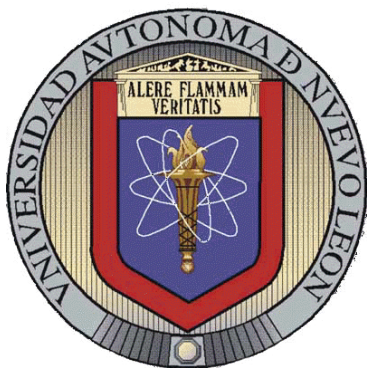


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



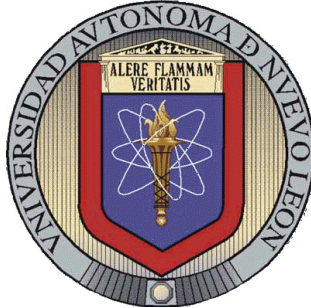
**CARACTERIZACIÓN DE TETRAPLOIDES Y FORMACIÓN  
DE HÍBRIDOS TRIPLOIDES EN TOMATE DE CÁSCARA**  
*(Physalis ixocarpa Brot.)*

**Por**

**FRANCISCA RAMÍREZ GODINA**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS**  
**Con Acentuación en Manejo y Administración de Recursos Vegetales**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**CARACTERIZACIÓN DE TETRAPLOIDES Y FORMACIÓN DE HÍBRIDOS  
TRIPLOIDES EN TOMATE DE CÁSCARA  
(*Physalis ixocarpa* Brot.)**

**TESIS**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS  
Con Acentuación en Manejo y Administración de Recursos Vegetales**

**Presenta**

**FRANCISCA RAMÍREZ GODINA**

**Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab**

**Dr. Valentín Robledo Torres**

---

**Presidente (Director Interno)**

---

**Vocal 1 (Director Externo)**

**Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L.**

**Agosto del 2012**

**CARACTERIZACIÓN DE TETRAPLOIDES Y FORMACIÓN  
DE HÍBRIDOS TRIPLOIDES EN TOMATE DE CÁSCARA**

*(Physalis ixocarpa Brot.)*

**Por**

**FRANCISCA RAMÍREZ GODINA**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS  
Con Acentuación en Manejo y Administración de Recursos Vegetales**

**Comité de Tesis**

**Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab**

**Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez**

---

**Presidente (Director Interno)**

---

**Secretario**

**Dr. Valentín Robledo Torres**

**Dr. Adalberto Benavides Mendoza**

---

**Vocal 1 (Director Externo)**

---

**Vocal 2**

**Dra. Deyanira Quistian Martínez**

---

**Vocal 3**

**Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L.**

**Agosto del 2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco infinitamente a “Dios” por permitirme concluir satisfactoriamente los estudios del doctorado

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UAAAN por el gran apoyo brindado. Gracias a la Universidad Autónoma de Nuevo León UANL por haberme permitido ser parte de ella. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por el apoyo.

Al Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab, por ser el primero que me abrió las puertas para iniciar el doctorado, por su sencillez y calidad humana, por su paciencia y valiosas aportaciones como asesor principal, gracias por su apoyo y amistad, siempre le estaré agradecida.

Como no agradeceré Dr. Valentín Robledo Torres por todo el apoyo que siempre me has brindado, por tus consejos, aportaciones y paciencia, por motivarme y alentarme a seguir adelante, eres un gran ejemplo a seguir, te estaré eternamente agradecida.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza por el apoyo incondicional que me brindaste, por aceptar ser parte del comité de asesores, por tus aportaciones consejos y amistad gracias.

Agradezco al Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez por ser parte del comité de asesores, por sus valiosas aportaciones en la realización de este trabajo y por brindarme su amistad gracias

A la Dra. Deyanira Quistian Martínez por sus aportaciones para la realización de este trabajo y por ser parte del comité de asesoría

Te agradezco ampliamente TA. Norma Leticia Portos Gaona por todo el tiempo que dedicaste para apoyarme en los trabajos de laboratorio, por tu gran calidad humana y por ser tan buena amiga.

Al Dr. M. Humberto Reyes Valdes por el apoyo brindado en los trabajos de citometría, por sus acertadas aportaciones y consejos, gracias por tu amistad.

A mis tutores Dra. Alejandra Rocha Estrada, Dra. María Luisa Cárdenas Ávila y Dr. Víctor Ramón Vargas López, por sus sugerencias, consejos y aportaciones durante el desarrollo del doctorado, gracias por acogerme con gran sencillez y calidad humana.

A todas mis amigas que siempre estuvieron a mi lado apoyándome y dándome ánimos para seguir adelante, gracias por su amistad.

## **DEDICATORIAS**

Dedico este trabajo con mucho amor a mi esposo Valentín y a mis hijas Perla Rocio, Dulce Alejandra y Adriana Judith, son mi motivación para seguir superándome, gracias por su amor, paciencia y apoyo que siempre me han brindado, los amo, son el regalo más grande que Dios me ha dado.

A mis padres Sidronia y Perfecto, por haberme dado la vida, por alentarme y motivarme a seguir siempre adelante hasta alcanzar las metas trazadas. Gracias por el apoyo la paciencia y muestras de cariño que siempre me han brindado, son un gran ejemplo a seguir de trabajo, sencillez y calidad humana, los amo y que Dios los bendiga.

A mis hermanos: Juanita, Leticia, Cecilia, Nancy, Ricardo, Javier, José Guadalupe, Luis y Felipe, por el gran amor que nos une, por todo el apoyo y cariño que siempre me han brindado, gracias por estar siempre a mi lado.

