMS a un nivel significancia de 0,05, mediante el paquete estadístico SAS 9.1.

#### **4.5. Resultados y discusión**

Los resultados de producción y calidad de la sandía injertada y normal, se obtuvieron de plantas establecidas en suelo que de acuerdo a los análisis registró un  $pH=$  de 8.0 y C. E. de  $11.9\ dS\ m^{-1}$ . Estas condiciones son comunes en suelos áridos, donde el potencial productivo de los cultivos como la sandía pueden verse afectados, según Maroto *et al.*, (2002), el crecimiento óptimo de la planta de sandía es a conductividades eléctricas menores a  $4\ dS\ m^{-1}$ , mientras que a valores superiores puede afectar el crecimiento y rendimiento (Romic *et al.*, 2008). Evidencias documentadas con portainjerto de *Lagenaria* y calabaza han demostrado

incremento de la tolerancia a la salinidad, favoreciéndose mayor desarrollo en planta de sandía injertada con respecto a la normal (Yetisir y Uygur *et al.*, 2010).

Considerando lo anterior, en la presente investigación, los componentes de rendimiento del cultivo de sandía en plantas injertadas y normales (Cuadro 15), tuvieron diferencias significativas en las variables, frutos por m<sup>-2</sup>, peso de fruto (kg) y rendimiento total (kg ha<sup>-1</sup>) La condición injertada superó a las plantas control en 2.3 a 5.0 veces la producción. Los mayores rendimientos se registraron con portainjertos de *Lagenaria* (L46, L48, L50, L54 y L58) a excepción de L43, el cual fue estadísticamente similar con portainjertos de *Cucurbita* y normal. Estos resultados confirman lo reportado por Colla *et al.*, (2006), quienes señalan mayor respuesta productiva de portainjertos de *Lagenaria* en comparación con portainjertos de calabaza. Yetisir *et al.* (2003), y Yetisir y Saori (2003); reportan incrementos de 21% a 112% en la producción con portainjertos en *Lagenaria*, mientras que al emplear *Cucurbita* el rendimiento fue inferior hasta en 71% con respecto al testigo. El número de frutos por m<sup>2</sup>, fue una variable con diferencias estadísticas similares a las observadas en el rendimiento por hectárea con los diferentes portainjertos, mostrándose una correlación de 0.98 (P<0.001) entre ambas variables. En peso promedio de fruto, los efectos del injerto fueron estadísticamente superiores en plantas injertadas en *Cucurbita*, donde los frutos registraron en promedio 38% más de peso, mientras en portainjertos de *Lagenaria*, los incrementos variaron del 15% al 29% con respecto a las plantas sin injerto. Resultados de otras investigaciones de ocho años de estudio, coinciden en indicar que los efectos en rendimiento con portainjertos de *Cucurbita*, es principalmente en incremento de peso de fruto (Miguel *et al.*, 2004).

El rendimiento por hectárea y su relación con el número y peso de fruto, mostró que el número de frutos por planta es el componente de mayor contribución. Estos resultados son consistentes con Salam *et al.* (2002) quienes encontraron incrementos de 3.5 veces en rendimiento derivado principalmente del número de frutos por planta en sandía injertadas con *Lagenaria*, mientras el peso de fruto no presento relación. La proliferación de mayor cantidad de frutos en las plantas injertadas, se atribuye en parte a las alteraciones generadas en la proporción de flores féminas y masculinas, donde las primeras son más frecuentes que las

segundas (Islam *et al.*, 2013; Mohamed *et al.*, 2014). La superioridad de las plantas injertadas, ha sido evidenciada por varias combinaciones de variedad/portainjerto entre las que se reporta Crispy/TZ-148 y RS-841 [*Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*] (Alan *et al.*, 2007), Tex/Macis [*L. siceraria*], Tex/Ercole [*C. maxima* x *C. moschata*] (Colla *et al.*, 2006), Ingrid/PS313 [*C. maxima* x *C. moschata*] (Proietti *et al.*, 2008), CrimsonSweet/*L. siceraria*, CrimsonSweet/Early Max, CrimsonSweet/Max-2, CrimsonSweet/F14-gourd (Alexopoulos *et al.*, 2007), CrimsonSweet/Shintoza [*C. maxima* x *C. moschata*], CrimsonSweet/*L. siceraria* (Khankahdani *et al.*, 2012). Contrariamente, Bekhradi y colaboradores (2011), señalan que al emplear portainjertos de *L. siceraria* e híbrido de calabaza en la variedad de sandía Charleston Gray, no encontraron diferencia significativa en el rendimiento. Resultados similares también han sido reportados por Miguel *et al.* (2004) en el caso de portainjerto *L. siceraria* en sandía Reina de Corazones en un suelo infestado de *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*.

Cuadro 15. Parámetros de rendimiento de sandía Tri-X 313 injertada y sin injerto.

	Número de fruto (# m <sup>-2</sup> )	Peso de fruto (Kg)	Rendimiento total(ton ha <sup>-1</sup> )
Patrón	Media ± E.E.	Media ± E.E.	Media ± E.E.
Normal	0.18±0.04 <sup>c</sup>	5.14 ±0.71 <sup>c</sup>	9.53± 2.98 <sup>c</sup>
TZ 148	0.49±0.25 <sup>abc</sup>	6.45 ±0.18 <sup>b</sup>	30.53±14.93 <sup>abc</sup>
Supershintosa	0.32±0.05 <sup>bc</sup>	7.70 ±0.19 <sup>a</sup>	24.48± 3.94 <sup>bc</sup>
L43	0.32±0.07 <sup>bc</sup>	6.66 ±0.52 <sup>ab</sup>	21.85± 6.61 <sup>bc</sup>
L46	0.55±0.06 <sup>ab</sup>	6.02 ±0.50 <sup>bc</sup>	33.35± 4.98 <sup>ab</sup>
L48	0.65±0.15 <sup>ab</sup>	6.17 ±0.15 <sup>bc</sup>	39.37± 8.45 <sup>ab</sup>
L50	0.58±0.04 <sup>ab</sup>	6.38 ±0.31 <sup>b</sup>	36.87± 0.79 <sup>ab</sup>
L54	0.77±0.09 <sup>a</sup>	6.12 ±0.08 <sup>bc</sup>	47.28± 5.37 <sup>a</sup>
L56	0.83±0.17 <sup>a</sup>	5.95 ±0.35 <sup>bc</sup>	48.23± 8.62 <sup>a</sup>

<sup>abc</sup>Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ( $\alpha = 0.05$ ) de acuerdo a la prueba DMS. Los resultados son medias ± E.E. de 3 réplicas para cada tratamiento.

Los efectos del injerto en las características externas de calidad de los frutos (Cuadro 16), fueron estadísticamente diferentes en las variables grosor de cáscara (cm), porcentaje de pulpa y firmeza de fruto (N). Únicamente la forma del fruto no fue modificada por el injerto. El grosor de cáscara se incrementó por efecto del injerto de

13% a 65%, los mayores incrementos se tuvieron con los portainjertos de *Lagenaria*, en tanto los correspondientes a *Cucurbita* registraron valores estadísticamente iguales a las plantas control. Estudios similares por otros investigadores, señalan que el incremento en el grosor de la cáscara es un efecto común en la planta injertada en *Lagenaria* (Alexopoulos *et al.*, 2007); mientras que en variedades de sandía Crispy y Obla F1, injertadas en *Cucurbita* (portainjerto TZ148) no se alteró este atributo (Alan *et al.*, 2007; Petropoulos *et al.*, 2014).

