

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Estudio del Rendimiento y Componentes del Rendimiento en Híbridos  
Triploides y Progenitores Diploides y Tetraploides de Tomate Cáscara  
(*Physalis ixocarpa* Brot.).

Por:

**ELOY GRANDA GONZÁLEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2012

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

Estudio del Rendimiento y Componentes del Rendimiento en Híbridos  
Triploides y Progenitores Diploides y Tetraploides de Tomate Cáscara  
(*Physalis ixocarpa* Brot.).

Por:

**ELOY GRANDA GONZÁLEZ**

Tesis

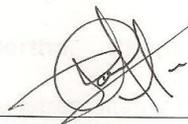
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

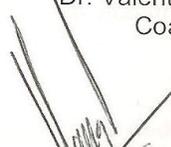
Aprobada por:



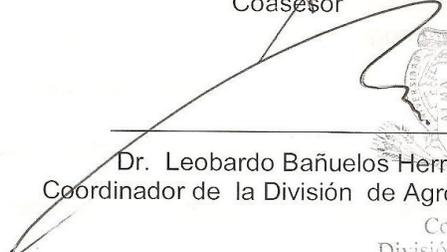
M.C. Francisca Ramírez Godina  
Asesor Principal



Dr. Valentín Robledo Torres  
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila México  
Junio, 2012

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas y cada una de las personas que en mi trayecto como estudiante han generado el estímulo para mi desarrollo académico.

A todos aquellos profesores que con su capacidad y paciencia me han dado la oportunidad de compartir sus conocimientos, aunque ha veces uno no los valore como se debiese.

A todas aquellas personas que se han dado la pauta de ponerme un poco de atención y generan consejos que me ayudan a ser mejor como persona y como estudiante.

A mis amigos con quienes he compartido grandes momentos de esta etapa de mi vida “**Caren, Male, Pelenco, Bertha, Chepe, Güerita, Fila, Chayo, Viki, Luz, Mosh, Chino,....**” Que en nuestras altas y baja tratamos de apoyarnos unos con otros y espero que nuestra amistad perdure por mucho tiempo.

Pero principalmente este trabajo está dedicado a mis padres, **Tomas y Eva**, que me han apoyado en las decisiones que he tomado y que aunque no sean muy de su agrado me brindan ese apoyo incondicional, porque han luchado para darme una educación que ahora termino. A mi hermanos **Emmanuel, Xochiquetzal, Mayanelt**, que de alguna forma han sido también un estímulo para terminar mi carrera. Y verdaderamente lo digo con todo el corazón gracias a todos y cada uno de ustedes y **gracias a Dios**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO mi ALMA MATER, que medio la oportunidad de formar parte de ella y que haré todo lo posible por no dejar mal a esta casa de estudios porque soy orgullosamente Buitre de la Narro y orgullosamente de la carrera de Horticultura.

Agradezco a todos los maestros que me impartieron cursos durante la carrera que con su aportación de conocimientos me dan las armas para hacer mi propia aportación al campo mexicano.

Al Dr. Valentín Robledo Torres por su ayuda y asesoría en la elaboración del trabajo.

A la T.A. Norma Leticia Portos Gaona por la ayuda que brindo al trabajo durante la estancia en el laboratorio de Citogenética.

A mi asesor: La maestra Francisca Ramírez Godina por las asesorías y el apoyo que me brindo aclarando dudas que surgieron en la elaboración del trabajo.

A mis compañeros con los que se compartieron conocimientos, ideas, momentos que difícilmente se olvidan. Espero y les vaya muy bien ahora que empiezan también una nueva etapa.

## RESUMEN

Dentro de las hortalizas más cultivadas en México el tomate cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), ocupa el cuarto lugar a nivel nacional con una superficie cultivada con 48,445 Has y un rendimiento de 719,848 Ton. Con un rendimiento promedio de 15.5 ton/ha, los cuales son relativamente bajos comparados con otras hortalizas, ante la necesidad de incrementar rendimientos en éste cultivo surge la necesidad de realizar investigaciones en torno al desarrollo de nuevas modalidades de mejoramiento de la especie, una de ellas es la formación de tetraploides y triploides, por lo tanto el objetivo del presente trabajo fue la formación de triploides y su comparación con sus progenitores diploides y tetraploides.

En el presente trabajo se encontró que la viabilidad de los tetraploides fue de (54.80% a 69.77%) se redujo en comparación con los diploides (90.17% a 91.71) mientras que el tamaño del grano de polen se incrementó pasando de 23.42 a 25.53  $\mu\text{m}$  en los diploides a 28.75 a 31.10  $\mu\text{m}$  y los tetraploides.

Se encontró que el 83.33% de las cruzas diploide por tetraploide presentaron la poliploidia triploide  $2n=3X=36$ , mientras que el 10.18 % fueron tetraploides  $2n=4X=48$  y solo el 6.48% fue diploide  $2n=2X=24$ .

La craza 2x13 superó en rendimiento de fruto en 178.24% y 19.66% a su progenitor tetraploide 2 y que su progenitor diploide 13 respectivamente.

La cruza 11x21 presento el mayor peso de fruto 37.153g y fue estadísticamente igual ( $P>0.05$ ) a la cruza 2x13, 16x1 y 16x21y a cuatro progenitores diploides.

La cruza 11x21 presento el mayor diámetro ecuatorial de fruto 51.66 mm y fue estadísticamente igual ( $P>0.05$ ) a las cruzas 5 x 13, 20 x 1, 2 x 13, 5 x 19 y 16x21. Sin embargo, en todas las cruzas fue mayor el diámetro ecuatorial que el polar, dando frutos aplanados de los polos.

Se concluye que, la poliploidización afectó la viabilidad del polen, ocasionado pérdida de fertilidad, pero se redujo o se perdió la autoincompatibilidad en las poblaciones tetraploides, incrementando la posibilidad de formación de líneas puras.

La duplicación cromosómica en tomate de cáscara contribuyó a la modificación de la forma de frutos, resultando estos de forma achatada de los polos.

**Palabras clave:** Tomate de cascara, diploide, triploide, tetraploide, viabilidad polen, fertilidad, cruzas, poliploidia, rendimiento.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>4</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
Origen en distribución.....	5
Historia.....	6
Importancia económica de <i>Physalis</i> en México.....	7
Taxonomía.....	8
Citología.....	11
Composición química.....	13
Hbito de crecimiento.....	14
Características Botánicas.....	14
Fenología.....	17
Requerimientos Climáticos.....	19
Prácticas de Cultivo.....	21

Enfermedades del tomate de cáscara.....	24
Plagas de tomate cáscara.....	25
Mejoramiento Genético.....	27
Diversidad Genética.....	30
Conservación del Recurso Genético <i>Physalis</i> .....	31
Perspectivas de Mejora y Limitaciones.....	32
Usos del ( <i>Physalis ixocarpa Brot.</i> ).....	33
Poliploidia.....	34

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Generación de cruzas diploides por tetraploides**

Ubicación.....	38
Clima.....	38
Material genético.....	38
Proceso de los Cruzamientos.....	39
Establecimiento de plantas en invernadero.....	40
Manejo del cultivo.....	42
Autoincompatibilidad de Progenitores diploides y tetraploides...	43
Prueba de viabilidad de polen de progenitores diploides y tetraploides	44
Obtención de semilla resultante de frutos de los cruzamientos.	45

### **Evaluación de Híbridos triploides y sus progenitores**

Sitio Experimental.....	46
Material Genético.....	46
Producción de plántulas.....	46
Diseño experimental.....	47

Manejo del cultivo.....	48
Control de plagas y enfermedades.....	48
Cosecha de fruto.....	49
Evaluación de los componentes del rendimiento de híbridos triploides y sus progenitores.....	49
Rendimiento total de fruto (RTF).....	49
Número total de frutos por planta de cinco cortes (NTF)....	49
Peso promedio de fruto (PPF).....	50
Diámetro polar de fruto (DPF) y Diámetro ecuatorial de fruto (DEF).....	50
Análisis estadístico.....	50
Caracterización citogenética.....	51
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	
Viabilidad y Tamaño de polen de tetraploides y diploides.....	53
Prueba preliminar de autoincompatibilidad.....	56
Resultados de los Cruzamientos.....	58
Evaluación de híbridos triploides.....	59
Análisis Meiótico.....	59
Rendimiento de fruto de híbridos triploides y sus progenitores...	63
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Principales estados productores de tomate cáscara así como su porcentaje en superficie sembrada y su aportación en la producción nacional.....	8
<b>Cuadro 2.</b> Nombres comunes del tomate de cáscara en diferentes regiones de México.....	12
<b>Cuadro 3.</b> Composición química de tomate cáscara. ....	13
<b>Cuadro 4.</b> Principales enfermedades que se presentan en el tomate de cáscara y su control.....	26
<b>Cuadro 5.</b> Se presenta las principales plagas que atacan el cultivo de tomate cáscara.....	27
<b>Cuadro 6.</b> Cuadrados medios obtenidos del análisis de varianza aplicado a viabilidad y tamaño de polen de poblaciones diploides y tetraploides de ( <i>Physalis ixocarpa Brot</i> ).....	53
<b>Cuadro 7.</b> Viabilidad y tamaño de polen, así como número de frutos y semilla en progenitores diploides y tetraploides de ( <i>Physalis ixocarpa Brot.</i> ).....	54
<b>Cuadro 8.</b> Número de Frutos, semillas y plántulas producidas en los cruzamientos de diploides x tetraploides en tomate de cáscara.....	61
<b>Cuadro 9.</b> Número de plantas híbridas analizadas por meiosis en diacinesis y su nivel de ploidía.....	62

<b>Cuadro 10.</b> Cuadrados medios obtenidos del análisis de varianza aplicado a ocho variables de híbridos triploides y sus progenitores diploides y tetraploides de ( <i>Physalis ixocarpa Brot</i> ).....	63
<b>Cuadro 11.</b> Valores medios de rendimiento y calidad de fruto en híbridos triploides sus progenitores diploides y tetraploides de tomate de cáscara.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plantas en pares diploide y tetraploide cubiertas con velo.....	40
Figura 2. Cruzamientos de plantas diploide utilizadas como machos, por tetraploide utilizadas como hembras en tomate de cáscara ( <i>Physalis ixocarpa Brot.</i> ) .....	41
Figura 3. Metodología de los cruzamientos de acuerdo al Diseño II de Carolina del Norte.....	42
Figura 4. Células en diacinesis de ( <i>Physalis ixocarpa Brot.</i> ), (A) Diploides $2n = 2x = 24$ , (B) triploides $2n = 3x = 36$ , (C) tetraploides $2n = 4x = 48$ , 100x.....	61
Figura 5. Frutos de la cruza 11 x21, 20 x19 y sus progenitores en tomate de cáscara.....	66
Figura 6. Rendimiento de fruto en Kg/planta, comparación de híbridos triploides y sus respectivos progenitores diploides y tetraploides.....	67
Figura 7. Diámetro ecuatorial y polar de frutos de híbridos triploides en Tomate de cáscara.....	68

## INTRODUCCIÓN

En México el cultivo de tomate cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es ampliamente demandado, ya que en la gastronomía de nuestro país hay una infinidad de platillos que se pueden preparar con esta hortaliza, formando parte de la dieta de la población.

El tomate de cáscara, verde, tomatillo, etc. nombrado según la zona en donde se encuentre, se cultiva en todo el territorio nacional, ocupando el cuarto lugar dentro de las hortalizas en superficie cultivada con 48,445 Ton/ha, destacando los estados Sinaloa, Jalisco, Puebla, Sonora, Zacatecas, Nayarit, Morelos, México, solo estos estados representan el 74% de la producción nacional y solo Sinaloa representa el 30%(SIAP, 2010), generando importantes fuentes de empleo.

México como centro de origen cuenta con una gran variedad de material genético, pero cuenta con pocos programas de mejoramiento genético en esta hortaliza, que generen genotipos con mejor rendimiento, resistencia a enfermedades, calidad fruto (vida de anaquel, contenido nutrimental etc.).

Se señala que el germoplasma mexicano de tomate de cáscara no está en peligro de extinción (Montes y Aguirre, 1992); sin embargo, aun cuando se

cuenta con aproximadamente 350 colectas resguardadas en México (190 en INIFAP, 131 en Chapingo y 29 en el Colegio de Postgraduados), el origen de dicho material no es lo diverso, que se requiere para resguardar la gran variabilidad genética existente en la especie, ya que en el mejor de los casos representa solo el de once Estados del país, principalmente los del centro. Es un hecho que en México aún se pueden encontrar todas las etapas que presenta una especie: materiales silvestres, tolerados, fomentados, en proceso de domesticación, nativos cultivados y mejorados (Peña y Santiaguillo, 1999; Santiaguillo *et al.*, 2000).

Teniendo en cuenta caracteres morfológicos y agronómicos, esta variabilidad genética se ha agrupado en ocho tipos o razas: Silvestre, Milpero, Arandas, Tamazula, Manzano, Rendidora, Salamanca y Puebla (Ayala *et al.*, 1992; Peña *et al.*, 1992), mismas que han sido estudiadas por (Montalvo, 1998) mediante marcadores moleculares de ADN para establecer sus distancias genéticas y caracterización molecular, tomando como base el hecho de que todos estos materiales son autoincompatibles, se cruzan entre sí y producen descendencia fértil, por lo que pertenecen a la misma especie (Peña *et al.*, 1998); sea *ixocarpa* o *philadelphica*, pues el nombre científico de la especie está en discusión, aunque actualmente el que se utiliza de manera casi general en la literatura es el primero (Peña y Santiaguillo, 1999).

La poliploidia inducida es una alternativa para el mejoramiento de tomate cascara generando genotipos que pudiesen presentar características

agronómicas de importancia económica, para la formación de mejores variedades, ya que la poliploidia permite mejorar algunas características, como incrementode la calidad nutritiva, tamaño de órganos, aunque es común observar en los autotetraploides la formación de multivalentes y segregación cromosómica irregular que da lugar a reducción de la fertilidad (Speranza, 2011), carácter que se puede mejorar por selección de plantas con estabilidad meiótica. Considerando la importancia del cultivo y la poliploidia en el mejoramiento genético, en éste trabajo se plantaron los siguientes objetivos: La formación de triploides de tomate cascara a través del cruzamiento de genotipos diploides x tetraploides y el estudio del comportamiento agronómico de diploides, triploides y tetraploides de tomate cáscara, bajo las hipótesis que a continuación se presentan.

Es posible la formación de híbridos triploides, mediante la cruza de diploides con tetraploides.

Por lo menos uno de los híbridos triploides formados presentará altos rendimientos.

No hay diferencias significativas en el comportamiento de los diploides, triploides y tetraploides de tomate de cáscara.

## **OBJETIVOS**

Formación de triploides de tomate cascara a través del cruzamiento de genotipos diploides X tetraploides.

Estudio del comportamiento agronómico de diploides, triploides y tetraploides de tomate cascara (rendimiento).