A mis sobrinos: Karina, Sandy, Lucy, Karla, Miguel Ángel, Ricardo, Daniel, Katia, Diego, Alex, Lizet, Iván, Alberto, Gaby, Santiago, Fernanda y Jorge. Por el apoyo y muestras de cariño.

## TABLA DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS.....	iv
LISTA DE TABLAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xiv
NOMENCLATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xx
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. HIPÓTESIS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
3.1    Objetivo General.....	4
3.2    Objetivos Particulares.....	4
<b>4. ANTECEDENTES.....</b>	<b>5</b>
4.1    Origen y Distribución.....	5
4.2    Taxonomía.....	5
4.3    Descripción Botánica.....	6
4.4    Crecimiento y Desarrollo.....	7
4.5    Floración.....	7
4.6    Polinización.....	8
4.7    Fructificación.....	9
4.8    Producción de Tomate de Cáscara.....	10
4.9    Poscosecha.....	11

4.10	Importancia Económica del Tomate de Cáscara.....	11
4.11	Mejoramiento Genético en Tomate de Cáscara.....	14
4.11.1	Variabilidad genética actual o disponible.....	14
4.11.2	Alternativas o métodos de generación de variabilidad genética.....	15
4.11.3	Avances o situación actual del mejoramiento genético del tomate de cáscara.....	16
4.12	Características de Cultivos Autopoliploides.....	17
4.12.1	¿Que es un cultivo autopoliploide?.....	17
4.12.2	Principales características ecológicas, fisiológicas, morfológicas y celulares de los autopoliploides.....	17
4.12.3	Ventajas en la producción de autopoliploides.....	18
4.12.4	Metodologías y limitaciones en la generación de autopoliploides.....	18
4.12.5	Utilización del método –colchicina- para la generación de autopoliploides en diversos cultivos.....	19
4.13	Características de Cultivos Triploides.....	23
4.13.1	¿Que es un cultivo triploide?.....	23
4.13.2	Ejemplos o aplicaciones de la generación de híbridos triploides.....	23
<b>5.</b>	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>26</b>
5.1	Caracterización de Poblaciones Tetraploides y Diploides.....	26
5.1.1	Material Biológico.....	26
5.1.2	Localidad de evaluación agronómica.....	27
5.1.3	Análisis de ploidía por la técnica de proceso enzimático en mitosis.....	27
5.1.4	Establecimiento de poblaciones diploides y tetraploides en campo.....	28
5.1.5	Manejo del cultivo en campo.....	28
5.1.6	Análisis de viabilidad y tamaño de polen.....	29
5.1.7	Densidad, índice y tamaño de estomas.....	30
5.1.8	Caracterización morfológica.....	31
5.1.9	Componentes del rendimiento de fruto en tetraploides y diploides.....	31
5.1.10	Calidad de fruto en tetraploides y diploides.....	32
5.1.11	Diseño experimental y análisis estadístico.....	34



5.2	Formación de Híbridos Triploides.....	35
5.2.1	Análisis de citometría de flujo.....	35
5.2.2	Evaluación en campo de los materiales tetraploides y diploides seleccionados como progenitores, en dos ambientes.....	36
5.2.2.1	Material genético y localidades.....	36
5.2.2.2	Componentes de rendimiento y calidad de fruto de tetraploides y diploides, evaluados en dos localidades.....	36
5.2.3	Procesos y mecanismos de los cruzamientos.....	37
5.2.3.1.	Establecimiento de plántulas en macetas.....	37
5.2.3.2	Establecimiento de plantas en invernadero.....	40
5.2.4	Autoincompatibilidad de progenitores diploides y tetraploides.....	41
5.2.5	Prueba de viabilidad de polen de progenitores diploides y tetraploides.....	41
5.2.6	Obtención de semilla de frutos de los cruzamientos.....	41
5.3	Evaluación de Híbridos Triploides y sus Progenitores.....	42
5.3.1	Establecimiento de los híbridos triploides, para su evaluación agronómica.....	42
5.3.2	Cosecha de fruto.....	42
5.3.3	Identificación de híbridos triploides por análisis meiótico.	42
5.3.4	Evaluación de los componentes de rendimiento y calidad de fruto en híbridos triploides y sus progenitores.....	43
5.3.5	Determinación de heterosis y heterobeltiosis en híbridos triploides.....	43
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
6.1	Caracterización de Poblaciones Tetraploides y Diploides.....	45
6.1.1	Análisis mitótico de tetraploides y diploides.....	45
6.1.2	Análisis de viabilidad y tamaño de polen, de tetraploides y diploides.....	47
6.1.3	Densidad, índice y tamaño de estomas.....	49
6.1.4	Caracterización morfológica de tetraploides y diploides..	53
6.1.5	Rendimiento y componentes de rendimiento del fruto de tetraploides y diploides.....	57
6.1.6	Calidad de fruto de tetraploides y diploides.....	60
6.1.7	Análisis de correlaciones entre variables agronómicas y	