Cuadro 16. Características externas de calidad de frutos de sandía Tri-X 313 injertada y sin injerto.

	Índice de forma	Porcentaje de pulpa en fruto	Grosor de cáscara (cm)	Firmeza de fruto (N)
Patrón	Media ± E.E.	Media ± E.E.	Media ± E.E.	Media ± E.E.
Normal	0.87±0.01	76.26±1.45 <sup>a</sup>	0.97 ±0.05 <sup>d</sup>	164.79 ±21.21 <sup>c</sup>
TZ148	0.92±0.08	67.32±2.77 <sup>bc</sup>	1.17 ±0.13 <sup>bcd</sup>	284.83 ±52.40 <sup>ab</sup>
Supershintosa	0.86±0.03	72.53±1.43 <sup>ab</sup>	1.10 ±0.08 <sup>cd</sup>	249.83 ±14.53 <sup>b</sup>
L 43	0.92±0.02	65.37±0.77 <sup>dc</sup>	1.40 ±0.05 <sup>abc</sup>	233.84 ±15.65 <sup>bc</sup>
L 46	0.86±0.01	63.96±0.66 <sup>cd</sup>	1.58 ±0.11 <sup>a</sup>	310.38 ±35.01 <sup>ab</sup>
L 48	0.93±0.02	68.88±1.37 <sup>cd</sup>	1.38 ±0.15 <sup>abc</sup>	271.41 ±16.19 <sup>ab</sup>
L 50	0.89±0.01	60.51±3.38 <sup>d</sup>	1.61 ±0.02 <sup>a</sup>	339.42 ±13.60 <sup>a</sup>
L 54	0.83±0.02	67.47±1.55 <sup>bc</sup>	1.51 ±0.17 <sup>a</sup>	329.68 ±16.67 <sup>a</sup>
L 56	0.87±0.03	67.92±0.72 <sup>bc</sup>	1.41 ±0.08 <sup>ab</sup>	278.83 ±29.76 <sup>ab</sup>

<sup>abc</sup>Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ( $\alpha = 0.05$ ) de acuerdo a la prueba DMS. Los resultados son medias ± E.E. de 3 réplicas para cada tratamiento.

En la variable firmeza del fruto, la tendencia de los resultados fue hacia el incremento en plantas injertadas (Cuadro 16). Los mayores valores se obtuvieron con portainjertos de *Lagenaria* a excepción del material L43, el cual fue estadísticamente igual a la planta normal. Esta variación de la firmeza estuvo asociada al grosor de cáscara, ya que ambas variables mostraron un coeficiente de correlación de 0.62 ( $P < 0.001$ ). El fortalecimiento de la firmeza en los frutos de sandía, es un efecto favorable en la recolección, empaque, transporte y postcosecha de la fruta, debido a que incrementa la resistencia al daño físico o mecánico (Rouphael *et al.*, 2010).

El porcentaje de pulpa en los frutos, fue una característica afectada por el injerto (Cuadro 16), observándose que la planta normal fue estadísticamente superior en la proporción de pulpa con respecto a la planta injertada. Estas diferencias están inversamente asociadas a los efectos inducidos por el injerto en grosor de cáscara, obteniéndose una correlación -0.76 ( $P < 0.001$ ) entre ambas variables.

Cuadro 17. Características internas de calidad del fruto de sandía Tri-X 313 injertada y sin injerto

	Firmeza de pulpa (N)	Color interno			SST (°Brix)
		Luminosidad (L*)	Cromaticidad (C*)	Hue (h°)	
Patrón	Media ± E.E.	Media ± E.E.	Media ± E.E.	Media ± E.E.	Media ± E.E.
Normal	11.26 ±0.71 <sup>b</sup>	49.29 ±0.48 <sup>abc</sup>	25.88 ±0.57 <sup>b</sup>	46.13 ±1.08 <sup>a</sup>	11.70 ±0.44 <sup>bc</sup>
TZ148	13.27 ±0.43 <sup>ab</sup>	44.90 ±3.90 <sup>c</sup>	23.95 ±0.63 <sup>b</sup>	41.41 ±0.20 <sup>abc</sup>	11.06 ±0.51 <sup>c</sup>
Supershintosa	16.47 ±2.35 <sup>ab</sup>	48.43 ±0.56 <sup>abc</sup>	32.01 ±4.17 <sup>a</sup>	40.76 ±0.72 <sup>abc</sup>	11.51 ±0.31 <sup>bc</sup>
L 43	13.81 ±2.36 <sup>ab</sup>	50.41 ±1.83 <sup>ab</sup>	25.42 ±2.07 <sup>b</sup>	43.92 ±4.87 <sup>ab</sup>	12.31 ±0.48 <sup>ab</sup>
L 46	14.99 ±1.41 <sup>ab</sup>	53.62 ±1.18 <sup>a</sup>	35.07 ±2.03 <sup>a</sup>	39.59 ±0.25 <sup>bc</sup>	12.07 ±0.60 <sup>abc</sup>
L 48	13.32 ±3.21 <sup>ab</sup>	51.17 ±1.74 <sup>ab</sup>	35.95 ±1.71 <sup>a</sup>	38.64 ±0.79 <sup>bc</sup>	11.41 ±0.27 <sup>bc</sup>
L 50	11.34 ±0.58 <sup>b</sup>	51.76 ±0.91 <sup>ab</sup>	37.12 ±0.41 <sup>a</sup>	39.88 ±0.68 <sup>bc</sup>	12.53 ±0.30 <sup>ab</sup>
L 54	11.89 ±1.92 <sup>ab</sup>	46.65 ±0.94 <sup>bc</sup>	35.19 ±0.99 <sup>a</sup>	38.69 ±1.77 <sup>bc</sup>	13.24 ±0.25 <sup>a</sup>
L 56	16.87 ±1.67 <sup>a</sup>	51.10 ±1.61 <sup>ab</sup>	33.38 ±0.59 <sup>a</sup>	38.09 ±0.88 <sup>c</sup>	11.59 ±0.44 <sup>bc</sup>

<sup>abc</sup> Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ( $\alpha = 0.05$ ) de acuerdo a la prueba DMS. Los resultados son medias ± E.E. de 3 réplicas para cada tratamiento

Los resultados del injerto en las características de calidad de la pulpa (Cuadro 17), fueron estadísticamente diferentes en las variables firmeza (N) y contenido de sólidos solubles totales (°Brix). En los parámetros de color la cromaticidad y Hue, tuvieron diferencias estadísticas, mientras que la luminosidad se mantuvo sin modificación. La firmeza de la pulpa en los frutos injertados fue ligeramente superior con respecto a la planta normal, aunque no se tuvieron diferencias significativas con excepción del portainjerto de *Lagenaria* L56, el cual registró la mayor firmeza de la pulpa (16.87 N). Resultados similares han sido reportados por Karaca *et al.* (2012), quienes al evaluar 21 portainjertos de *Lagenaria* en sandía Crimson Tide, no observaron diferencias significativas entre frutos provenientes de planta normal e injertada. Otros estudios coinciden en que los portainjertos de *Lagenaria* no modifican la firmeza de la pulpa (Yamasaki *et al.*, 1994; Yetisir *et al.*, 2003). En contraparte, investigaciones realizadas por Huitrón-Ramírez *et al.* (2009) y

Petropoulos *et al.* (2014) en plantas de sandía injertada en híbridos de *C. maxima* x *C. moschata*, encontraron incrementos en firmeza de 10 a 69%.