## **HIPÓTESIS**

a).- Es factible la formación de híbridos triploides, mediante la cruce de diploides con tetraploides.

b).- Por lo menos uno de los híbridos triploides formados presentará altos Rendimientos

c) No hay diferencias significativas en el comportamiento de los diploides, triploides y tetraploides de tomate de cáscara.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen y Distribución

México es el centro de origen del tomate cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) aunque en ocasiones toman en cuenta a todo Mesoamérica como centro de origen, considerando a México, Guatemala, Belice, parte de occidente de Honduras, parte de Nicaragua y norte de Costa Rica (Santiaguillo *et al.*, 2010).

La planta abunda en México y tierras altas de Guatemala, los frutos se ven comúnmente en los mercados locales, sin embargo, esta especie no ha tenido la distribución que tiene *Physalis peruviana*, que fue introducida en la India en la década de 1950 y se cultiva en la región desértica del noroeste de Rajastán en Australia, y en Sudáfrica., fue introducida con éxito en África del Este, en 1967 y se describió como la mala hierba más importante de los campos agrícolas en las tierras altas de Kenia (Morton, 1987).

En 1945, la empresa Sr. Sun Joe, frutera estadounidense difundió esta especie bajo el nombre de "Jamberry", como un fruto introducido por el Dr. IEMelhus, Director de la Iowa State College. En 1953 el Centro de Investigación Tropical de Guatemala liberó variedades idóneos para el Medio Oeste Americano, que posteriormente se utilizaron como progenitores para dar origen a la variedad de tomate "Cáscara Maya", que se distribuyó en Iowa y estados vecinos.

En el mundo se reportan de 80 a 120 especies, aunque un número conservador aceptado es de alrededor de 90 especies (D'Arcy, 1991). Se indica que 70 de ellas se encuentran restringidas a México, 17 más se extienden a EUA y América Central y tres en Guatemala (Martínez, 1993) muy pocas se localizan en el este de Asia, India, Australia, Europa y África Tropical, solo la especie, *P. alkekengi* L., se considera del viejo mundo (Santiaguillo *et al.*, 2010).

En México las especies del género *Physalis* se distribuyen en todas las entidades de México. Se desarrolla en los ambientes; tropical, subtropical, templado, árido, semiárido, subhúmedo, y húmedo, frío, semicálido y cálido, se asocia a una diversidad geológica, edáfica, tipos de vegetación y hábitats (Santiaguillo, 2009; Santiaguillo *et al.*, 2010).

## Historia

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es una solanácea cultivada en México y Guatemala, originaria de Mesoamérica. Diversos hallazgos arqueológicos prueban que su uso en la alimentación de la población mexicana se remonta a tiempos precolombinos. En efecto, se han encontrado vestigios de la utilización de *Physalis* como alimento en las excavaciones del Valle de Tehuacán (900 a.C. a 1540 d.C.).

*Physalis ixocarpa* fue domesticada en México y de ahí llevada a Europa y a otras partes del mundo; su introducción en España ha sido bien documentada. Esta especie se cree originaria de la parte central de México y actualmente en dicha región se encuentran poblaciones arvenses y domesticadas.

El nombre tomate se deriva del náhuatl *tomatl*; este vocablo es genérico para plantas con frutos globosos o bayas, con muchas semillas, pulpa acuosa y a veces encerrados en una membrana (Montes y Aguirre, 1996).

### **Importancia Económica de *Physalis* en México**

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es una hortaliza de gran importancia para los mexicanos, ya que es parte importante de la gastronomía, tiene usos medicinales y otros usos de acuerdo a la zona en que se encuentre.

En la actualidad el tomate de cáscara ocupa dentro de las hortalizas, el cuarto lugar en superficie cultivada con 48,445 Has, solo precedida de chile (*Capsicum annuum* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), y tomate (*Solanum lycopersicum* L.). El quinto lugar en producción anual con 719,848 Ton y un valor de \$2, 532,464 (miles de pesos), con un rendimiento promedio de 15.5 Ton/Ha (SIAP, 2010). De acuerdo a la producción por estado, el mayor productor de esta hortaliza es Sinaloa, con el 30% de la producción nacional.

**Cuadro 1.** Principales estados productores de tomate cascara así como su porcentaje en superficie sembrada y su aportación en la producción nacional (SIAP, 2010).

<b>Estado</b>	<b>Superficie Sembrada</b> %	<b>Producción Nacional</b> %
Sinaloa	23	30
Jalisco	11	9
Puebla	9	6
Sonora	7	6
Zacatecas	7	8
Nayarit	6	3
México	6	7
Morelos	5	5
Resto	26	26
	100	100

Cabe resaltar que el tomate cáscara contribuye a la economía del país, por la gran demanda de mano de obra que genera y el volumen de la producción, además por las divisas que genera, ya que se exporta en forma fresca, procesada y enlatada hacia Estados Unidos de Norteamérica que es el principal importador, dado al gran número de latinos que se concentran en ese país.

### **Taxonomía**

Existe gran controversia en la taxonomía de *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem. ya que presenta diferentes sinónimos taxonómicos, también se le conoce como *Physalis aequata* J. Jacq.ex Nees, *Physalis chenopodifolia* Willd., *Physalis laevigota* M. Martens & Galeotti, *Physalis Philadelphica* f. pilosa

Waterf., *Physalis Philadelphica* var. *Minor*Dunal y *Physalis Philadelphica* Lam.  
(Santiaguillo *et al.*, 2010).

Taxonomía de *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem

**Reino:** Plantae

**Subreino:** Embryobionta

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Dicotyledoneae (Magnoliopsida)

**Orden:** Solanales

**Familia:** Solanaceae

**Subfamilia:** Solanoideae

**Tribu:** Solaneae

**Género:** *Physalis*

**Especie:** *ixocarpa* Brot ex Hornem.

La taxonómica de *Physalis* con base en (D´ Arcy, 1979; Santiaguillo *et al.*, 2010).

Tomando como base características de la corola, la forma, la presencia o ausencia de manchas (maculas), características del polen, fruto y de los cromosomas, y si son nativas del viejo o nuevo mundo, (Martínez, 1998) agrupa tentativamente las especies de *Physalis* en los subgéneros: *Physalis*, *Physalodendron*, *Quincula* y *Ridbergis.*, este último subgénero incluye la

mayoría de las especies y de acuerdo a su hábitat, pubescencia, morfología de los tricomas y cáliz en el fruto, se subdivide en nueve secciones: *Carpenteriae*, *Coztomatae*, *Campanulatae*, *Stellatae*, *Lanceolatae*, *Tehuacanensis*, *Ridbergis*, *Angulatae* y *Epeteiorhiza* (Santiaguillo *et al.*, 2010).

Los sinónimos mencionados por (Santiaguillo *et al.*, 2010). Son; *P. aequata* J. Jacq. ex Nees, *P. cavaleriei* H. Lev., *P. chenopodifolia* Willd., *P. laevigata* M. *P. philadelphica* var. *Minor* y *P. philadelphica* Lam. Aunque existe gran controversia en la taxonomía de esta especie última especie, ya que en el estatus taxonómico de *P. ixocarpa* Brot. ex Hornem. y *P. philadelphica* Lam. se ha mostrado gran controversia. (Waterfall, 1967), considero a *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem. y *P. aequata* J. Jacq. ex Nees como sinónimos de *P. philadelphica* Lam.

Fernández (1974), demostró morfológica y citológicamente que *P. ixocarpa* y *P. philadelphica* son dos especies distintas, además indica que los tomates mexicanos se ajustan mejor a la descripción original de *P. philadelphica* descrita por Lamarck. Sin embargo, las variedades de las razas reconocidas de tomate de cáscara en México (Peña y Santiaguillo, 1999), presentan cromosomas con uno a cuatro satélites (Grimaldo *et al.*, 1999).

García (2001) indica que los nombres *P. aequata* J. Jacq. ex Nees y *P. ixocarpa* Brot. ex Hornem. no son sinónimos de *P. philadelphica* Lam., sino

que en realidad corresponden a dos especies diferentes no conocidas, del nuevo mundo.

Sobrino y Sanz (2007) proponen a *P. ixocarpa* como subespecie de *P. philadelphica* Lam.

*Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem o *Physalis philadelphica* Lam. están distribuidas en todo México y por tal motivo en cada zona, lugar o entidad se le conoce con un nombre común, el (Cuadro 2) muestra los nombres comunes del tomate de cáscara.

### **Citología**

El Tomate de Cáscara, Tomate verde o Tomate de bolsa (*Physalis ixocarpa* Brot.) es originario de México. Se ha cultivado desde épocas prehispánicas por los aztecas para el consumo del fruto en forma de salsa.

*Physalis ixocarpa* es diploide  $2n=2x=24$ , con flores hermafroditas, aunque algunas especies del género son poliploides (Menzel, 1951) y otras presentan cromosomas accesorios, presenta autoincompatibilidad producida por dos series alélicas y es infértil cuando uno o más alelos están en estado homocigoto, convirtiéndola en alógama. Es difícil la obtención de líneas endogámicas para la hibridación clásica (Pandey, 1957; Santiaguillo *et al.*, 2004).

**Cuadro 2.** Nombres comunes del tomate de cáscara en diferentes regiones de México (Santiaguillo *et al.*, 2010).

<b>Nombre común</b>	<b>Entidad(s)</b>
Tomate cáscara	Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Veracruz, y Zacatecas
Tomate	Chiapas, Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacan, Morelos y Tlaxcala
Tomatillo	Aguascalientes, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Colima, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Puebla, Querétaro, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas
Hierva de la víbora	Baja California Sur
Chicholpat (tzeltal), Yashaltumat(tzeltal), Chochol(tzotzil).	Chiapas.
ti-nana(mixteco), niltomate, Veneno para pulgas o matapulgas, YaoXkuelitzi, tepetomatl y miltomate.	Guerrero
Tomate serrano, y tomatl (mexicano)	Hidalgo
Tomate de perro, guagtomate y tomate agosteño	Jalisco
Tomate silvestre	Edo. De México, Puebla, Morelos
Tomate de hoja	Michoacán, Querétaro, México
Tomate verde	Michoacán y Morelos
Tomate de burro	Michoacán
Tomatito	Guerrero y Nayarit
Tumate	Nayarit
Miltomate, pchuux-guix (zapoteco), tomate de oreja (Tinana zoo- mixteco), Tzepu (zoque)	Oaxaca
Miltomate	Oaxaca y Puebla
Tomate silvestre verde	Puebla
Tumatl (nahuatl)	Puebla
Tomate bolsa	Guerrero y San Luis Potosí

Sin duda la diversidad de lenguas (Dialectos), genera más nombres comunes del genero *Physalis* en México

## Composición química

El tomate verde o de cáscara tiene un sabor que es a la vez dulce y agrio, y se asemeja al sabor de un limón, es una hortaliza ampliamente utilizada en la gastronomía principalmente para hacer salsas que son acompañadas con cebolla, chiles, ajo, etc., dependiendo de la zona es diferente la forma de preparar estas salsas. En el Cuadro 3 se presenta la composición química del tomate cascara:

**Cuadro 3.** Composición química, 100gr de tomate cascara contiene:

Humedad	90,4 a 91,7 g	Sodio	0,4 mg
Proteína	0,171-0,7 g	Potasio	243 mg
Grasa	0,6 g	De cobre	0,09 mg
Los hidratos de carbono	5,8 g	Azufre	27 mg
Fibra	0.6-1.7 g	Cloruro	14 mg
Ceniza	0.6-0.69 g	Caroteno (vitamina A)	80 UI o mg 0.061-0.074
Calcio	6,3-10,9 mg	Tiamina	0.054-0.106 mg
Magnesio	23 mg	Riboflavina	0.023-0.057 mg
Fósforo	21.9-40 mg	La niacina	2.1-2.7 mg
Fitina fósforo	7 mg	Ácido ascórbico	2-4.8 mg
De hierro	0,57-1,4 mg	Hierro ionizable	1,0 mg

\*De acuerdo a los análisis de la fruta descascarillado efectuadas en Guatemala y la India. (Morton, 1987)

## Hábito de Crecimiento

Planta herbácea, anual, de 40 a 120cm de altura o más. Presenta tres tipos de hábitos de crecimiento: Rastrero, Erecto y Semi-erecto.

El hábitorastrero se caracteriza porque generalmente crece en forma erecta sólo hasta 0.40 m. y conforme se desarrolla la planta, los tallos se extienden sobre la superficie del suelo.

El tipo erectose identifica por el aspecto arbustivo que presenta laplanta, originada por un crecimiento casi vertical de los tallos, lasvariedades nuevas en su mayoría son de crecimiento semirrecto (López, 2011).

## Características Botánicas

**Raíz:** Típica o columnar, presenta ramificaciones secundarias, profundas que pueden alcanzar hasta 60 cm o más. En sistema deplantación sufre una modificación transformándose en fibrosas y depoca penetración al suelo, es por eso que se recomienda hacertrasplantes directos de charola, no de almácigoy procurar que laraíz no quede al desnudo o se quiebre (López, 2011).

**Tallo:** El tallo es estriado, herbáceo o ligeramente leñoso en la base, ramas primarias de 0.08 a 2.3 cm. de diámetro; en los primeros días devida se

presentan pelos esparcidos en el tallo, hojas y ramas, las cuales se pierden a medida que van creciendo (López, 2011).

**Hojas:** Con pecíolos de 0.4 a 6.5 cm de largo, ovadas, de 2 a 8.2 cm de largo por 1 a 6 cm de ancho, ápice agudo a ligeramente acuminado, con márgenes toscos e irregularmente dentados, con 2 a 6 dientes en cada lado, base atenuada, son hojas compuestas con un acomodo alterno, pero a veces dos o tres aparentemente juntas debido a la reducción de entrenudos (Santiaguillo *et al.*, 2010).

**Flores:** Con pedúnculos de 0.7 a 1 cm de largo, generalmente solitarias en las axilas de las hojas, a veces varias y fasciculadas, raramente en falsos racimos.

**Cáliz en el fruto:** Acrescente, inflado vesicular, cubre por completo a la baya durante la fructificación. Cinco ángulos prominentes o cilíndricos, de menos de 1 a 6 cm de largo, en la mayoría de las especies de 1 a 2.5 cm de ancho, lóbulos de cáliz ovados, lanceolados, o angostamente triangulares, el ápice agudo, corto acuminado. El cáliz del fruto de 1.8 a 4.3 cm de largo por 2.5 a 6 cm de ancho, con 10 costillas (Santiaguillo *et al.*, 2010).

**Corola:** De 0.8 a 2.3 cm de diámetro, desde raramente tubular expandidas a campanuladas, rutáceas urceoladas o el limbo más o menos reflejo, de color amarillo, amarillo verdoso o amarillo crema, blanco o púrpura, con cinco

manchas contrastantes ocupando superficies variables del área arriba de la parte tubular, solidas en color, o cada una consistiendo de varios puntos separados, a veces las manchas no contrastan fuertemente, o bien ausentes. Cinco estambres, anteras generalmente retorcidas después de la dehiscencia, oblongas a linear-oblongas a ovadas, purpuras, azules, color azul-verde, azules con líneas amarillas o amarillas, de 2 a 3.5 mm de largo, filamentos filiformes, ovarios con estilo filiforme, estigma claviforme, algunas veces capitado (Santiaguillo *et al.*, 2010).