	morfológicas en diploides y tetraploides.....	63
6.2	Formación de Híbridos Triploides.....	65
6.2.1	Análisis de citometría de flujo.....	65
6.2.2	Rendimiento y calidad de fruto de tetraploides y diploides.....	68
6.2.2.1	Rendimiento de fruto de tetraploides y diploides en dos localidades.....	68
6.2.2.2	Calidad de fruto de tetraploides y diploides en dos localidades.....	71
6.2.3	Viabilidad y tamaño de polen de tetraploides y diploides..	75
6.2.4	Prueba preliminar de autoincompatibilidad.....	76
6.2.5	Resultados de los cruzamientos.....	77
6.3	Evaluación de Híbridos Triploides.....	78
6.3.1	Análisis meiótico.....	78
6.3.2.	Rendimiento de fruto de híbridos triploides y sus progenitores.....	82
6.3.3	Calidad de fruto en híbridos triploides y sus progenitores..	83
6.3.4	Determinación de heterosis y heterobeltiosis.....	86
6.3.4.1	Rendimiento total de frutos por planta.....	86
6.3.4.2	Numero de frutos por planta.....	87
6.3.4.3	Peso promedio de fruto.....	87
6.3.4.4	Diámetro polar y diámetro ecuatorial de fruto.....	88
6.3.4.5	Firmeza de fruto.....	88
6.3.4.6	Sólidos solubles totales.....	88
6.3.4.7	Variable pH de frutos.....	88
<b>7.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>104</b>
<b>10.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>105</b>
<b>11.</b>	<b>RESUMEN BIOGRÁFICO.....</b>	<b>116</b>

## LISTA DE TABLAS

TABLAS	PÁGINA
I	Producción Agrícola 2010 de acuerdo a SIAP-SAGARPA (2011) modalidad:Riego+Temporal..... 12
II	Poblaciones autotetraploides..... 26
III	Poblaciones diploides..... 27
IV	Poblaciones diploides de <i>Physalis ixocarpa</i> y su nivel de ploidia determinado por mitosis..... 45
V	Poblaciones de autotetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> y su numero cromosómico determinado por mitosis..... 46
VI	Cuadrados medios y valores de F, obtenidos del análisis de varianza de viabilidad y diámetro de polen de poblaciones diploides y tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> ..... 47
VII	Viabilidad de polen y diámetro de polen en diploides y tetraploides de tomate de cáscara ..... 48
VIII	Cuadrados medios y valores de F, obtenidos del análisis de varianza aplicado a densidad e índice estomático de poblaciones diploides y tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> ..... 49
IX	Valores medios de densidad e Índice estomático en superficies foliares de diploide y tetraploides de tomate de cáscara..... 50
X	Cuadrados medios y valores de F, de la longitud y ancho de estomas de la superficie adaxial y abaxial de la hoja de poblaciones de tomate de cáscara diploides y tetraploides... 51
XI	Valores medios de largo y ancho de estomas en la superficie adaxial y abaxial de la hoja de tomate de cáscara diploides y tetraploides..... 53
XII	Cuadrados medios y valores de F, del análisis de varianza aplicado a características morfológicas de diploides y tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> ..... 54

XIII	Valores medios de características morfológicas de diploides y tetraploides de tomate de cáscara <i>Physalis ixocarpa</i> .....	56
XIV	Cuadrados medios y valores de F, del análisis de varianza aplicado a cinco características de diploides y tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> .....	58
XV	Valores medios de rendimiento de fruto de poblaciones diploides y tetraploides de tomate de cáscara.....	60
XVI	Cuadrados medios y valores de F, del análisis de varianza aplicado a tres características de diploides y tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> .....	61
XVII	Valores medios de calidad de fruto en poblaciones diploides y tetraploides de tomate de cáscara.....	62
XVIII	Correlaciones de Pearson entre variables agronómicas y morfológicas De poblaciones diploides de tomate de cáscara.....	64
XIX	Correlaciones de Pearson entre variables agronómicas y morfológicas de poblaciones tetraploides de tomate de cáscara.....	65
XX	Cuadrados medios y valores de F, del análisis de varianza aplicado a cinco características de diploides y tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> .....	69
XXI	Valores medios de características de rendimiento en poblaciones diploides y tetraploides de tomate de cáscara, estudiados en dos localidades de Coahuila, México.....	71
XXII	Cuadrados medios y valores de F, del análisis de varianza aplicado a características de calidad de fruto de diploides y tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> .....	72
XXIII	Valores medios características de calidad de fruto de diploides y tetraploides de tomate de cáscara.....	73
XXIV	Comparación de variables agronómicas entre diploides y tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> y su contraste mediante la prueba de F .....	74
XXV	Comparación de variables agronómicas entre el diploide rendidora y los tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> y su contraste mediante la prueba de F.....	74

XXVI	Viabilidad y tamaño de polen, así como número de frutos y semilla en progenitores diploides y tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> Brot.....	77
XXVII	Número de Frutos, semillas y plántulas producidas en los cruzamientos de diploides x tetraploides en tomate de cáscara.....	78
XXVIII	Número de plantas híbridas analizadas por meiosis en diacinesis y su nivel de ploidía.....	79
XXIX	Cuadrados medios y valores de F, obtenidos del análisis de varianza aplicado a ocho variables de híbridos triploides y sus progenitores diploides y tetraploides de <i>Physalis ixocarpa</i> Brot.....	81
XXX	Valores de heterosis de diez cruzas de diploides por tetraploides en tomate de cáscara.....	86
XXXI	Valores de heterobeltiosis de diez cruzas de diploides por tetraploides en tomate de cáscara.....	87