La coloración de la pulpa en frutos de plantas normales, de acuerdo a los valores obtenidos en matiz (hue) y saturación (cromaticidad), presentó un color rojo anaranjado opaco, en tanto que, los frutos de plantas injertadas en *Lagenaria* presentaron un color rojo intenso y ligeramente brillante, a excepción de L43 que presentó características similares al testigo. Estos resultados son congruentes con los valores reportados por Karaca *et al.* (2012), quienes observaron que el 71.43% de 21 genotipos de *Lagenaria* utilizados como portainjertos en sandía Crimson Tide, presentaron valores entre 35 a 40 °h, y mayores a 41 °h los frutos normales. Las variaciones en el color de la pulpa entre planta injertada y normal posiblemente esté relacionado con diferencias en el estado de madurez del fruto. La transición de color rojo brillante a rojo anaranjado está relacionada con el nivel de madurez de la fruta (Soteriou *et al.*, 2014). En cuanto a la claridad (L\*) de color, aunque no fue afectado por el injerto, numéricamente los portainjertos L43, L46, L48, L50 y L56 expresaron colores ligeramente más claros, en comparación con los frutos normales e injertados en *Cucurbita* que fueron más oscuros. Estudios recientes también indican que portainjertos híbridos de *Cucurbita* presentan un color de pulpa más oscuro durante el almacenamiento en comparación con plantas sin injertar (Kyriacou *et al.*, 2015).

El contenido de sólidos solubles en los frutos no fue modificado de manera significativa por los portainjertos con respecto a la planta normal (Cuadro 17), sin embargo, sobresale el portainjerto L54 de *Lagenaria*, el cual fue estadísticamente superior a la planta normal (13.24 °Brix). Los estándares de calidad de los frutos de sandía establecidos por la USDA (2006), clasifican de buena calidad a los frutos con 8 °Brix y de muy buena calidad cuando la concentración de sólidos solubles supera los 10. En este sentido, los frutos obtenidos en plantas injertadas y normales fueron clasificados de muy buena calidad, sobresaliendo por la mayor concentración los portainjertos L43, L46, L50 y L54. Estos resultados son consistentes con los encontrados por Huitrón-Ramírez *et al.* (2009) y Bekhradi *et al.* (2011), quienes indican que el contenido de sólidos solubles no es alterado por portainjertos de *Cucurbita* y *Lagenaria*. Aunque en algunos casos se reporta reducciones en el contenido de sólidos solubles con portainjertos de *Cucurbita* (Turhan *et al.*, 2012).

#### **4.6. Conclusión**

Portainjertos criollos de *Lagenaria siceraria*, potencialmente representan un recurso genético apto para mejorar la producción y calidad de los frutos de sandía injertada en la variedad Tri-X 313. Los resultados de este trabajo resaltan la superioridad en rendimiento en plantas de sandía injertadas en *L. siceraria*. Los parámetros de calidad en cuanto a firmeza y color de pulpa fueron favorecidos por el injerto, mientras que el contenido de solubles no fue modificado, a excepción del portainjerto L54, que registró el valor más alto.

#### 4.7. Literatura citada

Alan, O.; Zdemir, N.; Nen, Y., 2007. Effect of grafting on watermelon plant growth, yield and quality. *Journal Agronomy*, 6:362-365.

Alexopoulos, A.; Kondylis, A.; Passam, H. 2007. Fruit yield and quality of watermelon in relation to grafting. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 5(1):178-179.

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Ed. FAO Riego y Drenaje. Roma, Italia. 299 p.

Bekhradi, F.; Kashi, A.; Delshad, M. 2011. Effect of three cucurbits rootstocks on vegetative and yield of 'Charleston Gray' watermelon. *International Journal of Plant Production*, 5(2):105-110.

Bogoescu, M. 2010. Grafting watermelons crop – non chemical methyl bromide alternative in Romanian horticulture. *Bulletin UASVM Horticulture*, 67(1):224-229.

Boughalleb, N.; Tarchoun, N.; El Mbarki, A.; El Mahjoub, M. 2007. Resistance evaluation of nine cucurbit rootstocks and grafted watermelon (*Citrullus lanatus* L.) Varieties against Fusarium wilt and Fusarium crown and root rot. *Journal of Plant Sciences*, 2(1):102-107.

Candir, E.; Yetişir, H.; Karaca, F.; Üstün, D. 2013. Phytochemical characteristics of grafted watermelon on different bottle gourds (*Lagenaria siceraria*) collected from the Mediterranean region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37:443-456.

Clerck, F. A. J.; Negreros-Castillo, P. 2000. Plant species of traditional Mayan homegardens of Mexico as analogs for multistrata agroforests. *Agroforestry Systems*, 48: 303-317.

Colla, G.; Roupahel, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E. 2006. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. *Hortscience*, 41(3):622-627.

Davis, A.; Perkins-Veazie, P. 2005. Rootstock effects on plant vigor and watermelon fruit quality. Cucurbit Genetics Cooperative Report, 28-29:39-42.

Davis, A. R.; Perkins-Veazie, P.; Sakata, Y.; Lopez-Galarza, S.; Maroto, J. V.; Lee, S. G.; Huh, Y. C.; Sun, Z.; Miguel, A.; King, S. R.; Cohen, R.; Lee, J. M. 2008. Cucurbit Grafting. Critical Reviews in Plant Sciences, 27:50-74.

Fernández-Cara, C. 1998. Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos del Sureste español. Ed. Caja Rural de Almería. Almería, España. 445 p.

Gullino, M. L.; Camponogara, A.; Gasparrini, G.; Rizzo, V.; Clini, C.; Garibaldi, A. 2003. Replacing methyl bromide for soil desinfestation. Plant Disease, 87(9):1012-1021.

Huitrón-Ramírez, M. V.; Ricárdez-Salinas, M.; Camacho-Ferre, F. 2009. Influence of grafted watermelon plant density on yield and quality in soil infested with melon necrotic spot virus. HortScience, 44:1838-1841.

Islam, M. S.; Bashar, H. M. K.; Howlader, M. I. A.; Sarker, J. U.; Al-Mamun, M. H. 2013. Effect of grafting on watermelon growth and yield. Khon Kaen Agricultural Journal, 41:284-289.

Karaca, F.; Yetisir, H.; Solmaz, I.; Candir, E.; Kurt, S.; Sari, N.; Guler, Z. 2012. Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, yield and quality. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 36:167-177.

Khankahdani, H. H.; Zakeri, E.; Saeedi, G.; Shakerdargah, G. 2012. Evaluation of different rootstocks and grafting techniques on graft union percent, yield and yield components of watermelon cv. 'Crimson Sweet'. World Applied Sciences Journal, 18(5):645-651.

King, S. R.; Davis, A. R.; Zhang, X.; Crosby, K. 2010. Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. Scientia Horticulturae, 127:106-111.

Kousik, C. S.; Donahoo, R. S.; Hasell, R. 2012. Resistance in watermelon rootstocks rot caused by *Phytophthora capsici*. *Crop Protection*, 39:18-25.

Kubota, C.; McClure, M. A.; Kokalis-Burelle, N.; Bausher, M. G.; Roskopf, E. N. 2008. Vegetable Grafting: History, Use, and Current Technology Status in North America. *Hortscience*, 43(6):1664-1669.

Kyriacou, M. C.; Soteriou, G. 2015. Quality and postharvest performance of watermelon fruit in response to grafting on interspecific cucurbit rootstocks. *Journal of Food Quality*, 38:21-29.

Lee, J.M.; Oda, M. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews*, 28:61-124.