**El fruto:** Es una baya de 1.6 a 6 cm de diámetro, succulenta, de color verde, blanco, amarillo, anaranjado o púrpura, pedúnculos de 0.6 a 1 cm de largo.

**Semilla:** Son muy pequeñas y de color crema pálido, tienen forma de disco con diámetro menor de tres mm y espesor menor de 0.5 mm pueden empezar a abrirse aun dentro del fruto maduro, testa lisa, el peso de 1 000 semillas alcanza un promedio de 1.3 g y un fruto contiene aproximadamente 300 de ellas (Saray y Loya, 1978).

## Fenología

### Crecimiento y Desarrollo

Es una planta herbácea anual, de 40 a 120 cm de altura, con un ciclo de vida de 85 a 90 días desde la siembra hasta la senescencia ; una vez que

emerge la plántula inicia el crecimiento lento; aproximadamente 1cm por día, posteriormente a los 24 días el crecimiento se acelera y se estabiliza aproximadamente a los 55 días, es cuando alcanza una altura cercana a los 90 cm; y a los 70 días llega a alcanzar poco más de 1 m de altura y después empieza a envejecer hasta su muerte (Saray, 1977).

### **Floración**

La diferenciación de yemas se inicia aproximadamente entre los 17 y 20 días después de la siembra; las primeras flores aparecen de los 28 a 30 días y continua floreciendo hasta que la planta muere. Una vez que inicia la floración se observa un incremento de la producción de flores, de tal forma que a los 56 días se tienen 125 flores por planta. Las anteras no abren uniformemente, si no que normalmente pasan de dos a cuatro días entre la dehiscencia de la primera a la quinta antera. Un poco antes de que empiece la dehiscencia, los filamentos se elongan considerablemente hasta llegar cerca del estigma. Después, la corola, estambres, estilo y estigma persisten en su posición original alrededor de una semana, para al finalmente caer (Saray, 1977).

### **Polinización**

Se realiza por medio de insectos, principalmente por abejas, aunque también es polinizada o ayudada por el viento y el agua, en esta planta no es posible la autofecundación, debido a la autoincompatibilidad gametofítica que presenta, la cual está dada por dos alelos con múltiples alelos (Pandey, 1957). Se ha encontrado que unas pocas plantas llegan a producir frutos naturales por

autofecundación, aunque tales frutos por lo general no contienen semillas o sólo un pequeño número. Una fruta ocasionalmente puede tener 100 o más (Morton, 1987). Una vez que la flor ha sido polinizada se cierra y no vuelve a abrirse, luego comienza a marchitarse y posteriormente cae (Pandey, 1957).

### **Fructificación**

Inicia a los 35 días (cuajado del fruto), a los 42 días inicia la etapa de formación de cascabel (iniciación de la fructificación), que no es más que el fruto pequeño y bien definido en proceso de desarrollo.

Inmediatamente después de la caída de la corola cae, el ovario y el cáliz comienzan a elongarse, posteriormente el cáliz comienza a envolver al fruto joven y se alarga a su máximo, antes de que el fruto madure. El fruto de tomate crece lentamente y adquiere su forma característica; algunos frutos pueden llenar la bolsa que los cubre y otros en su gran mayoría la rompen. Del total de flores producidas por una planta, solo el 40% cuajan, pero solo un 28 o 30% llegan a cosecharse en su madures. Del cuajado de los frutos a la maduración, transcurren aproximadamente de 20 a 22 días (Saray, 1982).

### **Cosecha**

El momento óptimo de cosecha para tomate cáscara, es cuando los frutos llenan la bolsa, cascabel o (cáliz), que incluso rompen generalmente, esto ocurre entre los 70 y 80 días en climas tropicales y a los 100 días en condiciones templadas. El número de cortes varía de cuatro a seis, se dice que

el mayor tamaño de fruto de tomate cáscara se obtiene en el primer corte, dependiendo del vigor y carga de la planta. El primer corte debe hacerse cuando hayan madurado de tres a cuatro frutos por planta, que generalmente ocurre de los 55-70 días después de la siembra (Saray, 1982; Peña y Márquez, 1990).

## **Requerimientos Climáticos**

### **Temperatura**

La temperatura óptima que requiere el cultivo del tomate cascara fluctúa entre 20 a 22°C la temperatura adecuada para la germinación de tomate cascara oscila entre los 20 a 23°C. Para el crecimiento vegetativo requiere de 22 a 25°C, ya que con temperaturas de 30°C el crecimiento disminuye y con temperaturas de 40°C o más se puede detener. Cuando la planta entra a floración, se puede provocar deshidratación del tubo polínico, provocando una polinización incompleta y frutos mal formados (Saray y Loya, 1977).

### **Humedad**

Las etapas críticas corresponden a la germinación, emergencia y trasplante. En condiciones de estrés como en el caso de sequía o estrés hídrico, la planta reacciona por instinto emitiendo flores acelerando la maduración para que perpetúe de la especie, los frutos son pequeños y de mala calidad (Saray y Loya, 1977).

## **Luz**

Cada especie requiere una intensidad lumínica para su adecuado desarrollo y cambios fisiológicos óptimos, se estima que el tomate cáscara se desarrolla óptimamente en 2,500 bujías pie<sup>-1</sup>. Se puede decir que desde la emergencia hasta el inicio de la maduración comercial del fruto, constituye el periodo de mayor exigencia de luz. A partir de esta fase, sus necesidades se reducen significativamente con valores mayores a 2,500 bujías pie<sup>-1</sup>, la planta reacciona acortando su ciclo, envejeciendo prematuramente, reduciendo el tamaño del fruto, y sabor del fruto.

## **Altitud**

La especie (*Physalis*) está distribuida todo el territorio de México, encontrándose desde los 2 metros a nivel del mar hasta las partes altas y montañosas de 2889 metros sobre el nivel del mar (Santiaguillo *et al.*, 2010).

## **Latitud y Longitud**

El tomate cascara en México al estar en todo el territorio se encuentra en latitudes de entre 14°54' 55'' a 32°29'07.33''. Y a longitudes de entre los 86°48'54'' a 116°57'23.73'' (Santiaguillo *et al.*, 2010).

## **Precipitación**

El tomate cascara se desarrolla en zonas donde las condiciones pluviales están en una media anual de entre los 200 a 3500mm (Santiaguillo *et al.*, 2010).

## **Prácticas de Cultivo**

### **Preparación del Terreno**

Consiste en dar un barbecho a una profundidad de 30cm, después se recomienda pasar la rastra dos veces para deshacer terrones grandes, por último, la preparación del terreno concluye con el surcado que varía según la variedad y el sistema de siembra.

Se recomienda que la distancia entre surcos sea de 1.0 a 1.2 metros, ya que en distancias menores, a pesar de tener mayor densidad de población, no se consigue un incremento significativo en la producción. En el caso de temporal, es conveniente hacer los surcos altos, mayores de 20 centímetros para evitar el exceso de humedad con buen drenaje.

### **Época de Siembra**

Las mejores fechas de siembra en temporal van desde el establecimiento de las lluvias hasta mediados de julio y en siembras de riego desde la segunda quincena de octubre hasta finales de noviembre. Las siembras realizadas fuera de este periodo son más afectadas por la enfermedad llamada “amarillamiento”, la cual disminuye considerablemente los rendimientos, ocasionando la mayoría de las veces la pérdida total del cultivo.

## **Siembra Directa**

El cultivo de tomate cascara puede ser sembrado directamente en campo. Aunque contrae algunos problemas como la heterogeneidad en la germinación y la madurez ya que no se tiene un control de factores que pudiesen mermar la germinación. Para la siembra directa se requiere de 2 a 3 kg de semilla por hectárea, depositando de 5-10 semillas por mata a una distancia de 50 cm entre planta y planta.

## **Siembra de Trasplante**

El tomate de cáscara puede establecerse bajo el método de trasplante, cuando el almácigo es de piso se utilizan 250 gramos de semilla, que si se siembran en 40 metros cuadrados de almácigo se producirá suficiente planta para establecer una hectárea, colocando dos plantas por mata cada 50 centímetros. Otra manera de establecer el almácigo y la siembra del tomate de cáscara es por medio de charolas de poliestireno. Se utilizan 100 g de semilla para establecer una hectárea. Son necesarias 105 charolas de 200 cavidades o 170 charolas de 128 cavidades.

Se depositan de tres a cuatro semillas por cavidad para dejar finalmente dos plantas. Se prepara una solución de fertilizante con 165 gramos de sulfato de amonio, más 75 gramos de la fórmula 18-46-00, más 90 gramos de sulfato de potasio en 200 litros de agua. Aplicar un litro de solución por charola cada tercer día (Güemes *et al.*, 2001).

## **Trasplante**

Las plantas deben trasplantarse al terreno definitivo cuando miden de 8 a 10 centímetros de altura, que es cuando presentan tres o cuatro hojas verdaderas, lo anterior ocurre entre los 15 a 21 días después de la siembra en verano y de los 18 a 21 días en siembras de invierno. Las plantas deben de estar sanas, de tallo grueso y conservar las hojas cotiledóneas.

Para sacar las plantas de la charola, es necesario dar un riego abundante, esperar que drene el exceso de agua y después sacar las plantas de la cavidad con cuidado, de no hacerlo así es difícil sacar las plántulas, el cepellón se destruye y las raíces se rompen.

Cuando se hace el trasplante, algunas plantas pueden morir, las cuales deben ser repuestas en los primeros cinco días después de realizada esta labor (Güemes *et al.*, 2001).

## **Fertilización**

Se tiene que los requerimientos nutricionales de cultivo de tomate cascara van desde los 120 a 240 kilogramos de nitrógeno, de 60 a 150 kilogramos de fósforo y de 50 a 100 kilogramos de potasio por hectárea. La fertilización se puede hacer en dos etapas, la primera sería entre los 8 a 15 días después del trasplante, aportando el 50% del nitrógeno y 100% de fosforo y potasio. La segunda etapa sería de los 30 a 35 días después de trasplante aportando el otro 50% de nitrógeno.

## **Escardas y Aporque**

La primera escarda generalmente se hace entre los 8 a 10 días después del trasplante, con el fin de eliminar malezas y cubrir el fertilizante, si éste no se aplicó antes del trasplante.

La segunda se aplica a los 30 días después del trasplante, se recomienda dar un paso de cultivadora, con el propósito de eliminar la maleza y desmenuzar el suelo; inmediatamente después se da el “despacho”, de esta manera se consigue tapar el fertilizante y arrimar tierra para proporcionar un buen sostén a las plantas. A partir de esta edad la planta tiene un crecimiento vigoroso, logra cubrir la superficie del suelo eliminando a la maleza, después de esta fecha ya no es posible dar otro cultivo porque se maltratan las plantas (Güemes *et al.*, 2001).

Cabe mencionar que estas dos primeras labores se hacen cuando el manejo del cultivo es tradicional, cuando el manejo de cultivo está bajo sistema por goteo y acolchado, se eliminan estas labores ya que el acolchado no permite el crecimiento de malezas pero si es necesario eliminar de forma manual las malezas que llegasen a sobrevivir.

## **Enfermedades del Tomate de Cáscara.**

Dentro de las enfermedades que atacan a nuestras plantas, tenemos las producidas por carencia de alguna vitamina, infecciones bacterianas o víricas y

las producidas por el ataque de hongos, que suponen el 95% de las enfermedades. El control de estos problemas fitosanitarios involucra variedades resistentes, exclusión, erradicación, así como protección dentro de un programa integral de plagas y enfermedades.

Cuando existen plantas dañadas por enfermedades, se deberán eliminar o bien realizar aplicaciones de fungicidas de acuerdo a la enfermedad presentada, como se indica en el Cuadro 4.

Y en el caso del tomate cascara no es la acepción sus principales enfermedades son de origen fungoso y viral, las de origen viral están ligadas con la infestación de insectos vectores o portadores de estos virus, que es por ello que en el control debemos erradicar al insecto (mosquita blanca, chicharritas, paratrioza, palomillas).

### **Plagas de tomate cáscara**

Las plagas dañan las plantas en diversas formas. Se dice que causan "daño directo" cuando destruyen sus órganos (raíces, tallos, hojas, yemas, flores, frutos o semillas) en forma parcial o total, o las debilitan reduciendo su capacidad de producción. También existen "daños indirectos" que pueden ser de gran importancia; por ejemplo, cuando las plagas participan en la propagación de virus, mico plasmas, bacterias y hongos que causan enfermedades en las plantas (Cuadro 5).

**Cuadro 4.** Principales enfermedades que se presentan en el tomate de cáscara y su control.

Enfermedad	Agente causal	Condiciones óptimas	% daño en producción	Control
Cenicilla	<i>Oidium sp.</i>	20-30°C 60-80% de humedad	50	Fungicidas a base de azufre: Sultron 725®, 2.5-3.0 l/ha); myclobutanil (Rally AZ®, 1.5-2.5 l/ha)...etc
Mancha de la hoja	<i>Cercospora physalidis</i> Ellis	18-30°C 80-90% de humedad	20-30	fungicidas a base de mancozeb como lo son: Manzate 200® (2-4kg/ha).
Carbón blnaco	<i>Entyloma australe</i> Speg.	15-25°C 80-100% de humedad	50	fungicidas a base de oxiclورو de cobre (Cupravit®, 2.0-4.0 kg/ha); hidróxido de cobre (Cuperhidro®,
Moho blanco	<i>Sclerotiniasclerotiorum</i>	10-25°C 80-100% de humedad	50	fungicidas como el fluazinam (Shogun 500 FW®, 0.5-0.75 l/ha), o benomyl (Benomyl 50®, 0.5-1.0 kg/ha).
Pudrición de la base del tallo	<i>Cercospora spp.</i> Asociada con <i>trichobarissp.</i>	Daño en tallo trochobarissp Y presencia cercospora		Se sugiere evitar el monocultivo, Las aplicaciones de fungicidas dirigidas a la base de los tallos o en el riego por goteo.
Secadera	<i>Fusarium solani</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Rhizoctoniasolani</i> (Frank) Donk, <i>Pythiumsp.Macrop hominaphaseolina</i> (Tassi)	Semilla contaminada Y manejo de residuos	50	Sanidad e inocuidad del material vegetal e instrumentos, evitar monocultivo La aplicación de microorganismos antagonistas a base de Bacillus subtilis (Ehrenberg) Cohn o Trichoderma spp
Mancha bacteriana	está aún en proceso, se dice que esta asociado a : <i>Xanthomonas</i> y, o <i>Pseudomonas</i> .	por semilla, los residuos de cultivo, diseminación mediante las labores	20	fungicidas a base de oxiclورو de cobre: Cupravit® (2.0-4.0 kg/ha), antibióticos que incluyen la mezcla de gentamicina + oxytetraciclina (Agry-Gent plus 800®, 1 600 gr/ha).
Virosis	Jaspeado del Tabaco, Mosaico de la Alfalfa, Mosaico del Pepino, Mosaico del Tabaco, "Y" de la Papa, Marchitez Manchada del Tomate, Geminivirus.	Antecedente de la enfermedad en campo, presencia de pulgones, mosca blanca trips	100	Sembrar en época Semilla certificadas, eliminación de plantas contaminadas y malezas, aplicación de insecticidas para eliminar insectos vectores.