## LISTA DE FIGURAS

FIGURAS		PÁGINA
1	Estructura floral y frutos de tomate de cáscara.....	8
2	Establecimiento en campo de tomate de cáscara tetraploides y diploides en General Cepeda, Coahuila.....	28
3	Plantas en pares diploide y tetraploide cubiertas con velo.....	38
4	Cruzamientos de plantas diploides utilizadas como machos, por tetraploide utilizadas como hembras en tomate de cáscara <i>Physalis ixocarpa</i> Brot.....	39
5	Metodología de los cruzamientos de acuerdo al diseño II de Carolina del Norte.....	40
6	Cromosomas en mitosis, de autotetraploides (A, B, C) $2n=4x=48$ y (D) diploide ( $2n=2x=24$ ) 100X.....	46
7	Granos de polen de <i>Physalis ixocarpa</i> 40X. Los teñidos se consideraron viables, los constreñidos y sin color no viables (A) autotetraploide;(B) diploide. Escala 10 $\mu$ m.....	48
8	Impresiones de la epidermis de hojas de tomate de cáscara. Distribución y tamaño de los estomas, (A) autotetraploide, (B) diploide, 40X. Escala 10 $\mu$ m.....	52
9	Plantas de tomate de cáscara, izquierdo diploide (19) rendidora, derecho tetraploide (20).....	55
10	Distribución del pico principal de fluorescencia de plantas control de (rendidora) y progenies de plantas tetraploides de <i>P. ixocarpa</i> .....	66
11	Histograma de citometría de flujo de los tres tipos de nivel de ploidía en <i>Physalis ixocarpa</i> . (El primer pico en los tres esquemas representa núcleos en etapa G1, el segundo pico en etapa G2 del ciclo celular): El 2x es el cultivar rendidora diploide. Los 3x triploide y 4x tetraploides derivados de las poblaciones tratadas con colchicina.....	67

12	Frutos del diploide rendidora (19) y del tetraploide (20).....	75
13	Células en diacinesis de <i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ( A ) diploides 2n= 2x = 24 ( B ) triploides 2n= 3x = 36, ( C ) tetraploides 2n= 4x = 48, 100X.....	80
14	Frutos de la cruz 11 x21, 20 x19 y sus progenitores en tomate de cáscara.....	83
15	Rendimiento de fruto en Kg/planta, comparando a los híbridos triploides con su respectivo progenitor diploide y tetraploide.....	84
16	Diámetro ecuatorial y polar de frutos de híbridos triploides en tomate de cáscara.....	84
17	Calidad de fruto, firmeza, °Brix y pH de fruto en híbrido triploides de tomate de cáscara <i>Physalis ixocarpa</i> Brot.....	85

## NOMENCLATURAS

cm	Centímetros
g fruto <sup>-1</sup>	Gramos por fruto
Kg planta <sup>-1</sup>	Kilogramos por planta
μm	Micrómetro o micra
mg/100g	Miligramos por 100 gramos
mm	Milímetros
t ha <sup>-1</sup>	Toneladas por hectárea

## RESUMEN



El tomate de cáscara, *Physalis ixocarpa* Brot. presenta un mejoramiento genético limitado, por lo que el proceso de producción se sustenta en gran medida en variedades nativas de bajo rendimiento, en relación con el de variedades mejoradas. Dada la autoincompatibilidad que presenta esta especie, se descarta la formación de líneas puras y por ende la formación de híbridos, sin embargo, la formación de autoploiploides es una alternativa de introducción de nuevo potencial genético en el tomate de cáscara, razón por la cual se planteó caracterizar tetraploides de *Physalis ixocarpa* y generar híbridos triploides con altos rendimientos.

Se utilizaron autotetraploides formados por acción de colchicina y diploides comerciales de *P. ixocarpa*. El trabajo se realizó en tres etapas. En primera etapa, se llevó a cabo la caracterización cromosómica de tetraploides, estimación de la densidad y tamaño de estomas, viabilidad y tamaño de polen, características morfológicas y evaluación de componentes de rendimiento y calidad de fruto. En la segunda etapa se realizaron los cruzamientos de diploides x tetraploides para obtener híbridos triploides y en la tercera etapa se realizó análisis citogenético para identificar híbridos triploides, se evaluaron los componentes de rendimiento y calidad de fruto, se estimó la heterosis y heterobeltiosis y se identificaron las cruza más sobresalientes. Se efectuó análisis de varianza y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con una probabilidad ( $P \leq 0.05$ ), contrastes ortogonales y correlaciones se utilizó el programa estadístico SAS versión 9.2.

El 80% de las plantas analizadas por citometría de flujo, tuvieron el nivel de ploidia esperado (4x tetraploide). En los tetraploides se redujo la viabilidad del polen y aumentó el tamaño del mismo, en comparación con los diploides, mostrando entre poblaciones diferencias estadísticas altamente significativas para viabilidad de polen ( $F = 4.27$ ,  $P < 0.01$ ) y diámetro de polen ( $F = 2.38$ ,  $P = 0.006$ ). Los autotetraploides presentaron diferencias altamente significativas en densidad estomatica abaxial ( $F = 17.07$ ,  $P < 0.01$ ) y en densidad estomatica adaxial entre poblaciones diploides y tetraploides ( $F = 17.07$ ,  $P < 0.01$ ), así como ( $P < 0.01$ ) para las variables largo y ancho de estomas abaxial y adaxial, en promedio los estomas abaxial de los tetraploides fueron 45% más largos y 35% más anchos que los diploides y los estomas de los tetraploides en la superficie

adaxiales fueron 46% más largos y 27% más anchos que los estomas de los diploides. Se encontró que los autotetraploides presentaron estomas más grandes, pero en menor cantidad por superficie foliar, en comparación con los diploides. Los tetraploides de tomate de cáscara presentaron mayor altura de planta, ancho de hojas, mayor diámetro de flores y tallos que los diploides, y exhibieron diferencias altamente significativas para ancho de la hoja, diámetro de flor y altura de planta ( $P < 0.01$ ) y significativas para largo de hoja ( $P = 0.012$ ) y diámetro de tallo ( $P = 0.0004$ ). Los autotetraploides de tomate de cáscara presentaron mayor altura de planta, ancho de hojas, mayor diámetro de flores y tallos que los diploides.