Lee, J. M.; Kubota, C.; Tsao, S. J.; Bie, Z.; Echevarria, P. E.; Morra, L.; Oda, M. 2010. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127:93-105.

Lira-Saade, R.; Rodríguez-Arévalo, I. 2006. Catálogo de la familia Cucurbitaceae de México. In: Informe final SNIB-CONABIO proyecto DS002. Universidad Nacional Autónoma de México (ed). D. F., Estado de México, México.

López-Elías, J.; Huez-López, M. A.; Jiménez-León, J.; Rodríguez, J. C.; Garza-Ortega, S.; Escoboza-García, L. F. 2011. Efecto de la densidad de plantación en sandía sin semilla injertada sobre bule. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14:349-355.

Louws, F. J.; Rivard, C. L.; Kubota, C. 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Scientia Horticulturae*, 127(2):127-146.

Maroto, J. V.; Borrego, I.; Miguel-Gómez, A.; Pomares-García, F. 2002. El cultivo de la sandía. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 322 p.

Miguel, A.; Maroto, J. V.; San Bautista, A.; Baixauli, C.; Cebolla, V.; Pascual, B.; Lopez, S.; Guardiola, J. L. 2004. The grafting of triploid watermelon is an

advantageous alternative to soil fumigation by methyl bromide for control of Fusarium wilt. *Scientia Horticulturae*, 103:9-17.

Mohamed, F. H.; El-Hamed, K. E. A.; Elwan, M. W. M.; Hussien, M-A. N. E. 2014. Evaluation of different grafting methods and rootstocks in watermelon grown in Egypt. *Scientia Horticulturae*, 168:145-150.

Perales, H. R.; Aguirre, J. R. 2008. Biodiversidad humanizada. In: Conocimiento actual de la biodiversidad: Capital natural de México. Soberón, J.; Halffter, G. y Llorente-Bousquets, J. (comps). Vol. I. Ed. Conabio, Estado de México, México. 565-603 pp.

Perkins-Veazie, P.; Beaulieu, J. C.; Siddiq, M. 2012. Watermelon, Cantaloupe and Honeydew. In: *Tropical and Subtropical Fruits: Postharvest Physiology, Processing and Packaging*, First Edition. 549-568.

Petropoulos, S. A.; Olympios, C.; Ropokis, A.; Vlachou, G.; Ntatsi, G.; Paraskevopoulos, A.; Passam, H. C. 2014. Fruit volatiles, quality, and yield of watermelon as affected by grafting. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16:873-885.

Proietti, S.; Roupheal, Y.; Colla, G.; Cardarelli, M.; De Agazio, M.; Zacchini, M.; Rea, E.; Moscatello, S.; Battistelli, A. 2008. Fruit quality of mini-watermelon as affected by grafting and irrigation regimes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88:1107-1114.

Ricárdez-Salinas, M.; Huitrón-Ramírez, M. V.; Tello-Marquina, J. C.; Camacho-Ferre, F. 2010. Planting density for grafted melon as an alternative to methyl bromide use in Mexico. *Scientia Horticulturae*, 126:236-241.

Romic, D., Ondrasek, G.; Romic, M.; Josip, B. Vranjes, M.; Petosic, D. 2008. Salinity and irrigation method affect crop yield and soil quality in watermelon (*Citrullus lanatus* L.) growing. *Irrigation and Drainage*, 57:463-469.

Roupheal, Y.; Cardarelli, M.; Colla, G.; Rea, E. 2008. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *Hortscience*, 43(3):730-736.

Rouphael, Y.; Schwarz, D.; Krumbein, A.; Colla, G. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, 127:172-179.

Salam, M. A.; Masum, A. S.; Chowdhury, S. S.; Dhar, M.; Saddeque, A.A.; Islam, M. R. 2002. Growth and yield of watermelon as influenced by grafting. *Journal of Biological Sciences*, 2(5):298-299.

Schwarz, D.; Rouphael, Y.; Colla, G.; Venema, J. H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127:162-171.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/avance-de-siembras-y-cosechas-por-cultivo/>. SIAP. 2015.

Sistema de Información para el Manejo de Agua de Riego en Baja California (SIMARBC). 2015. Disponible en <http://201.140.167.37/simarbc/>.

Snyder, R. L.; Orang, M.; Bali, K.; Eching, S. 2000. Basic Irrigation Scheduling (BIS). Disponible en [http://biomet.ucdavis.edu/irrigation\\_scheduling/bis/BIS.htm](http://biomet.ucdavis.edu/irrigation_scheduling/bis/BIS.htm)

Soteriou, G. A.; Kyriacou, M. C.; Siomos, A.S.; Gerasopoulos, D. 2014. Evolution of watermelon fruit physicochemical and phytochemical composition during ripening as affected by grafting. *Food Chemistry*, 165:282-289.

Turhan, A.; Ozmen, N.; Kuscu, H.; Serbeci, M.S. and Seniz, V. 2012. Influence of rootstocks on yield and fruit characteristics and quality of watermelon. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 53(4):336-341.

United State Department of Agriculture (USDA). 2006. United States standards for grades of watermelons. Disponible en [http://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Watermelon\\_Standard%5B1%5D.pdf](http://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Watermelon_Standard%5B1%5D.pdf)

Whitaker, T.W.; Cutler, H.C. 1971. Pre-historic Cucurbits from the Valley of Oaxaca. *Economic Botany*, 25(2):123-127.

X-Rite, Incorporated 2002. Guía para Entender la Comunicación del Color. Ed. X-Rite. 25 p. Disponible en <http://www.x-rite.com>.

Yamasaki, A.; Yamashita, M.; Furuya, S. 1994. Mineral concentrations and cytokinin activity in the xylem exudate of grafted watermelons as affected by rootstocks and crop load. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 62:817-826.

Yetisir, H.; Sari, N. 2003. Effect of different rootstock on plant growth, yield and quality of watermelon. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43:1269-1274.

Yetisir, H.; Uygur, V. 2009. Plant growth and mineral element content of different gourd species and watermelon under salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33:65-77.

Yetisir, H.; Uygur, V. 2010. Responses of grafted watermelon onto different gourd species to salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 33:315-327.

Yetisir, H.; Sari, N.; Yunel, S. 2003. Rootstock resistance to *Fusarium* wilt and effect on watermelon fruit yield and quality. *Phytoparasitica*. 31:163-169.

## CAPÍTULO V. INFLUENCIA DEL PORTAINJERTO EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE SANDÍA

### 5.1. Resumen

El cultivo de sandía injertada se ha difundido en diferentes partes del mundo, afín de mejorar la producción en condiciones adversas; sin embargo, esta técnica puede alterar la calidad del fruto. Con el propósito de evaluar el efecto del injerto en la calidad postcosecha de sandía Tri-X 313, se evaluaron ocho portainjertos: seis materiales criollos de *Lagenaria siceraria* (L43, L46, L48, L50, L54 y L56) y dos comerciales de *Cucurbita* (Super shintosa y TZ 148), además de la planta sin injerto. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial y tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron peso de fruto, firmeza, sólidos solubles totales y color de pulpa. La calidad postcosecha de los frutos no fue modificada por la condición injertada. Sin embargo, el injerto indujo incrementos de 44% de peso en fruto con excepción de L50. La firmeza de la pulpa se favoreció en 29% con Super shintosa. El contenido de sólidos solubles se incrementó 7% con L54 y L56. La coloración de la pulpa fue ligeramente afectada por el injerto en *Lagenaria* al presentar color rojo de menor intensidad. La calidad de los frutos por efecto de los 14 días de almacenamiento, fue modificada en firmeza, contenido de sólidos solubles y coloración de la pulpa. Los portainjertos L43, L46 y L48 se identificaron como los más promisorios para reducir la pérdida de peso, conservar la firmeza y mantener el color de la pulpa. Los portainjertos L54 y L56 favorecen el contenido de sólidos solubles pero disminuyen ligeramente el color de la pulpa.