Información de las enfermedades del cultivo de tomate cascara (*Physalis ixocarpa*) (Apodaca et al., 2008).

**Cuadro 5.** Principales plagas que atacan el cultivo de tomate cáscara así como opciones de control.

Plaga	Insecto	Control
Pulga saltona	<i>Epitrixcu cumeris</i> Harris.	Gusation M-20 (2.0L), Thiodan 35 EC (1.5 L)
Gusanostrozadores	<i>Feltia</i> spp. <i>Spodoptera</i> spp.	Diazon 4%G(20 kg/ha) Dyfonate 3%G (20 kg/ha)
Gusano del fruto	<i>Heliothis suflexa</i> Genee.	Bacillu thuringiensis10 PH (1Kg/ha). Halmark 110 (1L/ha). Monocrotofos 600 LM (1L/ha)
Trips de las flores	<i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande.	Basudin40 H (1Kg/ha) Nuvacron 50 LS (1L/ha)
Mosquita blanca	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> West. <i>Y Bemisia</i> sp.	Rogor 40 % CE (1L/ha) Nuvacron 50 LS (1L/ha) Thiodan CE 35 (2L/ha)
Paratrioza	<i>Bactericera cookerelli</i>	Thiodan (2L/ha) Tamaron (1.5 L/ha)

Las plagas de *Physalis ixocarpa* más sobresalientes en producción o que mayormente disminuyen el rendimiento y calidad de cultivo (Bayer, 2007; Güemes *et al.*, 2001).

### Mejoramiento Genético

El mejoramiento genético del tomate de cáscara en México ha sido limitado, no obstante ser una especie nativa de gran importancia nacional; de hecho, actualmente solo existe el programa de mejoramiento de la Universidad Autónoma Chapingo, toda vez que el que existía en el INIFAP ha sido cancelado. Derivado de lo anterior, a la fecha solo existen dos variedades mejoradas registradas (Rendidora y CHF1- Chapingo), por lo que el proceso de producción se sustenta principalmente en las variedades nativas que los propios productores usan y conservan, o que algunas compañías semilleras han incrementado y comercializado. Lo anterior ha traído como consecuencia que el rendimiento promedio nacional sea bajo (12 ton/ha) en relación con el

potencial productivo de variedades mejoradas de la especie (40 ton/ha). Así, uno de los principales problemas del cultivo de tomate de cáscara es el uso de variedades de bajo potencial productivo y poca pureza genética, pues la especie no obstante ser hermafrodita es alógama obligada (Peña, 2001).

El cultivo de tomate cáscara en el país, se sustenta en variedades nativas y materiales sobresalientes que incrementan las empresas dedicadas a la venta y distribución de semilla. En ellas los productores han incorporado a través de la selección por domesticación, diversas características favorables, siendo las más notable es el hábito de crecimiento en la planta y el tamaño y color del fruto. Esta acción, en conjunto con el tiempo y la alogamia de la especie, ha derivado una amplia base genética, parte de la cual se ha agrupado en las razas: Silvestre, Milpero, Tamazula, Arandas, Manzano, Salamanca, Rendidora y Puebla (Peña y Santiaguillo, 1999).

Ante la demanda creciente del fruto y del aumento de superficie cultivada de esta hortaliza, se hace necesaria la obtención de mejores variedades a partir del mejoramiento genético. Las poblaciones silvestres y los materiales nativos o criollos cultivados constituyen una fuente de genes útiles en el mejoramiento genético del tomate cáscara.

La selección representa una alternativa geotécnica eficiente para el mejoramiento genético de la especie, utilizando variedades que incorporan alto rendimiento y otros caracteres deseables, como hábito de crecimiento,

precocidad, concentración de la producción, tamaño, color y forma del fruto (Saray *et al.*, 1977; Peña y Márquez, 1990; Pérez *et al.*, 1994).

El mejoramiento genético por hibridación ha seguido diferentes rumbos, limitado por la incompatibilidad de la especie, que dificulta la formación de líneas endogámicas por autofecundación. Uno de ellos es la obtención de líneas homocigotas a partir de haploides derivados por cultivos de anteras (Ortuño *et al.*, 1998). Formación de híbridos intervarietales (Peña *et al.*, 1998). Formación de híbridos planta por planta de progenitores seleccionados (Santiaguillo *et al.*, 2004). Hibridación interclonal a partir del cruzamiento entre clones de plantas sobresalientes (Arreola, 2005). Inducción de poliploidia, mediante el uso de colchicina (Ramírez *et al.*, 2010).

El mejoramiento genético futuro de tomate cáscara, ha de responder a los requerimientos del mercado y de los productores, para obtener variedades de mayor rendimiento, tolerantes al ataque de plagas y enfermedades, y otros atributos como sabor y calidad nutraceutica (en ella el contenido de antioxidantes). El mejoramiento había de coordinarse a nivel nacional con la participación de diferentes instituciones de investigación y enseñanza (Santiaguillo *et al.*, 2010).

## Diversidad Genética

El banco de germoplasma del INIFAP de México posee aproximadamente 190 colecciones de *Physalis*, obtenidas en cuatro estados del país. En el banco de germoplasma de la Universidad de San Carlos existen 41 accesiones procedentes de diversas regiones de Guatemala.

Existen muchas variedades locales o criollas, a las que los productores reconocen por características; el color y tamaño del fruto y el hábito de crecimiento de la planta, aunque entre ellas se presenta gran variación debido posiblemente a su autoincompatibilidad.

El diámetro del fruto es mayor en el tomate mexicano (1.08 a 4.90 cm) que en el guatemalteco (1.04 a 2.89 cm); pero dichas medidas corresponden principalmente a los tomates cultivados. En Guatemala se prefieren los tomates de color verde púrpura, verde amarillento y morados; en cambio, en México la variación en color es mayor, pues existen amarillos, verdes de diferentes tonalidades y morados.

Entre las características que presentan mayor variación están; el tamaño, color y peso medio del fruto; el número y peso de los frutos por planta; la consistencia y color de la pulpa; el color y longitud del cáliz; el tamaño de las flores; el número y tamaño de los nudos en la primera bifurcación de la planta;

el color del tallo; el tamaño y número de dientes por hoja; la ramificación; la precocidad y pubescencia (Montes y Aguirre, 1996).

### **Conservación del Recurso Genético *Physalis***

La conservación de los recursos genéticos vegetales, se realiza *in situ* y *ex situ* y a través de la combinación de ambas estrategias.

La conservación *in situ* de los recursos genéticos del género *Physalis*, la realizan los productores tradicionales que han seleccionado y depurado sus materiales autóctonos o criollos. Existe una vasta riqueza genética silvestre y tolerada que es necesario proteger. Para la conservación en su hábitat natural de la diversidad silvestre frecuentemente se recurre a la definición de áreas naturales protegidas; desafortunadamente, este campo de conservación ha recibido poca atención en el país (Gil, 2006).

Desde el punto de vista de la conservación *ex situ*, existen dos colecciones de germoplasma de tomate cascara en México. Se ubican en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo y el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. En ellos se resguardan 318 y 460 colecciones respectivamente (Peña *et al.*, 2007). Adicionalmente, resulta necesario identificar taxonómicamente la totalidad de la viabilidad resguardada *ex situ*. Con base a lo anterior, el conocimiento de la distribución geográfica de las especies de

tomate cascara que crecen o se desarrollan en México, es de valor en las acciones de conservación *in situ* y *ex situ* del acervo genético del taxón (Santiaguillo *et al.*, 2010).

### **Perspectivas de Mejora y Limitaciones**

La variedad `Rendidora' se formó a partir de las mejores recolecciones seleccionadas en el estado de Morelos, donde se realizaron los trabajos de mejora; de esta variedad se derivó la `Rendidora mejorada'. En Guatemala, a pesar de la gran variación genética reconocida, la mejora genética de este cultivo es aún incipiente.

Los caracteres más afectados por el ambiente son la forma y tamaño de la hoja, el hábito de crecimiento y el ciclo vegetativo de la planta; como factor ambiental en la expresión del fenotipo destaca la fertilidad del suelo.

Los objetivos de la mejora genética en México deben ser los siguientes: plantas con fruto grande y firme, pero verde intenso (no amarillo); alto rendimiento, amplia adaptación y resistencia a enfermedades virales y a la cenicilla (*Oídium*spp.). Los objetivos de mejora en Guatemala deberían ser similares excepto en lo relativo al color del fruto, pues en ese país se prefieren los tomates verde púrpura y verde-amarillo (Montes y Aguirre, 1996).

## Usos de *Physalis ixocarpa* Brot.

Del total de las especies del género, solo *P. grisea*, *P. peruviana*, *P. alkekengi*, *P. angulata* y *P. ixocarpa* son de importancia económica, los frutos de las tres primeras se consumen en fresco, como fruta, y de las dos últimas como hortalizas.

Como se ha indicado, *P. ixocarpa* es la principal especie de tomate de cascara que se cultiva en México y se utiliza desde épocas prehispánicas (Santiaguillo *et al.*, 2010).

A pesar de los cambios de hábitos alimenticios, en el transcurso y evolución de las generaciones, los frutos de tomate se mantienen en la dieta mexicana como un ingrediente muy popular en la dieta mexicana, para la preparación de diversos platillos, principalmente en la elaboración de salsas y en algunos casos como medicinal. El tomate se utiliza también en la agroindustria donde se procesa para consumo nacional y exportación.

En la medida que se difundan los usos de *Physalis ixocarpa* y se comprenda y apropie el proceso de utilización, se tendrá mayor aprovechamiento (Santiaguillo *et al.*, 2010).

## Poliploidia

En general los organismos superiores son diploides al estar formados por dos series (genomios o genomas) de cromosomas homólogos. Un poliploide tiene un número de cromosomas distinto al número básico o genético.

Si existe un número entero de genomios mayor que  $2n$  se tiene un euploide. Se considera también dentro de este tipo el caso en que los genomios no procedan de la misma especie. Si el genoma básico procede de una misma especie, estando repetido un número entero de veces ( $3n$ ,  $4n$ , etc.), se tiene un *autopoliploide* o *autoploide* (triploide, tetraploide, hexaploide. Si los genomas presentes pertenecen a más de una especie (cuatro genomios:  $2n_1 + 2n_2$ ; seis, de tres especies :  $2n_1+2n_2+2n_3$ , etc.) se tiene un *alopoliploide* o *aloploide* (alotetraploide, alohexaploide, etc.).

Si el número de cromosomas no es un número entero de los genomios, pero el número de cromosomas es distinto del número básico, se tiene un aneuploide. Si se trabaja con aneuploides, el diploide normal se denomina *dísomico*, y los individuos que difieren en el número de veces que esta repetido un mismo cromosoma se denominan *nulisómicos* ( $2n - 1$ : falta un par de homólogos), *monosómicos* ( $2n - 1$ ), *trisómicos* ( $2n + 1$ ), etc. Un autotetraploide es un *tetrasómico* para todos los cromosomas del complemento. (Cubero, 2003)

Triploides. Individuo que posee 3 juegos completos de cromosomas, se origina cuando se une un gameto monoploide ( $n$ ) con un gameto diploide ( $2n$ ) formando 3 juegos de cromosomas ( $3n$ ).

Tetraploides. Individuo que posee 4 juegos de cromosomas ( $4n$ ) la duplicación se lleva a cabo con compuestos químicos, como el alcaloide llamado colchicina. Se forma cuando se une dos gametos diploides de la misma especie. (Camacho, 2010.)

### **Consecuencias citogenéticas de la autoploidía**

Formación de multivalentes, segregación cromosómica irregular y reducción de la fertilidad (en autoploidios pares artificiales y poliploides impares en general)

### **Consecuencias fenotípicas del aumento del nivel de ploidía**

Aumento del tamaño celular, ciclos de crecimiento más largos, aumento del tamaño de órganos, menor número de células, menor contenido de materia seca, menor fertilidad. (Speranza,2011).

### **Producción de triploides**

Trece líneas de triploides de melón (*Cucumis melo* L.) se obtuvieron a partir de cruzamientos de cinco tetraploides y siete líneas diploides, ocho genotipos triploides fueron estériles (<1% de semillas viables). Cinco genotipos triploides fueron parcialmente fértiles. Los híbridos triploides presentaron

características de fruto y vegetativas intermedios para los padres. La mayoría de los genotipos triploides dio frutos todo el año en contraste con su progenitor diploide, además los frutos del diploide fueron ovales a oblongo mientras que el padre tetraploide presentó frutos achatados. Los niveles de azúcar de algunos híbridos triploides fueron tan altos como los padres (Nugent y Adelberg, 1995).

Navarro (2008). Trabajando en mandarinos hace énfasis en ventajas específicas de los triploides (baja fertilidad no producen semilla ni inducen la formación de semillas en otras variedades de polinización cruzada). Realizó tres tipos de cruces y las evaluó según la eficiencia del método ( $2x \times 2x$ ,  $2x \times 4x$ ,  $4x \times 2x$ .) siendo mejor  $4x \times 2x$  en donde se obtuvieron 2.7 plantas triploides por flor polinizada. Al evaluar los híbridos obtuvo frutos con características muy buenas como (vista atractiva, fácil pelado, aroma, pulpa fundente, residuo de gajo escaso y buenos valores organoléptico), en características del árbol (planta) presentó (vigor, hojas grandes, buena compatibilidad, buena producción y sin vecería), a medida que pasaban los años las espinas del árbol se iban reduciendo.

En la producción de híbridos triploides de sandía, las polinizaciones controladas son parte esencial, y con el uso de esterilidad masculina se reduce esta labor. Para que sea rentable la producción de semillas deben emplearse buenas prácticas de cultivo y cosecha oportuna. La producción de semillas híbridas triploides varía considerablemente de la producción de semilla híbrida diploide. La generación de padres tetraploides ha mejorado considerablemente

con el uso de la duplicación cromosómica con colchicina en cultivo de tejidos (Rhodes y Zhang, 2000).

Nelson (1991). Se utilizaron varios clones seleccionados de la especie tetraploides  $2n=4x=48$ , para lograr cruzamientos con las especies diploides  $2n=2x=24$ . Se obtuvieron híbridos F1 triploides,  $2n=3x=36$ , de buen vigor y que producían considerable cantidad de polen pero, como era de esperarse, con baja fertilidad.

Sin embargo, el escaso polen viable resultó ser muy funcional al emplearlo en cruzamientos con clones tetraploides de *S. tuberosum* spp. *tuberosum* (*tbr*) y *S. tuberosum* spp. *andigena* (*adg*),  $2n= 4x=48$ . Así se obtuvieron híbridos de primeros retrocruzamientos (BC1) que poseían muy buenas características en los BC1, incluyendo alto rendimiento, buen tipo de tubérculos, resistencia a *Phytophthora infestans*, a PVY y PLRV, provenientes probablemente por la incorporación de los genes valiosos de las especies silvestres utilizadas.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Ubicación**

El proyecto se llevó a cabo en el Campo Experimental del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Con las coordenadas 25°23' de latitud norte y 101°00' latitud este, del meridiano de Greenwich y una altitud de 1737m.s.n.m. durante el ciclo.