Hubo diferencias altamente significativas entre poblaciones diploides y tetraploides, para las variables rendimiento total de fruto, número de frutos por planta, peso promedio de fruto, diámetro polar y ecuatorial de fruto ( $P < 0.01$ ). Se identificaron a los tetraploides 2, 5, 11, 16 y 20 como las poblaciones con mayor rendimiento de fruto con un rango de 1.910 a 2.157 Kg planta<sup>-1</sup> mientras que los diploides 1, 13, 18 y 19, fueron las poblaciones con mayor rendimiento de fruto con un rango de 1.118 a 2.825 Kg planta<sup>-1</sup>, el rango en peso promedio de fruto de los tetraploides seleccionados fue de 28.399 a 41.343 g fruto<sup>-1</sup>, mientras que en los diploides fue de 17.802 a 56.616 g fruto<sup>-1</sup>. En la variable sólidos solubles totales en frutos, se encontraron diferencias significativas entre las poblaciones bajo estudio ( $F = 2.04$ ,  $P = 0.02$ ). De igual forma, para firmeza de fruto y contenido de vitamina C, hubo diferencias altamente significativas entre poblaciones ( $P < 0.01$ ), presentándose una gran variabilidad entre tetraploides y diploides para estas variables. Los tetraploides presentaron amplia variabilidad en cuanto al contenido de vitamina C y los mejores fueron la población 5 con (9.504 mg/100g) y la 11 con (10.794 mg/100g).

Todas las plantas tetraploides aisladas con malla formaron frutos pequeños con semilla, lo cual hace suponer que con la duplicación cromosómica inducida con colchicina, se redujo la autoincompatibilidad.

De acuerdo a los conteos de cromosomas de células en diacinesis, de 10 cruzas, 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  $2n = 2X = 24$ .

El análisis de varianza aplicado a progenitores e híbridos exhibieron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre híbrido y progenitores para RTF, NF, PPF, DPF, DEF, FIR, SST y pH. Cuatro cruas tuvieron altos valores de heterosis en rendimiento (2x13, 5x19, 11x21, 16x1) y dos de estas cruas (2x13 y 11x21) presentaron heterobeltiosis y además presentaron altos valores de heterosis en todas las variables estudiadas.

En los híbridos triploides se encontró amplia variabilidad en las características de rendimiento y calidad de fruto, identificando las mejores cruas para su explotación a nivel comercial.

## **ABSTRACT**

The husk tomato, *Physalis ixocarpa* Brot. have a limited breeding, so the production process is based on native varieties of low yield, in relation to improved varieties. The self-incompatibility of this species prevents the formation of pure lines and thus the formation of hybrids, however, the formation of autopolyploids is an alternative to develop new genetic potential in tomatillo, so there is was proposed characterize *Physalis ixocarpa* tetraploids and develop triploid hybrids with high yields.

Were used autotetraploid formed by use of colchicine and *Physalis ixocarpa* diploids commercials. The work was conducted in three stages. In the first stage was carried out chromosome characterization of tetraploids and estimation of density and stomatal size, viability and pollen size, morphological characteristics and evaluation of yield components and fruit quality. The second phase involved the diploids x tetraploids crosses to form the triploid hybrids and in the third stage cytogenetic analysis was used to identify triploids hybrids also were evaluated for yield components and fruit quality. Heterosis and heterobeltiosis were estimated, and identified the most outstanding crosses. Was carried out analysis of variance and comparison mean using the Tukey test (with a probability  $P \leq 0.05$ ), orthogonal contrasts and correlations using the SAS statistical software version 9.2.

The 80% of the plants analyzed by flow cytometry, had the expected ploidy level (tetraploid 4x). In the tetraploids reduced pollen viability and increased the size of it compared to diploids. Between diploids and tetraploids populations were highly significant differences for pollen viability ( $F = 4.27$ ,  $P < 0.01$ ) and diameter of pollen ( $F = 2.38$ ,  $P = 0.006$ ). The autotetraploid showed highly significant differences in abaxial stomatal density ( $F = 17.07$ ,  $P < 0.01$ ) and adaxial stomatal density between diploid and tetraploid populations ( $F = 17.07$ ,  $P < 0.01$ ), as well as for the variables long and width of stomata abaxial and adaxial ( $P < 0.01$ ). The abaxial stomata of tetraploids were 45% longer and 35% wider than the diploid and tetraploid stomata of the adaxial surface were 46% longer and 27% wider than the stomata of the diploid. The autotetraploid had larger stomata, but in smaller amounts by leaf area, compared with diploids.

The husk tomato tetraploids had higher plant height, leaf width, largest diameter of flowers and stems that diploid, and showed highly significant differences for leaf width,

flower diameter and plant height ( $P < 0.01$ ) and significant for leaf length ( $P = 0.012$ ) and stem diameter ( $P = 0.0004$ ). The autotetraploid of husk tomato had higher plant height, leaf width, largest diameter of flowers and stems than diploids.