**Palabras clave:** *Lagenaria siceraria*, injerto, sandía, postcosecha

## 5.2. Introducción

La producción de sandía injertada se ha generalizado en varias regiones del mundo en los últimos años. El aumento progresivo de esta tecnología se debe a las características deseables de los portainjertos, como tolerancia a enfermedades del suelo, temperaturas bajas y altas, y salinidad (Boughalleb *et al.*, 2007; Schwarz *et al.*, 2010; Yetisir y Uygur, 2010), así como el uso eficiente de agua y nutrientes (Rouphael *et al.*, 2008; Colla *et al.*, 2011). Los portainjertos comúnmente empleados son híbridos interespecíficos (*Cucurbita maxima* × *Cucurbita moschata*) y *Lagenaria siceraria* (Lee *et al.*, 2010), los cuales favorecen el crecimiento y rendimiento de fruto (Yetisir *et al.*, 2007; Yetisir y Uygur, 2009; Islam *et al.*, 2013).

La calidad interna de los frutos es un factor determinante para la comercialización de la sandía. Las características fisicoquímicas como sólidos solubles, firmeza y componentes de color varían dependiendo de la variedad (Pardo *et al.*, 1997). En plantas injertadas se ha encontrado que la calidad está relacionada con el portainjerto y la variedad (Petropoulos *et al.*, 2012; Petropoulos *et al.*, 2014). Aunque otros investigadores argumentan que no existen efectos significativos sobre la expresión de los atributos internos de calidad en la sandía, más bien las diferencias en calidad están dadas por la variedad y secuencia en el corte de los frutos (Camacho y Fernández, 2000). También la calidad de la sandía después de cosechada varía según el manejo, condiciones de temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento (Perkins-Veazie y Collins, 2006; Yau *et al.*, 2010). En consenso general las condiciones de almacenamiento son temperatura de 10 a 15°C y humedad relativa de 85 a 90% (Risse *et al.*, 1990). Efectos adversos en la calidad de las sandías por condiciones ambientales inadecuadas durante la postcosecha, son maduración acelerada, reducción de firmeza, decoloración de la fruta y reducción del contenido de sólidos solubles (Davis y Perkins-Veazie, 2005).

El uso de *Lagenaria* y calabaza como portainjertos en la producción de sandía se ha documentado ampliamente en varias investigaciones (Lee *et al.*, 2010; Yetisir y Uygur, 2010), sin embargo, en lo referente a calidad postcosecha es necesario generar más información, sobre todo en germoplasma de México que ha sido poco estudiado. El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de comparar seis

portainjertos criollos de *Lagenaria siceraria* con respecto a dos portainjertos comerciales de calabaza Super shintosa y TZ 148, y la planta normal sin injerto en la calidad postcosecha del fruto de sandía.

### 5.3. Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en el Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), México, durante el ciclo primavera-verano del 2014. Plántulas de sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) del híbrido Tri-X 313 se injertaron sobre materiales criollos de *Lagenaria siceraria* (L43, L46, L48, L50, L54 y L56) colectados en diferentes regiones de México (Cuadro 18) y en dos portainjertos comerciales de calabaza (TZ 148 y Super shintosa). La técnica del injerto empleada fue de púa (Maroto *et al.*, 2002). Plantas de sandía sin injerto se utilizaron como control. La variedad de sandía 2800 se empleó como polinizador de la variedad Tri-X 313, en una relación 3:1. La plantación se realizó en campo abierto en suelo arcilloso y pH de 7.0. El agua y fertilización se suministró en riego por goteo. Las dosis de fertilizante se aplicaron de acuerdo a las recomendaciones de Fernández-Cara (1998), 95-73-106 NPK complementada con 33 kg CaO y 11 kg MgO. Para favorecer la polinización de las flores se establecieron dos colmenas de abejas (*Apis mellifera*) desde el inicio de la floración. La cosecha se realizó con base a indicadores de madurez: secado de estípula y zarcillo próximo al pedúnculo del fruto (Miguel *et al.*, 2004). Se tomaron doce frutos al azar por cada unidad experimental para cada tratamiento.

Cuadro 18. Procedencia y localización geográfica de colectas de *L. siceraria*.

Clave	Procedencia	Coordenadas		Altitud m.s.n.m.
		LN	LO	
L43	Poblado Díaz Ordaz, Ensenada, Baja California	30°30'22.20"	115° 56'09.11"	13
L46	Silacayoapan, Oaxaca	17°30'08.47"	98°08'18.40"	1661
L48	Camalu, Baja California	30°50' 22.76"	116°03'53.39"	27
L49	Silacayoapan, Oaxaca	17°30'08.97"	98°08'12.81"	1681
L50	Camalu, Baja California	30°03' 20.48"	116°03'53.57"	26
L54	Rio Verde, San Luis Potosí	21°53'40.34"	100°02'48.86"	1011
L56	Cuautla, Morelos	18°48' 46.07"	98°57'55.40"	1289

En el análisis de calidad postcosecha de frutos de sandía, se utilizó el diseño completamente al azar con arreglo factorial, considerando los factores portainjertos y tiempo de almacenamiento. Se evaluaron 18 tratamientos (Cuadro 19) que resultaron de 9 portainjertos y dos periodos de días de almacenamiento (0 y 14 días). Cada tratamiento fue establecido por triplicado, considerando tres frutos por repetición. Las condiciones de almacenamiento fueron temperatura de 15 a 17°C y humedad relativa del 80%. Las variables evaluadas fueron peso de fruto color, firmeza de pulpa, °Brix y color de la pulpa. La firmeza (Newton) se cuantifico con un medidor de fuerza digital Chatillon DFE-100 (AMETEK Inc., USA), y el contenido de sólidos solubles con un refractómetro Digital Reichert AR200 (Reichert Inc., New York, USA). El color se determinó utilizando un espectrofotómetro de esfera X-Rite SP62 (X-Rite Inc., USA) el cual expresa los valores como L\*, C\*, °h, donde: L\* (Luminosidad) define la claridad del color, C\* (Cromaticidad) indica la saturación del color y °h (Hue) indica el ángulo del tono (X-Rite, 2002). Los datos se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias mediante el programa estadístico SAS 9.1, empleando la prueba de DMS a un nivel de significancia de 0.05, para la comparación de medias.

Cuadro 19. Relación de tratamientos obtenidos de la combinación portainjertos y días de almacenamiento de frutos de sandía.

Portainjerto	Días de almacenamiento	
	0 días	14 días
Control	*T1	T10
Tz-148	T2	T11
Super shintosa	T3	T12
L 43	T4	T13
L 46	T5	T14
L 48	T6	T15
L 50	T7	T16
L 54	T8	T17
L56	T9	T18

\*Combinación portainjerto y día de almacenamiento.

#### 5.4. Resultados y discusión

La calidad postcosecha de la sandía evaluada al inicio y al final de un periodo de 14 días, no fue alterada por la interacción tiempo de almacenamiento y condición de

planta injertada ( $P>0.05$ ). Sin embargo, al considerar de manera independiente las especies de portainjertos empleadas y el tiempo de almacenamiento con relación a la planta normal, se tuvieron diferentes comportamientos (Cuadro 20).