### **Clima**

Seco, semicálido con invierno fresco extremo y templado, con lluvias principalmente en verano. Con una temperatura media anual de 19.9°C, con una oscilación de 10.4°C, los meses más cálidos son Junio, Julio y Agosto con temperaturas máximas de 37°C, durante diciembre y Enero se registran temperaturas de hasta 10° bajo cero, la precipitación anual media es de 298.5mm, el mes más lluvioso es junio y el más seco es marzo.

### **Material Genético**

Se utilizaron cinco tetraploides (2, 5, 11, 16 y 20) seleccionados en base a rendimiento y calidad de fruto y 5 diploides (1, 13, 18, 19 y 21). Se sembraron 50 semillas por población en charolas de poliestireno con turba canadiense

como sustrato. Posteriormente las charolas se llevaron a invernadero donde se desarrollaron las plántulas y 30 días después, cuando las plántulas alcanzaron de 10 a 12cm de altura y dos pares de hojas verdaderas, fueron trasplantadas.

### **Proceso de los Cruzamientos**

#### Establecimiento de plántulas en macetas

Se trasplantaron 50 plántulas 5 por cada población en macetas de plástico, las que se colocaron en pares una diploide con una tetraploide de acuerdo con el siguiente arreglo:

1D-2T, 1D-5T, 1D-11T, 1D-16T, 1D-20T.

13D-2T, 13D-5T, 13D-11T, 13D-16T, 13D-20T.

18D-2T, 18D-5T, 18D-11T, 18D-16T, 18D-20T.

19D-2T, 13D-5T, 19D-11T, 19D-16T, 19D-20T.

21D-2T, 21D-5T, 21D-11T, 21D-16T, 21D-20T.

Cuando empezaron a florear se cubrieron por pares de plantas con bolsas de velo blanco para evitar el cruzamiento por insectos y lograr el control de las cruas y evitar el paso polen de otras plantas, ya que el tomate de cáscara a pesar de tener flores hermafroditas presenta autoincompatibilidad gametofítica y se comporta como alógama obligada (Figura 1).



**Figura 1.** Plantas en pares diploide y tetraploide cubiertas con velo

Los cruzamientos se realizaron de forma manual, pasando polen de los diploides (utilizados como machos) a las flores de los tetraploides previamente emasculadas (utilizados como hembras), las cuales se etiquetaban al momento de colocar el polen en el estigma, los cruzamientos solo fueron en un sentido, de acuerdo con resultados previos de viabilidad de polen de los progenitores (Figura 2). La metodología para realizar los cruzamientos se estableció de acuerdo al diseño II de Carolina del Norte. Se polinizaron de 5 a 10 flores por planta diariamente, hasta el término de la floración (Figura 3).

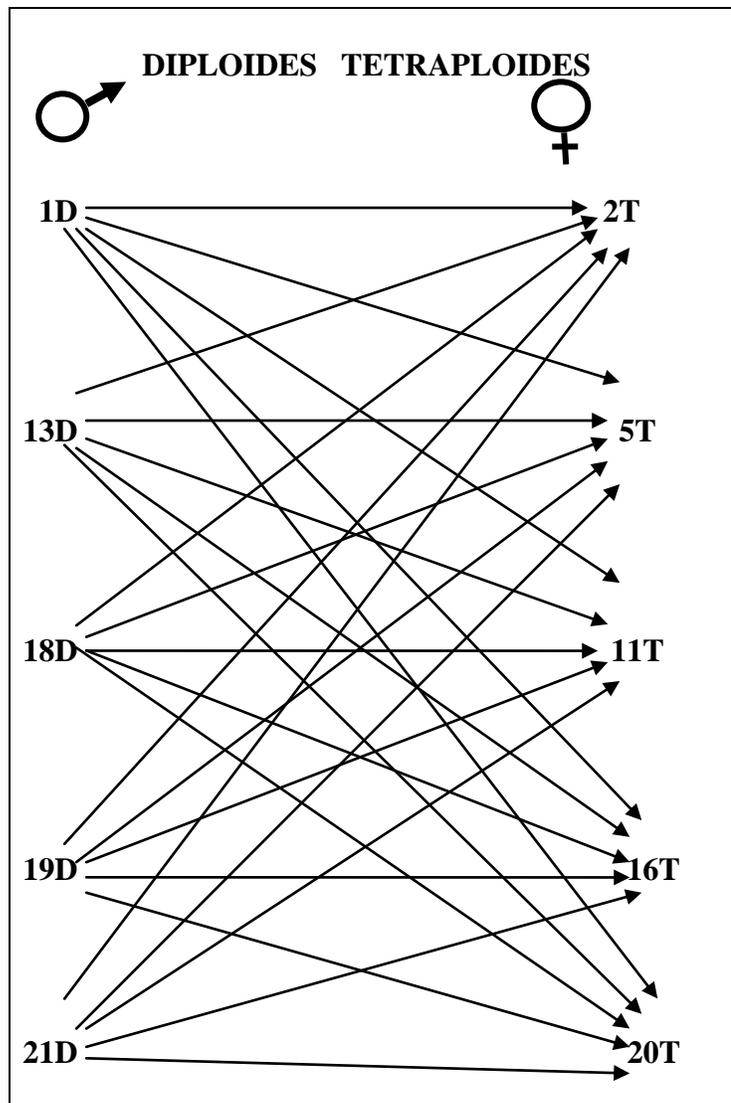
### **Establecimiento de Plantas en Invernadero**

Se trasplantaron 50 plántulas 5 por genotipo en invernadero, en suelo con acolchado y fertirriego, colocando 5 diploides y 5 tetraploides quedando en pares, de la misma forma que en las macetas. Los cruzamientos se realizaron de forma manual igual que en las macetas, pasando polen de las flores de los

diploides machos a las flores hembras de tetraploides, previamente emasculadas. Cada una de las flores fecundadas se marcó con una etiqueta. Igual que en macetas se polinizaron de 5 a 10 flores por planta diariamente, hasta el término de la floración. Figura (2)



**Figura 2.** Cruzamientos de plantas diploide utilizadas como machos, por tetraploide utilizadas como hembras en tomate de cáscara *Physalis ixocarpa* Brot.



**Figura 3.** Metodología de los cruzamientos de acuerdo al Diseño II de Carolina del Norte.

### Manejo del Cultivo

En cuestión de riego se dio uno diario por dos semanas de una a dos veces por día según la radiación solar del día. Se realizaron aspersiones

preventivas al cultivo, se aplicó 1.5ml/L de agua de Agrosulfan 35 CE, carabina 350 a 1.8 ml/L un carbofuran, ya que se encontraron plantas caídas mochas en la parte del cuello de la planta, al observar el cultivo nos percatamos de que el responsable de los daños eran babosos mejor conocidos como caracoles los cuales mordían la base de la planta hasta trozarla, orillándonos a aplicar Nudrin 90 un Metomilo que alejaría al animal. A los 15 días después se realiza otra aspersión foliar con Carabina 350, y se hace un trasplante de las plantas con algún problema.

La fertilización se realiza con MAP(fosfato mono amónico) y Nitrato de amonio alternando cada semana por fertiriego por 4 semanas y después se cambió posteriormente a fertidrip (11-2-42), las labores de deshierbe fueron mínimas y se realizaron de forma manual.

### **Autoincompatibilidad de Progenitores Diploides y Tetraploides**

Considerado como un estudio preliminar con la finalidad de detectar si las plantas tetraploides presentaban la autoincompatibilidad reportada para los diploides, para esto se cubrieron dos plantas individuales de cada genotipo diploides y tetraploides con bolsas de velo blanco. El cubrimiento de plantas solas fue para evitar el cruzamiento y promover la autofecundación. Cuando las plantas iniciaron la floración se sacudían las plantas de forma manual para provocar que el polen callera en su mismo estigma, e identificar frutos con semilla, resultantes de la autofecundación.

## **Prueba de Viabilidad de Polen de Progenitores Diploides y Tetraploides**

Para establecer los cruzamientos y decidir cuales progenitores se utilizarían como machos y cuales como hembras se realizaron pruebas de viabilidad de polen de las plantas seleccionadas para utilizarse como progenitores en las cruza diploide x tetraploide, también se consideró el número de balance del endospermo que se generaría con los cruzamientos, además se estimó el tamaño del grano de polen para las poblaciones que se utilizaron como progenitores. Para el análisis de polen se tomaron flores de las plantas a los 35 días después del trasplante. La viabilidad de polen fue estimada en las 25 plantas tetraploides y en las 25 plantas diploides, la viabilidad y tamaño de polen fue estimada en los tetraploides y diploides, de la siguiente forma; previo a la antesis, 30 días después del trasplante, se colectaron tres flores por planta entre 8:00 y 9:30 de la mañana, posteriormente se colocaron en bolsas de papel estraza y se llevaron al laboratorio para su análisis. Se impregnó un pincel con polen de cada flor y se sacudió sobre un portaobjetos procurando que la distribución fuera uniforme, se depositó una gota de colorante acetocarmín al 1%, encima se colocó un cubreobjetos y después de 5 a 10 segundos se procedió a la observación al microscopio. Los granos de polen redondeados y coloreados de rojo se consideraron viables y los constreñidos y sin teñir, no viables (Stone *et al.*, 1995), los conteos de polen se efectuaron en dos campos del microscopio por preparación, se contabilizó el número de granos de polen

viabiles e inviabiles y se estimó el porcentaje de viabilidad (Barcelos *et al.*, 2004; Soares *et al.*, 2008). Para estimar la variable tamaño de polen se midió el diámetro ( $\mu\text{m}$ ) de nueve granos de polen por planta y tres plantas por población en cada una de las cuatro repeticiones, se midieron un total de 108 granos de polen por población. Todas las observaciones se hicieron con el objetivo 40X en un microscopio compuesto Carl Zeiss con cámara digital PixeraWinder Pro y un software de medición AxionVision versión 4.8. Los resultados de viabilidad se expresaron en % de polen teñido, debido a que los no teñidos se consideraron inviabiles. Con los datos obtenidos se obtuvieron valores medios, se realizó un análisis de varianza y comparación de medias, mediante la prueba de Tukey.

### **Obtención de Semilla Resultante de Frutos de los Cruzamientos**

Dado que las cruzas fueron en un solo sentido utilizando a los diploides como machos y a los tetraploides como hembras, los frutos maduros se cosecharon de las plantas madres (Tetraploides). De forma separada se colectaron frutos maduros, de las plantas tetraploides cubiertas individualmente para revisar la auto compatibilidad. Los frutos colectados de las plantas tetraploides se cortaron en dos partes y se trituraron con agua en una licuadora a la más baja velocidad para evitar romper la semilla, con la ayuda de un colador se separó la pulpa de la semilla, estas se colocaron en papel y se llevaron a

secar a la sombra a temperatura ambiente. De igual forma se sacó la semilla de frutos provenientes de las plantas cubiertas individualmente.

### **Evaluación de Híbridos Triploides y sus Progenitores**

Establecimiento de los híbridos triploides, para su evaluación agronómica.

#### **Sitio Experimental**

El experimento se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano del 2011 en un Campo Agrícola Experimental ubicado en General Cepeda, Coahuila México, a 1480 msnm, en la coordenadas 25° 23' 02'' Latitud Norte; 101° 27' 10'' Latitud Oeste, con clima árido semicálido, con una temperatura media de 18 a 22°C y una precipitación anual de 400 a 500 mm.

#### **Material Genético**

El material vegetal utilizado fueron semillas de proveniente de los progenitores tetraploides (2,5,11,16 y 20) y de los progenitores diploides (1,13,18,19, 21) y semilla obtenida de 10 cruzas.

#### **Producción de Plántulas**

La producción de plántulas en invernadero se llevó a cabo en marzo del 2011. La siembra se efectuó en charolas de poliestireno de 200 cavidades, las

cuales previamente se lavaron y desinfectaron con cloro, como sustrato se utilizó turba canadiense (peat-most) y vermiculita en una proporción de 2:1. Se sembraron 100 semillas de cada material de 1 a 2 semillas por cavidad a una profundidad de 0.5cm. Posteriormente las charolas se llevaron al invernadero para acelerar el proceso de germinación, tres días después se colocaron las charolas en un contenedor con agua a una altura de 5 cm, donde se mantuvieron alrededor de 30 días o cuando alcanzaron de 10 a 12cm de altura y dos pares de hojas verdaderas, posteriormente, fueron llevadas a campo para su trasplante.

### **Diseño experimental**

El trasplante en campo fue realizado el 15 y 16 de Abril del 2011, con plántulas provenientes de 10 cruzas (que fueron de las que se obtuvo suficiente plántula para establecer el experimento) y sus 10 progenitores, bajo un diseño experimental de bloques al azar, con cinco repeticiones, en un terreno barbechado y rastreado con tractor, las camas de siembra fueron preparadas con una bordeadora, posteriormente fue colocada la cinta de riego y el acolchado plástico con perforaciones cada 30cm y dos hileras con una separación de 30 cm, éstos fueron instaladas manualmente, las camas de siembra fueron de 5 metros de largo y 1.80 m de ancho y con una separación de 60 cm entre plantas y dos hileras por cama, diez días después del trasplante se realizó un aclareo dejando solamente una plántula por punto, la parcela útil fueron 5 plantas con competencia completa.

## **Manejo del Cultivo**

Las condiciones del cultivo fueron las siguientes: Los riegos fueron diarios mediante el uso de cinta de riego con un gasto de un litro por gotero por hora por tres horas diarias con el trabajo de una bomba. La nutrición se aplicó vía riego tres veces por semana, en las primeras 9 semanas se aplicó una solución compuesta por; N, P, K, Ca y Mg, en cantidades de 2.40, 1.44, 1.47, 0.39 y 0.37 kg•ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Después se cambió a 1.90, 1.85, 2.75, 0.37 y 0.47 kg ha<sup>-1</sup> (N, P, K, Ca y Mg) hasta la semana 15. Esta práctica del cultivo se realizó cada dos semanas de forma manual, con la finalidad de evitar la competencia entre el cultivo y la maleza por agua, nutrientes y luz, también evitando los posibles focos de infección de plagas y enfermedades que pudiesen utilizarlos como hospederos.

## **Control de Plagas y Enfermedades**

Para lo que fue el control de plagas y enfermedades se aplicaron productos preventivos, los cuales fueron: Metomilo 90% PS a razón de 1 gr/litro de agua, Pimetrozyne a razón de 1ml/litro de agua, Benomyl a razón de 1gr/litro de agua, Interfuran (Carbofuran) a razón de 0.5ml/litro de agua, Ridomil a razón de 1gr/litro de agua, Abamectina a 2ml/litro de agua, Cipermetrina a 2ml/litro de agua y Permetrina a la misma dosis que Cipermetrina.