There were significant differences between diploid and tetraploid populations, for total yield of fruit, fruits per plant, fruit weight, polar and equatorial diameter of fruit ( $P < 0.01$ ). The tetraploid populations 2, 5, 11, 16 and 20 were identified more outstanding fruit yield with a range of 1,910 to 2,157 kg plant<sup>-1</sup> while the diploid 1, 13, 18 and 19, were also populations that had high fruit yield, with a range of 1,118 to 2,825 kg plant<sup>-1</sup>. The fruit weight of the selected tetraploid was 28,399 to 41,343 g fruit<sup>-1</sup>, whereas in the diploid was 17,802 to 56,616 g fruit<sup>-1</sup>, also among the populations under study were significant differences in total soluble solids in fruit ( $F = 2.04$ ,  $P = 0.02$ ). Similarly, for firmness of fruit and vitamin C, highly significant differences between populations ( $P < 0.01$ ), presented a great variability between tetraploid and diploid for these variables. The tetraploids showed wide variability in the content of vitamin C and the best were the population 5 with (9.504 mg/100g) and 11 with (10.794 mg/100g).

All isolated tetraploid plants formed small fruits with seeds, which suggest that induced chromosome doubling with colchicine, reduced the self-incompatibility.

According to the cell counts at diakinesis chromosomes in 10 crosses, it was found that 83.33% of analyzed plants from crosses of diploid x tetraploid presented polyploidy expected for progeny triploid  $2n = 3X = 36$ , while 10.18 % were tetraploid  $2n = 4x = 48$  and only 6.48% were diploid  $2n = 2x = 24$ . The analysis of variance carried out to the parents and hybrids, showed significant differences ( $P < 0.01$ ) between hybrids and parental lines for RTF, NF, PPF, DPF, DEF, FIR, TSS and pH. Four crosses were high levels of heterosis in yield (2x13, 5x19, 11x21, 16x1) and two of these crosses (2x13 and 11x21) and also presented heterobeltiosis showed high heterosis values for all variables studied.

In the triploid hybrids found wide variability in the characteristics of fruit yield and fruit quality, identifying the best crosses to exploit commercially.

## 1. INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) también conocido como tomate verde o tomate de fresadilla, es una especie nativa de México y Centroamérica, actualmente es uno de los cultivos hortícolas más importantes de México (Cantwell *et al.*, 1992), ocupando el cuarto lugar entre las hortalizas en superficie sembrada 48 475.17 has (SIAP-SAGARPA, 2011). La importancia adquirida por éste cultivo es debido al aumento significativo en el consumo per capita (4.5 kg) a nivel nacional, así como al aumento de la exportación a los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá (Peña *et al.*, 2002). Además de México, el tomate de cáscara se cultiva en Guatemala, Colombia (Bukasov, 1963), Polonia, Rusia (Bock *et al.*, 1995), Sureste de los Estados Unidos, Israel y Sudáfrica (Peña y Márquez, 1990), la región de Rajasthan en la India, Australia, Kenia, África, las Bahamas, Puerto Rico, Jamaica, Inglaterra y Taiwan (Morton, 1987). Después de México los países más importantes en el cultivo de ésta especie son Nueva Zelanda, Australia, África, Kenia e India (Fisher *et al.*, 1990).

A pesar de existir amplia variabilidad genética tanto en el tomate silvestre como en el domesticado (Santiaguillo *et al.*, 2004), el rendimiento medio nacional es de 15.58 t ha<sup>-1</sup> (SIAP-SAGARPA, 2011), el cual es considerado bajo, de acuerdo al rendimiento potencial de 40 t ha<sup>-1</sup>, la causa de los bajos rendimientos es el uso de sistemas de producción tradicionales, uso de variedades nativas de bajo potencial productivo, técnicas de producción ineficiente y problemas de comercialización derivados de la sobreoferta del producto en algunas épocas del año (Peña y Santiaguillo, 1999). Se menciona que el mejoramiento genético de la especie es limitado, la existencia de pocas variedades mejoradas y el uso de variedades nativas que los productores conservan (Peña *et al.*, 1997). Peña y Márquez (1990) indican que la selección familiar de medios hermanos y la selección combinada de medios hermanos son los métodos genotécnicos apropiados en el mejoramiento de ésta especie. La selección masal visual estratificada ha sido un método eficiente para incrementar el rendimiento hasta 2.8% por ciclo de

selección, pero cada vez es más difícil distinguir los mejores individuos en el lote de selección, por lo que es pertinente evaluar métodos más eficientes con el fin de determinar la mejor opción (Peña *et al.*, 2002).

La autoploidía es un estado biológico inducible caracterizado por la duplicación del número de genomas de un mismo individuo, con lo cual se logra incrementar la variabilidad genética, que puede ser aprovechada por los fitomejoradores. La autoploidía incrementa el tamaño efectivo de la población e incrementa la flexibilidad genómica, facilitando así el manejo de la selección artificial. La redundancia genética puede permitir la divergencia adaptativa de genes duplicados (Parisod *et al.*, 2010). Los autotetraploides pasan de tres combinaciones posibles con dos alelos de un diploide a cinco combinaciones, además es posible desarrollar plantas más vigorosas (Cubero, 2003), con posibilidades de aumentar los rendimientos en especies, en las cuales la hibridación mediante la utilización de líneas endogámicas no es posible, debido a que presentan autoincompatibilidad (Pandey, 1957). El mejoramiento genético mediante la formación de tetraploides en especies como sandía, papa, plátano espárragos, café, cítricos, y la obtención de híbridos triploides ha originado importantes avances. La utilización de autotetraploides y diploides en tomate de cáscara *Physalis ixocarpa* previamente caracterizados y seleccionados como parentales, así como la obtención de híbridos triploides mediante la cruce de diploide x tetraploide, podría ser un camino muy promisorio para obtener nuevas variedades. Estos métodos de mejoramiento podrían incrementar el rendimiento y mejorar características agronómicas en esta especie y aumentar las posibilidades de comercialización.