Cuadro 20. Análisis de varianza de parámetros de calidad de sandía variedad Tri-X 313 bajo condición normal e injertada.

Fuente de variación	Peso de fruto	Firmeza	Contenido de sólidos solubles totales	Atributos de Color		
				Luminosidad	Cromaticidad	Hue
Portainjerto (P)	***	***	*	**	NS	*
Almacenamiento (A)	NS	***	NS	**	***	***
P x A	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>NS</sup> no significativo, \*nivel de significancia al 0.05, \*\* nivel de significancia al 0.01, \*\*\* nivel de significancia al 0.001

El peso de fruto presentó variaciones asociadas al injerto, donde esta condición favoreció 44% ( $P<0.001$ ) más de peso (Cuadro 20 y 21). Esta superioridad de la planta injertada, se expresó en mayor nivel con portainjertos de *Cucurbita*, donde el incremento fue del 55% ( $P<0.001$ ), mientras que al emplear *Lagenaria* como portainjerto, los incrementos fueron del 40% ( $P<0.001$ ). No obstante, la respuesta dada entre ambas especies de portainjertos no fue significativa ( $P=0.053$ ). En cuanto al comportamiento específico de los portainjertos, los de mayor incremento en el peso de fruto, fueron Super shintosa, L54 y L56 (Cuadro 22). El peso del fruto fue un parámetro que no varió significativamente ( $P>0.05$ ) por efecto de los 14 días de almacenamiento, aunque la tendencia fue reducir hasta 1.2%.

Con estos resultados se demuestra que el injerto es una alternativa para incrementar el peso de los frutos y mantener la calidad de los frutos en cuanto a peso se refiere, sin embargo, depende del portainjerto utilizado. Resultados similares fueron reportados por Alan *et al.* (2007), quienes registraron mayor peso de fruto en plantas injertadas en *Lagenaria* e híbridos de *Cucurbita* bajo condiciones de microtúnel. Los niveles de pérdida en peso en frutos de sandía por efecto del periodo de almacenamiento han sido documentados por Perkins-Veazie y Collins (2006) y Yau *et al.* (2010), quienes encontraron pérdidas de 1 a 2% en condiciones similares de almacenamiento. La reducción de peso en frutos se atribuye a la pérdida de humedad por evaporación a través de la epidermis de la fruta (Yau *et al.*, 2010),

donde los niveles de evaporación se relacionan con la presencia de una capa de cera (n-parafina) del epicarpio de la fruta, la cual, actúa como barrera a la humedad y gas (Panchev *et al.*, 2014).

Cuadro 21. Promedio y contraste ortogonal de parámetros de calidad de sandía variedad Tri-X 313 en condición normal e injertada.

Variables	Tratamientos				*Contraste (Valor de P)			
	Planta normal	Planta injertada	Planta injertada <i>Cucurbita</i>	Planta injertada <i>Lagenaria</i>	C1	C2	C3	C4
Peso de fruto (Kg)	4.50	6.48	6.96	6.32	<0.001	<0.001	<0.001	0.053
Firmeza (N)	13.86	13.90	16.54	13.03	0.954	0.010	0.345	<0.001
Contenido de sólidos solubles totales (°Brix)	11.63	12.10	11.77	12.21	0.093	0.671	0.043	0.040
Luminosidad (L*)	49.08	49.15	47.28	49.77	0.944	0.100	0.469	0.001
Cromaticidad (C*)	27.68	27.34	27.43	27.31	0.701	0.810	0.680	0.854
Hue (°h)	46.39	49.05	46.95	49.74	0.043	0.702	0.014	0.007

\*C1= planta normal vs planta injertada, C2=planta normal vs planta injertada en *Cucurbita*, C3=planta normal vs planta injertada en *Lagenaria*, C4= planta injertada en *Cucurbita* vs planta injertada en *Lagenaria*

Cuadro 22. Parámetros de calidad de frutos de sandía injertada y sin injertar almacenados a los 0 y 14 días.

Portainjerto	Peso de fruto (kg)			Firmeza (N)			Contenido de sólidos solubles totales (°Brix)		
	0	14	media	0	14	media	0	14	media
Control	4.53	4.47	4.50 <sup>c</sup>	14.34	13.37	13.86 <sup>bc</sup>	11.73	11.53	11.63 <sup>bc</sup>
Tz-148	6.40	6.32	6.36 <sup>b</sup>	17.52	12.89	15.20 <sup>b</sup>	12.15	12.44	12.30 <sup>ab</sup>
Super shintosa	7.59	7.51	7.55 <sup>a</sup>	19.54	16.20	17.87 <sup>a</sup>	11.29	11.18	11.24 <sup>c</sup>
L 43	6.32	6.26	6.29 <sup>b</sup>	14.08	11.87	12.98 <sup>bc</sup>	11.78	12.62	12.20 <sup>ab</sup>
L 46	6.10	6.03	6.06 <sup>b</sup>	15.23	13.85	14.54 <sup>b</sup>	11.79	11.89	11.84 <sup>abc</sup>
L 48	6.46	6.36	6.41 <sup>b</sup>	14.38	12.70	13.54 <sup>bc</sup>	11.86	11.92	11.89 <sup>abc</sup>
L 50	4.73	4.68	4.70 <sup>c</sup>	12.66	11.33	12.00 <sup>c</sup>	12.18	12.54	12.36 <sup>ab</sup>
L 54	7.83	7.75	7.79 <sup>a</sup>	13.72	12.70	13.21 <sup>bc</sup>	12.50	12.60	12.55 <sup>a</sup>
L56	6.72	6.64	6.68 <sup>ab</sup>	13.09	10.71	11.90 <sup>c</sup>	12.46	12.41	12.44 <sup>a</sup>
media	6.30	6.22		14.95 <sup>A</sup>	12.85 <sup>B</sup>		12.13	11.97	

<sup>ab</sup> Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0,05).

<sup>AB</sup> Medias con diferente letra en la misma fila son estadísticamente diferentes (P<0,05).

La firmeza de la pulpa fue afectada significativamente ( $P < 0.001$ ) por el injerto y por el tiempo de almacenamiento (Cuadro 20). La condición injertada generó mayor firmeza al combinar en la planta de sandía patrones de la especie *Cucurbita* con respecto a la planta normal ( $P = 0.010$ ), en tanto, los portainjertos de *Lagenaria* no mostraron variaciones significativas ( $P = 0.345$ ) (Cuadro 21). Este comportamiento, también fue evidente al comparar ambas especies, donde *Cucurbita* fue superior en 30% más de firmeza con respecto a la respuesta inducida por *Lagenaria* ( $P < 0.001$ ). El portainjerto con mayor influencia en el incremento en firmeza fue Super shintosa (Cuadro 22), el cual superó en 29% más de firmeza con relación a la planta control o sin injerto. En cuanto al efecto del almacenamiento, se tuvieron pérdidas del 14% en firmeza de forma general ( $P < 0.05$ ), identificándose a los frutos con mayor deterioro a los injertados con TZ 148. Con estos resultados fue evidente la respuesta diferencial en la firmeza de los frutos por el efecto del portainjerto. Resultados similares han sido destacados por Huitrón-Ramírez *et al.* (2009), quienes registraron incrementos de hasta 23% en firmeza de pulpa al utilizar el portainjerto Shintosa Camelforce (híbrido de *Cucurbita*) en la variedad Tri-X 313. Por su parte, Álvarez-Hernández *et al.* (2015) encontraron incrementos entre 4.3 y 18.8% en firmeza de pulpa en sandía triploide variedad Crunchy Red injertada sobre Super shintosa. Igualmente, se ha evidenciado que portainjertos de *Lagenaria* no alteran la consistencia de la pulpa de sandía (Yetisir *et al.*, 2003). Bruton *et al.* (2009) coinciden en señalar que al evaluar en dos años consecutivos la firmeza de los frutos en variedades de sandía triploides injertada sobre *Lagenaria* “RS1332” no es modificada de manera significativa.