## **Cosecha de Fruto**

Se realizaron 5 cortes a los 70, 80, 90, 100 y 108 días después del trasplante, se recolectaron por planta individual todos los frutos maduros o aquellos que llenaron o incluso rompieron la bolsa (cáliz) que cubre los frutos y que además tuvieran una coloración verde- amarillenta.

## **Evaluación de los Componentes del Rendimiento de Híbridos**

### **Triploides y sus Progenitores**

Para la evaluación de los componentes del rendimiento y calidad de fruto de los 10 híbridos triploides y los 10 progenitores (5 diploides y 5 tetraploides), se estimaron las siguientes variables:

#### **Rendimiento Total de Fruto (RTF)**

Se determinó al momento de cosecha, colocando todo los frutos producidos por planta en una báscula digital, éste fue estimado de una muestra aleatoria de 5 plantas por población, de cada una de las cinco repeticiones, considerando la suma de cinco cortes con intervalos de 8 a 10 días para obtener el rendimiento total en Kg/planta.

#### **Número Total de Frutos por Planta de Cinco Cortes (NTF)**

Después de pesar los frutos se contó el número de frutos que se cosecho por planta, de las mismas cinco plantas en cada población y en cada una de

las cinco repeticiones, terminada la cosecha se estimó el promedio de frutos totales por planta, considerando los cinco cortes.

### **Peso Promedio de Fruto (PPF)**

Se estimó del rendimiento total de frutos en gramos dividido entre el número de frutos total por planta, expresado en gramos, considerando los cinco cortes.

### **Diámetro Polar de Fruto (DPF) y Diámetro Ecuatorial de Fruto (DEF)**

Para estas variables se tomaron tres frutos al azar de cada una de la cinco plantas, en cada una de las cinco repeticiones, se midió la distancia entre cada polo del fruto y la distancia tomada de la parte ecuatorial del fruto, con un vernier digital de precisión (AutoTECTM), para esta variable solo se tomo el primero, segundo y tercer corte.

## **Análisis Estadístico**

Se realizó un análisis de varianza en un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones donde el factor de variación fueron 10 híbridos triploides y sus 10 progenitores (5 diploides y 5 tetraploides) de tomate de cáscara, para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Se utilizó el programa estadístico de SAS versión 9.0

## **Caracterización citogenética**

### **Identificación de Híbridos Triploides por Análisis Meiótico**

Para el análisis meiótico se utilizaron 15 plantas de cada una de las cruza. Para ello cuando las plantas estaban en floración se colectaron botones florales de plantas individuales se pasaron a una solución fijadora Farmer (3:1 etanol: ácido acético glacial) por 24 horas. Con la finalidad de matar instantáneamente el tejido y fijar las fases de la división celular. Los botones fijados se colocaron en cajas de Petri con agua destilada para extraer las anteras, las cuales se depositaron en portaobjetos con una gota de acetocarmín. Después se cortaron en mitades las anteras para liberar los microsporocitos. Posteriormente se eliminaron los residuos de las envolturas de las anteras, se colocó encima de los microsporocitos un cubreobjetos y se calentó la preparación en una parrilla y se presionaron los microsporocitos suavemente de forma manual y sin movimientos laterales sobre un papel filtro, en seguida se observó al microscopio, si los microsporocitos están sobrecolorados se agregó una gota de ácido propiónico por los bordes del cubreobjeto y se volvió a presionar y a dar calor. Esto se hace varias veces hasta que se obtiene una buena diferenciación de color entre los cromosomas y el citoplasma. (García, 1990).

Las células se analizaron en diacinesis de la profase I de la meiosis. Todas las observaciones se hicieron con el objetivo 100X en un microscopio

compuesto Carl Zeiss con cámara digital PixeraWinder Pro. Se contó el número de cromosomas de 10 células por planta, al microscopio y en fotografías y de acuerdo a resultados se determinó el nivel de ploidía de las plantas híbridas.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Viabilidad y Tamaño de Polen de Tetraploides y Diploides

El análisis de varianza aplicado a la viabilidad y diámetro de polen, muestra diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre poblaciones (Cuadro 6), indicando que el tamaño y la fertilidad de polen están influenciados por el nivel de ploidía.

**Cuadro 6.** Cuadrados medios obtenidos del análisis de varianza aplicado a viabilidad y tamaño de polen de poblaciones diploides y tetraploides de (*Physalis ixocarpa* Brot).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	
		Viabilidad de polen(%)	Diámetro de polen ( $\mu\text{m}$ )
Repeticiones	3	77.65ns	1.12ns
Tratamientos	9	1127.04**	39.30**
Error	27	45.63	1.77
C.V. (%)		8.93	4.86

Ns = no significativo ( $P > 0.05$ ), \* significativo ( $p < 0.05$ ), \*\* altamente significativo ( $p < 0.01$ ).

Al analizar los valores medios de las características estudiadas, se encontró que la viabilidad de polen de los progenitores diploides fue de 90.17 a 91.71%, mientras que los tetraploides presentaron una viabilidad de 54.80 a 69.77%. Los diploides presentaron aproximadamente 21.94 a 35.37% más viabilidad de polen que los tetraploides, (Cuadro 7).

La comparación de medias muestra que en viabilidad de polen no existen diferencias estadísticas significativas entre los diploides o entre los autotetraploides ( $P \geq 0.05$ ), aunque si se encontraron diferencias entre diploides y tetraploides ( $P \leq 0.05$ ).

Por otra parte los diploides presentaron un diámetro de polen 23.42 a 25.53  $\mu\text{m}$  y los tetraploides de 28.75 a 31.10  $\mu\text{m}$ , mostrando diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tetraploides y diploides, solo el diploide 13 y el tetraploide 2, fueron estadísticamente iguales (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Viabilidad y tamaño de polen, así como número de frutos y semilla en progenitores diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa*.

Progenitores	Poblaciones	Viabilidad de polen %	Diámetro de polen $\mu\text{m}$	Frutos en plantas cubiertas	Semillas gr.
Diploides	1 Felipe Ángeles	91.71a *	23.42c	77	0
Diploides	13 Gran Esmeralda	90.17a	25.53bc	33	0
Diploides	18 Morado Tamazula	90.84a	24.34c	0	0
Diploides	19 Rendidora	90.38a	24.38c	0	0
Diploides	21 Palmarito	91.71a	25.20c	163	2.3
Tetraploides	2 UAN-II-113	54.81b	28.75ab	68	8.2
Tetraploides	5 UAN-II-101	55.82b	30.98a	123	10.1
Tetraploides	11 UAN-III-7	56.04b	29.39a	146	11.2
Tetraploides	16 UAN-II-107	64.92b	31.08a	88	8.5
Tetraploides	20 UAN-II-16	69.77b	31.10a	211	17.3
DMS		16.43	3.24		

\*Medias seguidas con la misma letra son iguales entre sí, según la prueba de Tukey, ( $P \geq 0.05$ ). DMS= Diferencia mínima significativa

La duplicación del genoma en tomatillo produjo una reducción en la viabilidad de polen. Resultados similares encontró (Arbo y Fernández, 1983) en otras especies autopoliploides. Los porcentajes más bajos de viabilidad del polen observados en algunas poblaciones poliploides son el resultado de irregularidades meióticas que conducen a la producción de gametos no balanceados e inviábiles. (He *et al.*, 2010) mencionan que la duplicación del genoma juega un papel importante en el desarrollo de polen normal en arroz.

De acuerdo con el criterio de (Stebbins, 1947) los autopoliploides están caracterizados por la presencia de multivalentes en meiosis, dando como consecuencia fertilidad reducida, por lo tanto baja viabilidad de polen. (González *et al.*, 1992) menciona que la determinación de la viabilidad del polen permite hacer estimaciones confiables de la fertilidad, además de utilizarse para el estudio de incompatibilidades en los cruzamientos.

En relación al diámetro de polen, se observó un aumento significativo en el tamaño de los autotetraploides en comparación con los diploides, además, el mayor tamaño del polen, permitió corroborar el nivel de ploidía de los materiales diploides y tetraploides ya que de acuerdo con (González *et al.*, 2002), ésta característica es un indicador de la ploidía en papa y constituye un método indirecto que permite la identificación de materiales diploides y tetraploides.

Los estudios relacionados con la viabilidad del polen son de gran importancia en investigaciones relacionadas con la reproducción sexual, ya que permiten asegurar el éxito de las hibridaciones e incrementar la eficiencia del mejoramiento (González *et al.*, 2002). De acuerdo con los resultados de viabilidad de polen los diploides fueron más viables que los tetraploides, por lo que con la finalidad de asegurar la fecundación para obtener híbridos triploides, se utilizaron como progenitores machos o donadores de polen a los diploides, ya que por su alta viabilidad de polen aumenta la posibilidad de fecundar el ovario y formar semilla que es el objetivo inicial de los cruzamientos (Rhodes y Zhang, 2000) mencionan que la producción de semilla triploides en sandía se logra através de cruzar una línea tetraploide como el componente femenino con una líneadiploide como el donador de polen, la cruza inversa no produce semilla además encontraron que cuando los híbridos triploides de sandía, llevan dos juegos de cromosomas del progenitor femenino tetraploide y uno del progenitor masculino diploide, pueden presentar más variedad y resistencia.

### **Prueba preliminar de autoincompatibilidad**

De la prueba preliminar que se realizó con la finalidad de detectar si los autotetraploides formados por la acción de la colchicina conservaban la autoincompatibilidad reportada para los diploides. El progenitor diploide (Rendidora19) de donde se formaron los tetraploides y el Morado Tamazula 18 no tuvieron frutos, dos progenitores diploides formaron frutos sin semilla o partenocárpicos, mostrando que los diploides fueron autoincompatibles como

era de esperarse, sin embargo, el diploide Palmarito (21), si produjo frutos con semilla, esto muestra que este diploide no es totalmente autoincompatible. Con respecto a los progenitores tetraploides, todas las plantas aisladas con maya, formaron frutos pequeños con semilla, lo cual da un indicio de que con la duplicación cromosómica inducida con colchicina, se redujo la autoincompatibilidad.

En esta investigación el cultivar rendidora (diploide 19 el cual se tomó como base para formar los autotetraploides) no produjo frutos con semilla al tratar de inducir autofecundación, por lo que se confirma la autoincompatibilidad reportada para esta especie, de acuerdo con (Pandey, 1957) quien menciona que *Physalis ixocarpa* presenta autoincompatibilidad de tipo gametofítica determinada por dos *loci* independientes, cada uno con alelos múltiples. Sin embargo, los tetraploides que se formaron con la duplicación cromosómica del cultivar rendidora formaron frutos con semilla y frutos sin semilla, por lo que podemos considerar que con la poliploidización, se redujo o se perdió la autoincompatibilidad de dichas poblaciones autotetraploides, esto coincide con (Poehlman y Allen, 2005) quienes mencionan que algunas veces las especies diploides incompatibles se vuelven autocompatibles al inducirse en ellas la poliploidia. (Miller y Venable, 2000), proponen que la poliploidia es un factor desencadenante de la importancia reconocida de la evolución del dimorfismo de género en poliploides de *Lycium (Solanaceae)*, que opera mediante la interrupción de auto-incompatibilidad y que conduce a la depresión por endogamia. (Barringer, 2007) apoya la hipótesis de que las angiospermas

poliploides tienen, en promedio, tasas más altas de autocompatibilidad que sus parientes diploides.

La capacidad de auto-fertilización puede aumentar la probabilidad de que los nuevos poliploides surgidos puedan establecer poblaciones de éxito, por medio de autofecundación. Por otra parte (Peña *et al.*, 1998) menciona que con la autofecundación artificial en tomate de cáscara se favorece la presencia de alelos autoincompatibles y se producen frutos partenocárpicos y un número reducido de frutos con semilla. Esta semilla puede ser sexual o apomíctica (Inzunza *et al.*, 1999), la sexual puede significar la posibilidad de generar líneas endogámicas, caso que en tomate de cáscara falta por investigar. La formación de frutos con semilla aquí encontrados del criollo diploide de la región Palmarito (21), sugiere que el sistema de autoincompatibilidad descrito para tomate de cáscara (Pandey, 1957) no es completo, por lo que existe la posibilidad de autofecundación, tal como lo señalaron (Peña *et al.*, 1998; Inzunza *et al.*, 1999).

### **Resultados de los Cruzamientos**

De los 25 cruzamientos entre diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa* que se realizaron de plantas en macetas únicamente se obtuvieron frutos de 9 cruzas, debido a que se presentaron problemas de altas temperaturas y de enfermedades (cenicilla) razón por la cual se perdieron plantas y no hubo mucho amarre de frutos. Por lo que se repitió el trabajo

poniendo las plantas en suelo con acolchado en invernadero, en este se obtuvo mayor número de frutos de cruzas.

La semilla producto de los cruzamientos de plantas en macetas y plantas en suelo en invernadero, se sembró en charolas y únicamente germinaron y llegaron hasta plántula. La semilla de las cruzas 2x1, 20x1, 2x13, 20x13, 5x13, 20x19, 5x19, 16x21, 11x21, presentaron un porcentaje de plántulas del 86 al 96%, las cruzas 11x18, 16x1 tuvieron del 64 al 72% y las 5x21, 16x19, 11x1, 2x21, 16x13 y 16x18, mostraron un porcentaje de plántulas del 36 al 52%.

Cabe mencionar que los frutos producido bajo este proceso, presentaron poca semilla, y algunas semillas no germinaron, razón por la cual para la evaluación agronómica en campo solo se establecieron plántulas de diez cruzas, que fueron las que tuvieron suficientes plántulas para establecer el experimento de bloques al azar con cinco repeticiones (Cuadro8).

## **Evaluación de Híbridos Triploides**

### **Análisis Meiótico**

De acuerdo a los conteos de cromosomas por células en diacinesis, de las 10 cruzas donde se produjeron plántulas, se encontró que el 83.33% de plantas analizadas de las cruzas del diploide x tetraploide presentaron la poliploidía esperada para la progenie triploide  $2n = 3X = 36$ , mientras que el

10.18 % fueron tetraploides  $2n=4X= 48$  y solo el 6.48% fue diploide  $2n= 2X =24$  (Figura 4 y Cuadro 9). Sin embargo, las poliploidias de  $4X$  y  $2X$  encontradas sugieren la posibilidad que sean producto de autofecundación o de apomixis.

**Cuadro 8.** Número de Frutos, semillas y plántulas producidas en los cruzamientos de diploides x tetraploides en tomate de cáscara.

Cruzas	N° de frutos por plantas en macetas	N° de frutos por plantas en suelo en invernadero	Semilla de cruzas gr.	Producción de plántulas (%)
20T X 19D*	2	15	24.2	95
16T X 19D		7	3.4	49
5 T X 19D*	8		17.3	96
2 T X 1D*	10	18	12.5	88
20T X 1D*		19	10.3	87
11T X 1D		3	2.6	39
16T X 1D*		31	17.6	72
11T X 21D*	5	11	18.7	89
16T X 21D*	7	11	23.0	92
2 T X 21D		13	7.7	38
5 T X 21D		13	3.6	48
5 T X 13D *	3	36	19.8	91
20T X 13D*	9		25.3	93
16T X 13D	3	16	6.9	37
11T X 18D		24	8.9	64
2 T X 13D*	5	13	22.3	92
16T X 18D		24	5.6	36

\*Cruzas evaluadas en campo en la tercera etapa.