## **2. HIPOTESIS**

La caracterización de diploides y tetraploides permitirá identificar poblaciones con alto potencial de rendimiento y calidad de fruto y la generación de híbridos triploides de tomate de cáscara mediante la hibridación de autotetraploides por diploides, posibilita la obtención de variedades de alto rendimiento agronómico, con altos valores de heterosis.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Caracterizar tetraploides y generar híbridos triploides de *Physalis ixocarpa* de alto rendimiento.

#### **3.2 Objetivos Particulares**

- a).- Caracterización de poblaciones tetraploides y selección de los mejores en base a rendimiento y calidad de fruto, para utilizarlos como progenitores.
- b).- Generar híbridos triploides mediante cruzas de autotetraploides por diploides seleccionados, en base a rendimiento y calidad de fruto.
- c).- Evaluación agronómica de los híbridos triploides obtenidos, en la localidad de Saltillo, Coahuila.
- d).- Estimación del vigor híbrido o heterosis de triploides de tomate de cáscara para seleccionar cruzas de alto rendimiento y calidad de fruto.

## 4. ANTECEDENTES

### 4.1 Origen y Distribución

El género está representado por alrededor de 90 especies, setenta de las cuales son endémicas de México, considerado su centro de origen y diversidad (D'Arcy, 1991; Martínez, 1998). *Physalis* es un género que se distribuye en Estados Unidos de América, México, Centroamérica, Sudamérica y las Antillas. El tomate de cáscara, tomate verde o tomatillo, domesticado mexicano, ha sido considerado por los botánicos por casi 400 años y su aprovechamiento se remonta a épocas prehispánicas (Hudson, 1986).

En la actualidad al menos 19 especies de *Physalis* se recolectan para el consumo de su fruto. No obstante, el número elevado de especies reconocidas en el género, solo *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem., *P. alkekengi* L., *P. grisea* (Waterf.) Martínez, *P. peruviana* L. y *P. angulata* L. se cultivan para su aprovechamiento (Santiaguillo *et al.*, 2009).

### 4.2 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).

**Reino:** Plantae

**Subreino:** Embryobionta

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Dicotiledoneae (Magnoliopsida)

**Orden:** Solanales

**Familia:** Solanaceae

**Subfamilia:** Solanoideae

**Tribu:** Solaneae

**Género:** *Physalis*

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

#### 4.3 Descripción Botánica

Es una planta herbácea anual, erecta, extendida de 40 a 120 cm de altura, glabra, las partes jóvenes con algunos tricomas simples. Tallo con ramificación dicotómica cilíndrico, vigoroso, herbáceo en las primeras fases de desarrollo tanto en hojas como en ramas, se presentan pubescencias que van desapareciendo a medida que la planta crece, su altura varía de 0.4 a 0.9 metros, el diámetro del tallo principal es de aproximadamente 12 mm a los 56 días, con ramas primarias de 9 mm que llegan a extenderse a un metro de longitud. Hojas alternas, limbo ovado a lanceolado, son, simples sin estipulas; grandes y ovaladas, de 5-11 cm de largo por 4-6 cm de ancho, con su base atenuada y ápice ligeramente acuminado, con márgenes irregularmente dentados, presenta 6 dientes por cada lado, son glabras en ambas caras, los pecíolos son de 5 a 6 cm de largo. Flores individuales y axilares, corola amarilla, con un diámetro de apertura de aproximadamente 2.5 cm en promedio, asimétrica en la base, es decir con la corola en forma de estrella o rueda abierta con el tubo muy corto, ovario súpero, el cuello pubescente, máculas simples purpuras a azules, estambres con anteras azules, convolutas (retorcidas) después de la dehiscencia, las flores son perfectas pero presentan autoincompatibilidad gametofítica, ovario con pistilo ligeramente corto de estigma pequeño. Fruto es una baya succulenta que al madurar varía de amarillo al verde en distintas tonalidades, alcanzando hasta el color morado. Su tamaño varía desde 2 cm de diámetro hasta 5.5 cm. Su sabor varía del ácido al dulce pasando por el agridulce. Cáliz glabro, globoso o con diez líneas tenues, muy inflado sobre la baya, de color verde con tonalidades purpuras en la base. Semillas muy pequeñas y de color crema pálido, tienen forma de disco con diámetro menor de 3 mm y espesor menor de 0.5 mm pueden

empezar a abrirse aun dentro del fruto maduro, testa lisa; el peso de 1000 semillas alcanza un promedio de 1.3 g y un fruto contiene aprox. 300 semillas (Vargas *et al.*, 2003).

#### 4.4 Crecimiento y Desarrollo

El tomate de cáscara presenta crecimiento rastrero, erecto y semierecto, el tipo rastrero generalmente su crecimiento no alcanza alturas mayores de 30cm ya que conforme se desarrolla, los tallos se extienden sobre la superficie del suelo, el erecto es de aspecto arbustivo originado por el crecimiento vertical del tallo, este tiene la desventaja que el tallo se puede rajar con el peso del fruto, las variedades nuevas en su mayoría son de crecimiento semierecto.

Tiene un ciclo de vida de 85 a 90 días desde la siembra a la senescencia; una vez que emerge la plántula inicia un crecimiento lento, aproximadamente 1 cm/día; posteriormente, como a las 24 días el crecimiento se acelera y se estabiliza como a los 55 días y a los 70 días es cuando llega a alcanzar poco más de 1 m y después empieza a envejecer hasta su muerte (Saray y Loya, 1977).