El análisis del contenido de sólidos solubles totales fue modificado por los portainjertos ( $P < 0.05$ ), mientras el periodo de almacenamiento no influyó de manera significativa ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 20). La condición injertada con portainjertos de *Lagenaria* favoreció en 4 y 5% más de °Brix con respecto a planta injertada con portainjertos de *Cucurbita* ( $P = 0.040$ ) y planta normal ( $P = 0.043$ ), respectivamente (Cuadro 21). Entre los diferentes portainjertos L54 y L56 de *Lagenaria*, presentaron mayor contenido de sólidos solubles totales con 12.55 y 12.44 °Brix, respectivamente, mientras que el portainjerto híbrido Super shintosa y planta normal exhibieron menor valor con 11.24 y 11.63 °Brix, respectivamente (Cuadro 22).

En concordancia con estos resultados, Karaca *et al.* (2012) y Candir *et al.* (2013) demostraron que existen genotipos de *Lagenaria* que pueden favorecer el contenido de sólidos solubles totales en sandía. Yetisir y Sari (2003) y Yetisir *et al.* (2003) registraron valores estadísticamente similares en portainjertos híbridos comerciales de *Lagenaria* y la condición normal. Otras investigaciones concuerdan en que, el contenido de sólidos solubles no es afectado en sandías triploides sobre portainjertos híbridos de *Cucurbita*, en las combinaciones “Reina de Corazones/Shintosa”, “Tri-X 313/Shintosa Camelforce” y “Crunchy Red/Super Shintosa” (Miguel *et al.*, 2004; Huitron-Ramirez *et al.*, 2009; Álvarez-Hernández *et al.*, 2015).

La coloración de la pulpa de sandía fue una característica que varió con el portainjerto y periodo de almacenamiento (Cuadro 20). Entre los componentes que integran a este parámetro, el tono de la pulpa (ángulo hue) varió entre planta injertada y sin injerto ( $P=0.043$ ), exhibiéndose menor color rojo en frutos de planta injertada con *Lagenaria* ( $P=0.014$ ), mientras que con portainjertos *Cucurbita* (super shintosa y TZ 148) no se tuvieron diferencias ( $P=0.701$ ) en matiz de la pulpa con relación a la planta sin injerto. Identificándose a la especie *Lagenaria siceraria* como la de menor tonalidad ( $P=0.007$ ) y mayor luminosidad ( $P=0.001$ ) en la pulpa en comparación con *Cucurbita* (Cuadro 21). Sin embargo, al comparar los diferentes portainjertos, se identificó a *Lagenaria* L43 con características similares en el color de la pulpa a la planta sin injerto (Cuadro 23).

Los frutos en condiciones de almacenamiento presentaron una transición de color de pulpa de rojo brillante a rojo anaranjado, opaco y claro. Esta transición en la coloración no se relacionó con la condición normal e injertada de las plantas. Los cambios observados en el tono ( $\Delta^{\circ}h=4.40$ ), luminosidad ( $\Delta L^*=1.95$ ) y cromaticidad ( $\Delta C^*=-2.53$ ), en la pulpa, fue producto de los días de almacenamiento en los cuales se mantuvo una temperatura de 15 a 17°C (Cuadro 6). Estos resultados coinciden con los reportados por Karaca *et al.* (2012), quienes encontraron cambio de coloración rojo brillante a rojo anaranjado, argumentando que el cambio de color está asociado al nivel progresivo de senescencia como resultado de los días transcurridos durante el almacenamiento, además de las condiciones de temperatura presentes (Gil *et al.*, 2006; Perkins-Veazie y Collins, 2006).

Cuadro 23. Parámetros de coloración de pulpa en frutos de sandía injertada y sin injertar almacenados a los 0 y 14 días.

Porta- injerto	Luminosidad (L*)			Cromaticidad (C*)			Hue (°h)		
	0	14	media	0	14	media	0	14	media
Control	47.14	51.03	49.08 <sup>bcd</sup>	30.20	25.15	27.68	43.12	49.65	46.39 <sup>c</sup>
Tz-148	45.37	48.83	47.10 <sup>d</sup>	28.70	26.49	27.60	42.22	51.31	46.76 <sup>bc</sup>
Super shintosa	46.10	48.80	47.45 <sup>cd</sup>	27.92	26.62	27.27	44.98	49.31	47.14 <sup>bc</sup>
L 43	50.64	48.87	49.76 <sup>abc</sup>	26.63	25.86	26.25	45.73	49.90	47.81 <sup>bc</sup>
L 46	47.07	49.68	48.37 <sup>cd</sup>	27.00	25.51	26.26	47.23	52.45	49.84 <sup>ab</sup>
L 48	48.35	54.36	51.36 <sup>ab</sup>	30.88	24.90	27.89	48.16	50.52	49.34 <sup>abc</sup>
L 50	48.00	48.76	48.38 <sup>cd</sup>	28.59	27.05	27.82	48.73	50.76	49.75 <sup>abc</sup>
L 54	48.85	48.26	48.56 <sup>cd</sup>	29.91	27.35	28.63	49.82	53.47	51.65 <sup>a</sup>
L56	51.98	52.45	52.22 <sup>a</sup>	27.94	26.05	27.00	48.92	51.23	50.08 <sup>ab</sup>
media	48.17 <sup>B</sup>	50.12 <sup>A</sup>		28.64 <sup>A</sup>	26.11 <sup>B</sup>		46.55 <sup>A</sup>	50.95 <sup>B</sup>	

<sup>ab</sup> Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0,05).

<sup>AB</sup> Medias con diferente letra en la misma fila son estadísticamente diferentes (P<0,05).

## 5.5. Conclusión

La calidad postcosecha de los frutos de sandía no fue modificada por la condición injertada. Sin embargo, el injerto induce mayor peso de fruto, firmeza de pulpa y contenido de sólidos solubles. La coloración de la pulpa fue ligeramente afectada por portainjertos de *Lagenaria* al presentar pulpa de color menos rojo con relación a los frutos de plantas sin injerto. La calidad de los frutos por efecto de los 14 días de almacenamiento, fue modificada en firmeza, contenido de sólidos solubles totales y coloración de la pulpa. Los portainjertos L43, L46 y L48 de *Lagenaria*, se identificaron como los más promisorios para reducir la pérdida de peso, conservar la firmeza y mantener el color de la pulpa. Los portainjertos L54 y L56 favorecen el contenido de sólidos solubles totales pero disminuyen ligeramente el color de la pulpa. Los portainjertos criollos de *L. siceraria* representan un recurso genético que potencialmente puede ser integrado a programas de mejoramiento para la producción comercial de sandía injertada.

## 5.6. Literatura citada

Alan, O.; Ozdemir, N.; Gunen, Y. 2007. Effect of grafting on watermelon plant growth, yield and quality. *Journal of Agronomy*, 6(2):362-365.

Álvarez-Hernández, J. C.; Castellanos-Ramos, J. Z.; Aguirre-Mancilla, C. L.; Huitrón-Ramírez, M. V.; Camacho-Ferre, F. 2015. Influence of rootstocks on fusarium wilt, nematode infestation, yield and fruit quality in watermelon production. *Ciência e Agrotecnologia Journal*, 39(4):323-330.