**Cuadro 9.** Número de plantas híbridas analizadas por meiosis en diacinesis y su nivel de ploidía.

Cruzas	N° plantas analizadas	Número de plantas con		
		2X	3X	4X
20T X 19D	15		14	1
5T X 19D	10	1	7	2
2T X 1D	8		8	
20T X 1D	10		10	
16T X 1D	10		9	1
11T X 21D	11		10	1
16T X 21D	11		9	2
2T X 13D	12	2	9	1
5T X 13D	10		8	2
20T X 13D	11	4	6	1
<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>7</b>	<b>90</b>	<b>11</b>



**Figura 4.** Células en diacinesis de *Physalis ixocarpa* Brot. (A)Diploides  $2n=2x = 24$ , (B) triploides  $2n=3x =36$ , (C) tetraploides  $2n= 4x = 48$ , 100x.

De acuerdo con el análisis de los conteos cromosómicos en diacinesis de la meiosis I, de las diez cruas establecidas en campo se encontró que el 83.33% de las plantas presentaron el nivel de ploidía esperado que sugiere un

porcentaje alto de híbridos triploides 3X, sin embargo las ploidía de 4X y 2X encontradas aunque en mínimo porcentaje, sugieren la posibilidad que al menos la 4X sea producto de autofecundación o de apomixis (Inzunza *et al.*, 1999). Además se observó que los triploides presentaron en diacinesis cromosomas univalentes, bivalentes, trivalentes y tetravalentes. Esto nos indica que en triploides, los cromosomas homólogos no siempre se asocian en bivalentes o univalentes, sino que en ocasiones también pueden ocurrir asociaciones de tres o más cromosomas. (Jackson y Casey, 1980) mencionan que en meiosis I, los cromosomas homólogos de los triploides normalmente se asocian en trivalentes, bivalentes y univalentes; esto es, que al término de la diacinesis, se juntan tres, dos o un solo cromosoma, respectivamente, o bien solamente se forman univalentes y, en anafase, los univalentes se dirigen aleatoriamente a cualquiera de los polos de la célula, lo que da lugar a una variación cromosómica y, por tanto, a gametos estériles.

En diploides solo se observaron bivalentes sin embargo, en los tetraploides, predominaron las asociaciones bivalentes seguidas de las cuadrivalentes, mientras que las univalentes y trivalentes se observaron en mínima cantidad. Por lo que se puede señalar que las plantas con  $2n=4x=48$  cromosomas se comportan citológicamente como autotetraploides, de acuerdo con la clasificación de poliploides propuesta por (De Wet, 1980). Dado que el estudio meiótico solo se realizó con la finalidad de determinar los niveles de ploidía solo se contó el número de cromosomas por célula, sin embargo solo se hicieron observaciones visuales de las asociaciones cromosómicas falta realizar

un estudio detallado para aseverar con precisión las asociaciones cromosómicas.

### Rendimiento de fruto de híbridos triploides y sus progenitores

Los análisis de varianza aplicado a progenitores e híbridos exhibieron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre híbrido y progenitores para rendimiento total de fruto, número de frutos por planta, peso promedio de fruto, diámetro polar y ecuatorial de fruto (Cuadro 10), lo que sugiere la existencia de variabilidad genética que permite visualizar posibilidades para desarrollar variedades superiores en tomate de cáscara poliploides.

**Cuadro 10.** Cuadrados medios obtenidos del análisis de varianza aplicado a ocho variables de híbridos triploides y sus progenitores diploides y tetraploides de (*Physalis ixocarpa* Brot).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios y Valores de F				
		RTF	NFP	PPF	DPF	DEF
Repticiones	4	0.027ns	1.564ns	0.336ns	1.965ns	3.257*
Tratamientos	19	0.505**	10.673**	2.435**	2.982**	3.081**
Error	76	0.062	3.126	0.419	0.824	0.655
C.V. (%)		17.241	18.868	13.151	18.155	13.797

RTF= rendimiento total de fruto; PPF= peso promedio de fruto; NFP = número de frutos por planta; DEF = diámetro ecuatorial de fruto; DPF=diámetro polar de fruto; ns = no significativo ( $P > 0.05$ ), \* significativo ( $p < 0.05$ ), \*\* altamente significativo ( $p < 0.01$ ).

El rendimiento total de fruto en las diez cruzas y sus progenitores presento una amplitud de 0.915 Kg/planta a 4.264 Kg/planta correspondientes a la cruza 2x1 y 2x13 respectivamente.

La comparación de medias indica que 15 genotipos integraron el grupo superior con un rendimiento total de fruto mayor de 1.5 Kg/planta en el cual quedaron incluidas las cruzas 5x13, 20x1, 2x13, 5x19, 11x21, 16x1 y 16x21, también se incluyen en este grupo los cinco progenitores diploides y tres de los autotetraploides. La cruza 2x13 superó en 178.24% y 19.66% a su progenitor tetraploide 2 y que su progenitor diploide 13 respectivamente y la cruza 11x21 rindió 145.76% y 0.39% más que su progenitor tetraploide 11 y que su progenitor diploide 21 respectivamente(Cuadro 11).

En lo que respecta a número de frutos por planta, se encontró que siete cruzas presentaron de 84 a 149 frutos/planta y fueron iguales estadísticamente a cinco progenitores diploides y cuatro tetraploides.

La comparación de medias para el PPF se encontró que la cruza 11x21 presento el mayor peso de fruto 37.153g y fue estadísticamente igual ( $P>0.05$ ) a la cruza 2x13, 16x1 y 16x21y a cuatro progenitores diploides.

**Cuadro 11.** Valores medios de rendimiento y calidad de fruto en híbridos triploides sus progenitores diploides y tetraploides de tomate de cáscara, evaluados en General Cepeda Coahuila, México.

	RTF (Kg)	NFP (N°)	PPF (gr)	DPF (mm)	DEF (mm)
Híbridos Triploides					
5 X 13	2.280bcde *	96abc	23.650bcde	21.761ab	36.532abcdef
20 X 1	2.587abcde	134ab	19.869de	29.353ab	42.080abcde
2 X 13	4.264a	149a	30.070abcd	39.055a	48.862ab
5 X 19	2.111bcde	114abc	18.896de	21.544ab	32.991abcdef
11 X 21	3.072abc	84abc	37.153ab	37.214ab	51.661a
20 X 19	1.376cde	86abc	22.516bcde	18.094ab	27.016ef
2 X 1	0.915e	59bc	19.864 de	15.014b	20.273f
20 X 13	1.104e	45c	23.902bcde	23.154ab	29.714bcdef
16 X 1	2.934abcd	110abc	25.969abcde	19.271ab	30.214bcdef
16 X 21	1.875bcde	66bc	28.838abcde	25.822ab	34.136abcdef
Progenitores Diploides					
1D	3.415ab	99abc	35.763abc	38.751a	47.736abc
13D	3.560ab	124abc	33.445abcd	36.697ab	47.246abcd
18D	1.801bcde	121abc	14.899e	30.139ab	36.710abcdef
19D	2.254bcde	85abc	26.535abcde	30.799ab	39.159abcdef
21D	3.006abc	77abc	39.603a	34.033ab	44.000abcde
Progenitores Tetraploides					
2T	1.531cde	104abc	14.975e	20.057ab	33.299abcdef
5T	1.480cde	72abc	21.428cde	18.002ab	28.556cdef
11T	1.255de	64bc	19.866de	27.745ab	21.512f
16T	1.558cde	81abc	19.645de	18.275ab	27.478def
20T	1.805bcde	77abc	23.968bcde	20.627ab	33.494abcdef
DMS	0.57	4.10	1.50	2.10	1.87

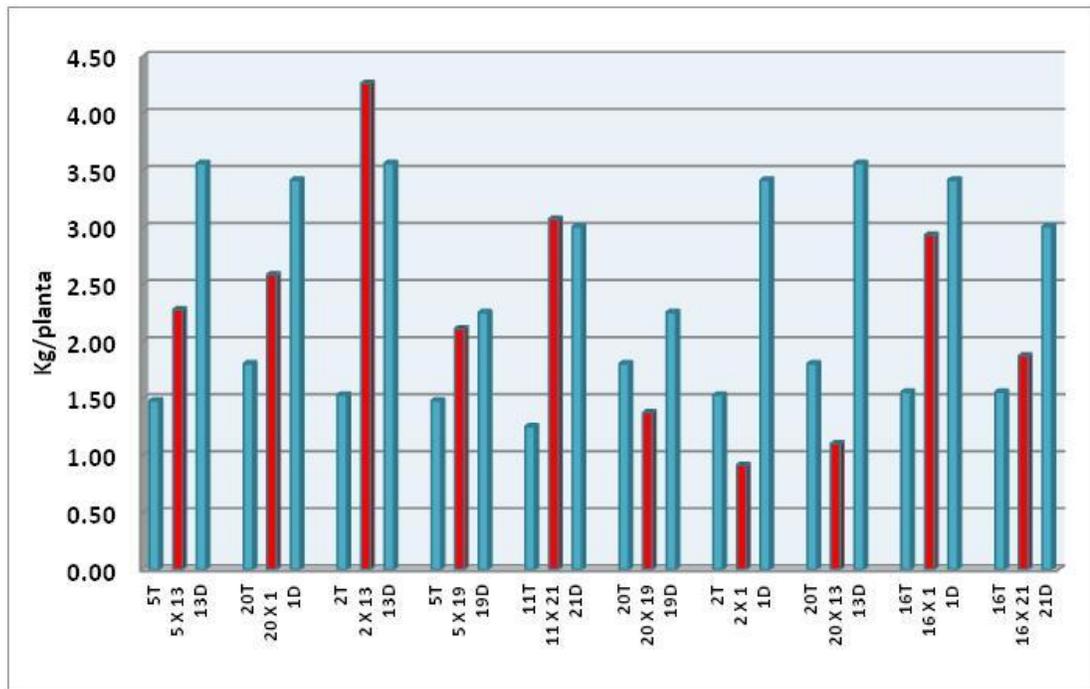
RTF= rendimiento total de fruto; NFP = número de frutos por planta; PPF= peso promedio de fruto; DPF=diámetro polar de fruto; DEF = diámetro ecuatorial de fruto.\* Medias seguidas con la misma letra son iguales entre sí según la prueba de Tukey, ( $P \geq 0.05$ ). DMS= Diferencia mínima significativa.



**Figura 5.** Frutos de la cruz 11 x21, 20 x19 y sus progenitores en tomate de cáscara.

En el diámetro polar de fruto no hubo variación entre cruza ni entre progenitores ya que todos fueron estadísticamente iguales siendo únicamente diferente la cruz 2x1 que fue la que tuvo el menor diámetro polar de fruto.

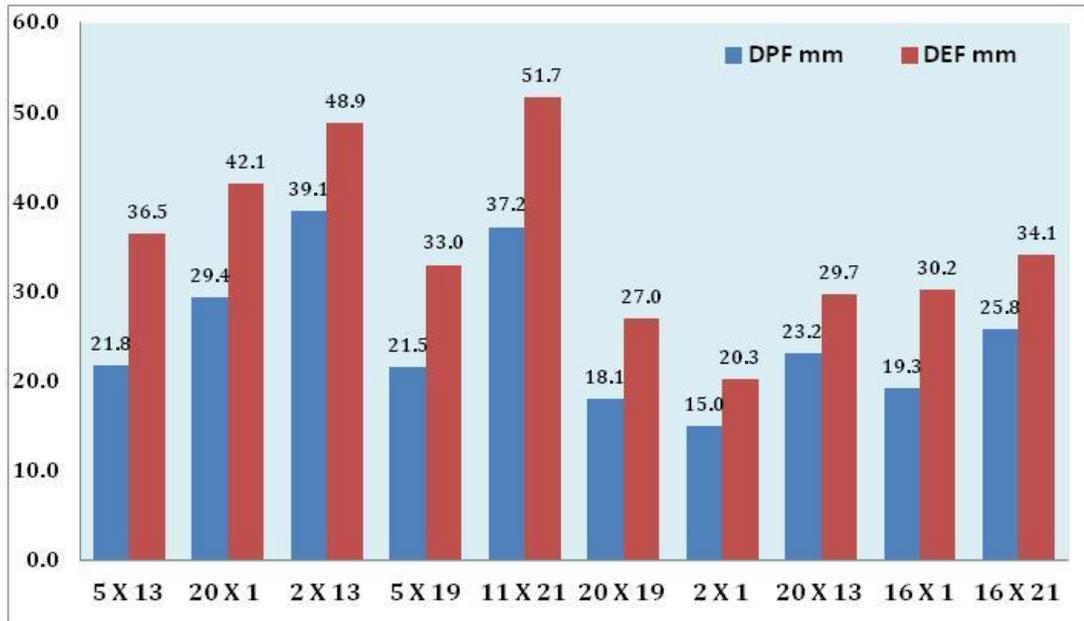
La cruz 11x21 fue la que presentó el mayor diámetro ecuatorial de fruto 51.66 mm y fue estadísticamente igual ( $P > 0.05$ ) a las cruces 5 x 13, 20 x 1, 2 x 13, 5 x 19 y 16x21 y, a los cinco progenitores diploides y dos tetraploides. Sin embargo, en todas las cruces fue mayor el diámetro ecuatorial que el polar, dando frutos aplanados de los polos (Figura 5).



**Figura 6.** Rendimiento de fruto en Kg/planta, comparación de híbridos triploides y sus respectivos progenitores diploides y tetraploides.

Los resultados obtenidos indican que al cruzar autotetraploides 4x (formados por la acción de la colchicina usados como hembras) con diploides 2x (usados como machos) sobresalientes en rendimiento, es factible la producción de híbridos triploides en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*). Resultados similares encontraron (Aleza *et al.*, 2009; Maynard *et al.*, 1992;

Nugent and Adelberg, 1995; Estrada, 1990) al formar híbridos triploides en especies como sandía, melón, mandarina, limón y papa.



**Figura 7.** Diámetro ecuatorial y polar de frutos de híbridos triploides en Tomate de cáscara.

Las diferencias altamente significativas entre las medias en todas las variables estudiadas en los progenitores diploides, tetraploides y sus cruza, es debido a que las poblaciones estudiadas son de origen geográfico y genético muy diverso, como se ha observado en otras especies (Molina, 1992), reforzando las posibilidades de desarrollo de variedades superiores en tomate de cáscara.