Boughalleb, N.; Tarchoun, N.; El Mbarki, A.; El Mahjoub, M. 2007. Resistance evaluation of nine cucurbit rootstocks and grafted watermelon (*Citrullus lanatus* L.) Varieties against Fusarium wilt and Fusarium crown and root rot. *Journal of Plant Sciences*, 2(1):102-107.

Bruton, B. D.; Fish, W. W.; Roberts, W.; Popham, T. W. 2009. The influence of rootstock selection on fruit quality attributes of watermelon. *The Open Food Science Journal*, 3:15-34.

Camacho, F.; Fernández, E. J. 2000. El cultivo de sandía apirena injertada, bajo invernadero, en el litoral mediterráneo español. 1 ed. España: Mundi-prensa libros. 312 pp.

Candir, E.; Yetisir, H.; Karaca, F.; Ustun, D. 2013. Phytochemical characteristics of grafted watermelon on different bottle gourds (*Lagenaria siceraria*) collected from the Mediterranean region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37:443-456.

Colla, G.; Roupael, Y.; Mirabelli, C.; Gardarelli, M., 2011. Nitrogen-use efficiency traits of mini-watermelon in response to grafting and nitrogen-fertilization doses. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174:933-941.

Davis, A.; Perkins-Veazie, P. 2005. Rootstock effects on plant vigor and watermelon fruit quality. *Cucurbit Genetics Cooperative Report*, 28-29:39-42.

Fernández-Cara, C. 1998. Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos del Sureste español. Ed. Caja Rural de Almería. Almería, España. 445 p.

Gil, M. I.; Aguayo, E.; Kader, A. A. 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12):4284-4296.

Huitrón-Ramírez, M. V.; Ricárdez-Salinas, M.; Camacho-Ferre, F. 2009. Influence of grafted watermelon plant density on yield and quality in soil infested with melon necrotic spot virus. *HortScience*, 44:1838-1841.

Islam, M. S.; Bashir, H. M. K.; Howlader, M. I. A.; Sarker, J. U.; Al-Mamun, M. H. 2013. Effect of grafting on watermelon growth and yield. *Khon Kaen Agricultural Journal*, 41:284-289.

Karaca, F.; Yetisir, H.; Solmaz, I.; Candir, E.; Kurt, S.; Sari, N.; Guler, Z. 2012. Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, yield and quality. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36:167-177.

Lee, J. M.; Kubota, C.; Tsao, S. J.; Bie, Z.; Echevarria, P. E.; Morra, L.; Oda, M. 2010. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127:93-105.

Maroto, J. V.; Borrego, I.; Miguel-Gómez, A.; Pomares-García, F. 2002. El cultivo de la sandía. Editorial Mundi-prensa. 322 pp.

Miguel, A.; Maroto, J. V.; San Bautista, A.; Baixauli, C.; Cebolla, V.; Pascual, B.; Lopez, S.; Guardiola, J. L. 2004. The grafting of triploid watermelon is an advantageous alternative to soil fumigation by methyl bromide for control of Fusarium wilt. *Scientia Horticulturae*, 103:9-17.

Panchev, I. N.; Pashova, S. D.; Radev, R. S.; Petrov, D. N.; Kovacheva, D. G. 2014. Physical studies of plant wax from watermelon. *Bulgarian Chemical Communications*, 46(B):20-24.

Pardo, J. E.; Gomez, R.; Tardaguila, J.; Amoz, M.; Varon, R. 1997. Quality evaluation of watermelon varieties (*Citrullus vulgaris* S.). *Journal of Food Quality*, 20:547-557.

Perkins-Veazie, P.; Collins, J. K. 2006. Carotenoid changes of intact watermelons after storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:5868-5874.

Petropoulos, A.; Olympios, C.; Ropokis, A.; Vlachou, G.; Ntatsi, G.; Paraskevopoulos, A.; Passam, C. 2014. Fruit volatiles, quality, and yield of watermelon as affected by grafting. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16: 873-885.

Petropoulos, S. A.; Khah, E. M.; Passam, H. C. 2012. Evaluation of rootstocks for watermelon grafting with reference to plant development, yield and fruit quality. *International Journal of Plant Production*, 6(4):481-492.

Risse, L. A.; Brecht, J. K.; Sargent, S. A.; Locascio, S. J.; Crall, J. M.; Elmstrom, G. W.; Maynard, D. N. 1990. Storage characteristics of small watermelon cultivars. *American Society for Horticultural Science*, 115(3):440-443.

Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Colla, G.; Rea, E. 2008. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *Hortscience*, 43(3):730-736.

Schwarz, D.; Rouphael, Y.; Colla, G.; Venema, H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127:162-171.

X-Rite, Incorporated 2002. Guía para entender la comunicación del color. 25 p. Recuperado de [http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-001\\_Understand\\_Color\\_es.pdf](http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-001_Understand_Color_es.pdf)

Yau, E. W.; Rosnah, S.; Noraziah, M.; Chin, N. L.; Osman, H. 2010. Physico-chemical compositions of the red seedless watermelons (*Citrullus lanatus*). *International Food Research Journal*, 17:327-334.

Yetisir, H.; Kurt, F.; Sari, N.; Tok, F. M. 2007. Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, graft compatibility, and resistance to Fusarium. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 31:381-388.

Yetisir, H.; Sari, N. 2003. Effect of different rootstock on plant growth, yield and quality of watermelon. Australian Journal of Experimental Agriculture, 43:1269-1274.

Yetisir, H.; Sari, N.; Yunel, S. 2003. Rootstock resistance to Fusarium wilt and effect on watermelon fruit yield and quality. Phytoparasitica. 31:163-169.

Yetisir, H.; Uygur, V. 2009. Plant growth and mineral element content of different gourd species and watermelon under salinity stress. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 33:65-77.

Yetisir, H.; Uygur, V. 2010. Responses of grafted watermelon onto different gourd species to salinity stress. Journal of Plant Nutrition, 33:315-327.

## CONCLUSIONES GENERALES

En el presente estudio se logró indificar cuatro morfotipos de *Lagenaria siceraria* en base a las características de fruto y semilla, siendo los caracteres de mayor importancia en la disimilitud de grupos la longitud y diámetro de semilla, y en fruto longitud y circunferencia inferior. El reconocimiento de los morfotipos se considera que estuvo asociado al tipo de uso de los frutos en las diferentes regiones del país, más que a un patrón de variabilidad natural de la especie.

La evaluación de *Lagenaria siceraria* como portainjertos en la producción de variedades diploides y triploides de sandía, induce mayor precocidad del fruto y rendimiento con respecto a la planta sin injerto, aunque el nivel de respuesta depende de la combinación variedad/portainjerto.

El contenido de sólidos solubles totales en el fruto se favoreció con portainjertos de *L. siceraria* en variedades diploides (Sangría y 2800), mientras que en la variedad triploide (Tri-X 313), este parámetro no se modificó.

La calidad postcosecha de los frutos de sandía se favoreció con los portainjertos de *Lagenaria*, al inducir menor pérdida de peso, conservación de la firmeza y color de la pulpa, así como la concentración de sólidos solubles totales, identificándose los genotipos L43, L46 y L48 como los más sobresalientes para mejorar la vida de anaquel de los frutos.

Portainjertos criollos de *Lagenaria siceraria*, potencialmente representan un recurso genético apto para mejorar la producción y calidad de sandía injertada, siendo los genotipos L50 y L56 los más promisorios.