En rendimiento de fruto de las cruza la 2x13 y 11x21 y 16x1 superaron el rendimiento encontrado en los mejores híbridos de las cruza de la

variedades Chapingo x Puebla en tomate de cáscara realizadas planta x planta por (Santiaguillo *et al.*, 2004). Además estos valores superan el rendimiento promedio nacional del ciclo de producción 2010 que fue de 15.58 t ha<sup>-1</sup> (SIAP-SAGARPA, 2011), y el potencial productivo de variedades mejoradas que es de 40 t ha<sup>-1</sup> (Peña y Santiaguillo, 1999). Este resultado, concuerda con (Castro *et al.*, 2004) y (Peña, 2001), quienes señalan que con un sistema de acolchado plástico y riego por goteo, el rendimiento de frutos de tomate de cáscara se incrementa en un 56% y puede alcanzar de 60 t ha<sup>-1</sup> a 80 t ha<sup>-1</sup>. El incremento de rendimiento en las tres cruzas se debe probablemente, a que estas presentaron un periodo reproductivo más largo y de mayor capacidad de rendimiento que sus progenitores diploides y tetraploides, de acuerdo con lo reportado por (Estrada *et al.*, 1994) en la variedad rendidora de tomate de cáscara.

Peña *et al.* (2004) mencionan que existe una correlación positiva entre número de frutos y rendimiento total en tomate de cáscara. De igual forma se encontró que el mayor número de frutos por planta lo presentaron las cruzas que tuvieron los más altos rendimientos, a excepción de la crusa 20 x1 que presentó un gran número de frutos pero tuvo bajos rendimientos, esto se explica, dado que esta crusa tuvo plantas quiméricas menos desarrolladas, que dieron frutos pequeños exhibiendo bajo PPF y bajos valores de DEF y DPF. Por el contrario la crusa 11x21 presentó plantas muy vigorosas con frutos grandes, mayor DPF, DEF y alto peso promedio de fruto PPF, aunque con menor número de frutos por planta NPF, dando por lo tanto altos rendimientos. La

forma ovalada o achatada del fruto de los híbridos triploides en tomate de cáscara, es debido a que el diámetro ecuatorial fue más grande que el diámetro polar, coincidiendo con híbridos triploides obtenidos en otras especies por diferentes autores (Nugent y Adelberg, 1995; Aleza *et al.*, 2009; Rhodes y Zhang, 2000).

## CONCLUSIONES

La poliploidización afectó la viabilidad del polen, ocasionado pérdida de fertilidad, característica que podría ser mejorada por selección de plantas con apareamiento normal en meiosis, para incrementar la fertilidad de los autotetraploides.

Se puede considerar que con la duplicación del genoma en tomate de cáscara se redujo o se perdió la autoincompatibilidad en las poblaciones tetraploides, incrementando la posibilidad de formación de líneas puras, para la formación de híbridos en tomate de cáscara.

La duplicación cromosómica en tomate de cáscara contribuyó a la modificación de la forma de frutos, resultando estos de forma achatada de los polos, dejando huecos entre el endocarpio y mesocarpio, característica que puede ser mejorada por selección de plantas.

Los resultados obtenidos indican que es factible la producción de híbridos triploides en *Physalis ixocarpa*, al cruzar autotetraploides 4x (hembras) con diploides 2x (machos).

Cuatro cruzas de diez, tuvieron altos valores de rendimiento (2x13, 5x19, 11x21, 16x1) y dos de estas cruzas (2x13 y 11x21) presentaron valores altos en todas las variables estudiadas.

En los híbridos triploides se encontró amplia variabilidad, identificando a las mejores cruzas para su explotación a nivel comercial, tomando en cuenta características de importancia agronómica como, componentes de rendimiento y calidad de fruto.

## BIBLIOGRAFÍA

Aleza P., Cuenca J., Juárez J., Pina JA., Navarro L., 2009. Mandarinos "Garbí" y "Safor", dos nuevos híbridos triploides obtenidos en el IVIA. Levante Agrícola: Revista internacional de cítricos 395: 85-87.

Alfredo Miguel y Marsal J.I., 2003. Métodos de producción de sandía sin semilla, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.

Apodaca S.M.A., Barreras S.M.A., Cortez M., Quintero B.J.A., 2008. Enfermedades del Tomate De Cáscara en Sinaloa. Campo Experimental Valle del Fuerte, Los Mochis, Sinaloa, México.

Arbo M.M., Fernández A., 1983. Posición taxonómica, citología y palinología de tres niveles de ploidía de *Turnerasu bulata* Sm. Bonplandia 5(23): 211-226.

Areola S.M.A., 2005. Heterosis intervarietal entre clones de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Universidad Autonoma de Chapingo. Edo Mex.

Barcelos C.M., Kaltchuk S.E., Mundstock E.C., Bodanese Z.M.H., 2004. Initial segmentation patterns of microspores and pollen viability in soybean

cultured anthers: indication of chromosome doubling. Braz. Arch. Biol. Techn. 47:703-712.

Barringer B.C., 2007. Polyploidy and Self-Fertilization in Flowering Plants. American Journal of Botany 94(9): 1527–1533.

Bayer de México, S.A. de C.V., 2007. Manual de plagas y enfermedades de hortalizas en Agricultura protegida.

Camacho C.V.M., 2010. Evaluación de Genotipos Tetraploides y Diploides de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Castro B.R., Galvis S.A., Sánchez J.P., Peña L.A., Sandoval V.M., Alcántara G.G., 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). Rev. Chapingo Ser. Hort. 10: 147-152.

Cubero I.J. 2003. Introducción a la mejora genética vegetal. Mundi-Prensa. España. 365 p.

D´Arcy W.G., 1991. The Solanaceae since 1976, Review of its Biogeography. In: Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry and Evolution, Hawkes JG.

Lester RN. Nee M. y Estrada N. (eds.). Royal Botanic Garden, Kew.  
Gran Bretaña. pp. 75-138.

De Wet J.M., 1980. Origin of polyploids. In Polyploidy. Plenum, Lewis HW (eds).  
Nueva York, EEUU. pp. 3-15.

Estrada R.N., 1991. Híbridos triploides derivados de *Solanum stoloniferum* y su  
valor en el mejoramiento de la papa, Revista Latinoamericana de la  
Papa. (1990). 3:80-87.

Estrada T.V., Peña L.A., Contreras M.E., 1994. Evaluación de 28 familias de  
tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). Revista Chapingo. Serie  
Horticultura 2:135-139.

Fernández A., 1987. Estudios cromosómicos en Turnera y Piriqueta  
(Turneraceae). Bonplandia 6: 1-21.

García V.A., 1990. Técnicas y Procedimientos de Citogenética Vegetal. Colegio  
de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 144 p.

García S.F., 2001. *Physalis* En: Rzedowski, J. y G. Calderon de R. (Eds) Flora  
Fanerogámica del valle de México. 2<sup>da</sup> edición. Instituto de Ecología A.C.

- Gil M.A., 2006. Conservación *in situ* En: Molina M.J. y L. Córdova. Recursos Fitogenéticos en México para la Alimentación y la Agricultura. Informe Nacional 2006. SAGARPA.
- González M.E., Estévez A., Rodríguez T., Álvarez M., 1992. Estudio de la fertilidad del polen en especies de papa. Cultivos Tropicales 13(1):70-73.
- González M.E., Estévez A., Castillo J., Salomón J., Moré O. y Hernández M.M., 2002. La calidad del polen: Requisito indispensable del mejoramiento tradicional de la papa en Cuba. Revista Latinoamericana de la Papa 13:75-94.
- Grimaldo J.O., García V.A., Peña L.A., 1999. Morfología cromosómica y comportamiento meiótico en el tomate cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Revista Chapingo, Serie Horticultura 5(1): 35-39
- Güemes G.M.J., Palacios A. A., Ramírez R.S., García P. F., 2001. Guía para cultivar tomate de cáscara en el estado de Morelos. Campo Agrícola Experimental Zacatepec, Morelos, México.
- He Y.C., Wei Q., Ge J., Jiang A.M., Gan L., Song Z.J., Cai D.T., 2010. Genome duplication effects on pollen development and the interrelated physiological substances in tetraploid rice with polyploid meiosis stability. Planta 232 (5) 1219-1228.

Inzunza C.J.F., García V.A., Carballo C.A., Peña L.A., 1999. Viability, pollen and seed size in husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Agricultura Técnica en México* 25(1): 69-77.

Jackson R.C., Casey J., 1980. Cytogenetics of polyploids. In W. H. Lewis (ed) *Polyploidy - Biological Relevance*. Plenum Press: New York, pp. 17-44.

Lagos B.T.C., Vallejo C.F.A., Criollo E.H., Muñoz F.J.E., 2008. *Biología reproductiva de la uchuva*. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, AA 1175, Pasto, Nariño, Colombia.

López, R.J., 2011. El cultivo de tomate de cascara,  
[www.tecnoagro.com.mx](http://www.tecnoagro.com.mx)  
[http://s3.esoft.com.mx/esofthands/include/upload\\_files/4/Archivos/Tomatillo1.pdf](http://s3.esoft.com.mx/esofthands/include/upload_files/4/Archivos/Tomatillo1.pdf).

Martínez y Díaz M.L., 1993. Systematics of *Physalis* Section *Epeterlohiza*. Tesis Doctoral, Universidad de Texas, Austin, U.S.A.

Martínez y Díaz M.L., 1998. Systematics of *Physalis* Section *Epeterlohiza* (*Solanaceae*) *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México. *Serie Botánica* 69(2): 71-117.

Maynard D.N., Elmstrom G.W., 1992. Triploid watermelon production practices and varieties. *Acta Hort.* 318:169–173.

Miller J.S., Venable D.L., 2000. Polyploidy and the evolution of gender dimorphism in plants. *Science* 289: 2335–2338.

Molina G.J.D., 1992. Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa (algunas implicaciones en genotecnia). AGT Editor. México, D. F. p 349.

Montes H.S., Aguirre R.J., 2011. La Agricultura Mesoamericana [http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro09/Cap2\\_9.htm](http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro09/Cap2_9.htm).

Moreno; Torres. 1996. Evaluación de fertilizantes orgánicos en tomate cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad CHF1-chapingo. Depto. Fitotecnia. UACH. México.

Morton J., 1987. Tomate de cáscara en México. pág. 434-437. En: Las frutas de climas cálidos. Julia F. Morton, Miami, FL. [http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/mexican\\_husk\\_tomato.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/mexican_husk_tomato.html).

Navarro L. 2008. Obtención de mandarinos triploides sin semillas. Centro de Protección Vegetal y Biotecnología Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).

Nugent P.E., Adelberg J., 1995. Fruit characteristics of hybrid triploid melon. *HortScience* 30: 821-822.

Ortuño O.L., Manzo G.A., Peña L.A., 1998. Cultivo de anteras en tomate cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 4(1): 39-43.

Pandey K.K., 1957. Genetics of self-incompatibility in *Physalis ixocarpa* Brot. A new system. *American Journal of Botany* 44: 879-887.

Pandey, 1957; Santiaguillo et al., 2004;(Aguirre et al, 2006-2007);  
Caracterización preliminar morfológica de siete accesiones introducidas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Pasco, Perú.

Peña L. Y Márquez S. F., 1990. Mejoramiento genético del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo.* 71-72:84-88.

Peña L.A., 2001. Situación actual y perspectivas de la producción y mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México. In: Primer Simposio Nacional, Técnicas modernas de producción de tomate, papa y otras solanáceas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila. 10 p.

Peña L.A., Contreras M.G., Rodríguez P.J.E., Carballo C.A., Rodríguez P.J.E., Maldonado M.M., 2004. Parámetros Genéticos de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa Brot.*) Variedad Verde Puebla. Revista Fitotecnia Mexicana 27 (1): 1 – 7.

Peña L.A., Molina G.J.D., Cervantes S.T., Márquez S.F., Sahagún C.J., Ortiz C.J., 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa Brot.*). Revista Chapingo Serie Horticultura 4(1): 45-49

Peña L.A., Santiaguillo H.J.F., 1999. Variabilidad genética de tomate de cáscara en México. Boletín Técnico #2. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 26.

Peña L.A., Santiaguillo H.J.F., Magaña L.N., 2007. Recursos y mejoramiento de tomate cascara (*Physalis ixocarpa Brot.*). En: N. Bautista M. y C. Chavarin. Producción de tomate cascara. México. Pp. 31-71.

Perez G.M., Marquez S.F., Sahagun C.J., Peña L.A., 1994. Mejoramiento genético de tomate cáscara *Physalis ixocarpa Brot.*: selección y evaluación para concentración y precocidad de cosecha Revista Chapingo, Serie Horticultura 1(2): 119-124.

Poehlman J.M., Allen S.D., 2005. Mejoramiento genético de las cosechas. Segunda edición. Limusa. México, 511 p.

Rhodes B., Zhang X., 2000. Hybrid seed production in watermelon. *Journal of new seeds* 1 (3-4): 69-88.

Santiaguillo H.J.F., Cedillo P.E., Cuevas S.J.A., 2010. Distribución Geográfica de *Physalis spp.* En México. Publicaciones de la Red de tomate de cáscara. SINAREFI. Primera Edición Octubre de 2010. pp 245.

Santiaguillo H.J.F., Cervantes S.T., Peña L.A., 2004. Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruza planta x planta entre variedades de tomate de cáscara. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27: 85-91.

Santiaguillo H.J.F., Blas Y.S., 2009. Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola*, Universidad Autónoma Chapingo.

Saray M.C. y Loya R.J., 1977. Tomate cascara, algunos aspectos sobre su fisiología e investigación. *Campo Agrícola Experimental Zacatepec*, Morelos México.

Saray M.C.R. 1982. Importancia en la pre-cosecha (calentamiento) en el Rendimiento de tomate cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Instituto de enseñanza e investigación de ciencias agrícolas. Chapingo, México.

Saray M.C., Loya R.J., 1977. El cultivo de tomate en el Estado de Morelos.

SIAP. 2010. Sistema de información Agrícola y Pecuaria.

SIAP-SAGARPA 2011. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. [www.siap.sagarpa.gob.mx](http://www.siap.sagarpa.gob.mx)

SIIT\*mx 2011. Sistema Integrado de Información Taxonómica

Soares T.L., Oliveira S.S., Pereira C.C.M.A., Almeida S.S.J., Silva S.A., Morais L.L.S., Hilo S.E., Nunes J.O., 2008. In vitro germination and viability of pollen grains of banana diploids. *Crop. Breed. Appl. Biot.* 8: 111-118.

Sobrino V.E., Sanz E.M., 2007. Sobre el Status de (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Honem). 32: 232-233.

Speranza P. 2011. Hibridación interespecífica y poliploidia y sus aplicaciones en el mejoramiento genético de las plantas. Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

Stanley, P.C. 1946. Flora of Guatemala. Chicago, US, Natural History Museum Fieldiana Botany. v. 24, pte. 2, p. 1-13.

Stebbins G.L. 1947. Types of polyploids: Their classification and significance.  
Advances in Genetics 1:403–429.

Stone J.L., Thomson J.D., Dent A.S.J., 1995. Assessment of pollen viability in  
Hand-pollination experiments: A Review. American Journal of Botany  
82(9): 1186-1197.

Víctor H.H.2009. Evaluación de sustratos para la producción de plántulas de  
tomate cascara bajo invernadero, en Zamora, Michoacán. Universidad  
Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Waterfall U.T., 1967. *Physalis* in Mexico. Central America and the West  
Indies. Rhodora. 69:82-120,203-239,319-329.