#### 4.5 Floración

La diferenciación de yemas florales, inicia aproximadamente entre los 17 y 20 días después de la siembra; la aparición de las primeras flores ocurre de los 28 a 30 días y continúa floreciendo hasta la muerte de la planta. La fecundación y el “pegue o amarre” de los frutos se inicia a los 35 días, en los siguientes siete días (42 días) inicia una etapa llamada “de formación del cascabel” (inicio de la fructificación), que no es otra cosa más que un fruto pequeñito bien definido en proceso de crecimiento.

Normalmente de la fecundación de los frutos a la maduración de los mismos, transcurren de 20 a 22 días, la producción comercial de una planta se cosecha entre los 4 y 7 primeros entrenudos, aunque plantas con buen desarrollo presentan frutos comerciales hasta en el décimo entrenudo. Las flores abren antes de que las anteras tengan dehiscencia, en días normales usualmente abren entre 8 y 12 de la mañana.

En el floral antes de abrir se aprecia que los lóbulos del cáliz incrementan su tamaño considerablemente, los pétalos y el estigma asoman sobre el cáliz, la dehiscencia de las anteras se realiza en forma lateral y longitudinal, abriéndose gradualmente de la punta a la base; las paredes de las anteras se voltean hacia atrás para liberar el polen, el cual es de color amarillo crema o blanco, pero un poco antes de que se inicie la dehiscencia los filamentos se elongan considerablemente, hasta llegar cerca del estigma.

Las anteras no abren uniformemente, sino que normalmente pasan de 2 a 4 días, entre la dehiscencia de la primera a la quinta antera, después de que las anteras han cerrado y encorvado la corola, los estambres, los estilos y el estigma persiste en su posición original, alrededor de una semana (entre 3 y 6 días), estos se van marchitando para caer después que la corola ha caído, el ovario y el cáliz comienza a envolver el fruto joven y se alarga a su máximo tamaño antes de que el fruto madure, la baya crece lentamente y adquiere su forma característica, algunos frutos pueden llegar a llenar completamente la bolsa y otros inclusive la rompen (Figura 1), (Saray y Loya, 1977).



**Figura 1** Estructura floral y frutos de tomate de cáscara.

#### 4.6 Polinización

En las plantas de tomate de cáscara no es posible la autopolinización ya que según Pandey (1957), presenta autoincompatibilidad gametofítica, que está determinada por dos *loci* independientes, cada uno con alelos múltiples, que se manifiesta después de la polinización. Cuando uno o dos alelos presentes en el polen también lo están en el estilo el polen generalmente no llega a germinar y cuando germina el tubo polínico no penetra en el estigma, por lo que se comporta como una planta alógama obligada de polinización

cruzada. La polinización natural es llevada a cabo principalmente por insectos, siendo las abejas las que por lo general realizan esta labor, una vez que la flor es polinizada se cierra y ya no se abre, luego que se marchita y cae (Pérez *et al.*, 1997).

Mulato *et al.* (2007) encontraron que la autocompatibilidad en tomate de cáscara no se hereda a través de citoplasma, sino que el responsable es un gen localizado en los cromosomas; en tomate de cáscara la autocompatibilidad es genéticamente controlada por un solo gen dominante ( $S_C$ ); individuos autocompatibles son estrictamente heterocigotos ( $S_C, S_4$ ); alelo  $S_C$  en el lado masculino ( $S_C, S_4$ ) no es funcional cuando poliniza un estigma ( $S_C, S_4$ ).

En un estudio de polinización controlada realizado en *Physalis ixocarpa* en las variedades CHF1-Chapingo y Verde Puebla encontraron que al cubrir plantas en pares se reduce el número de flores, frutos y el porcentaje de flores amarradas, y con el de plantas solas se reduce el número de frutos y el porcentaje de flores amarradas. El cubrimiento de ramas no afecta el porcentaje de flores amarradas, y el de plantas y ramas reduce el porcentaje de frutos con semilla, favoreciendo la partenocarpia. Por lo que concluyeron que la autoincompatibilidad en tomate de cáscara no es completa y posiblemente es menor en la variedad CHF1-Chapingo que en la variedad Verde Puebla (Santiaguillo *et al.*, 2005)

#### 4.7 Fructificación

Saray y Loya (1977) mencionan que el cuajado de frutos fecundados en tomate de cáscara, se inicia con el desarrollo del ovario de los 35 a los 45 días, en este momento el cáliz que cubre el ovario se forma y dentro de él se inicia la fructificación, con un fruto pequeño bien definido en proceso de desarrollo. Regularmente del cuajado del fruto a la maduración se lleva alrededor de 20 a 22 días. Una planta de tomate de cáscara llega a producir hasta 90 frutos de los cuales no todos amarran. Existe relación entre el peso promedio por fruto y número de estos. El promedio de frutos por planta es de 14 con un rango de 7 frutos para planta erecta amarilla y 19 frutos por planta para tipo rastrera y erecta verde. El peso promedio del fruto es de 33.3 g, siendo para el tipo rastrero amarillo de 40.25 g por fruto y 22.89 g para tipo erecto verde (Cartujano *et al.*, 1985).

#### 4.8 Producción del Tomate de Cáscara

El tomate de cáscara se desarrolla en condiciones del medio de germinación con pH de 6 a 7, temperaturas de 20 a 30 °C para la germinación y de 22 a 25 °C para el crecimiento vegetativo. En la etapa de floración requiere de 30 a 32 °C. Las etapas críticas en cuanto a requerimientos de humedad corresponden a la germinación y emergencia, así como al trasplante. Durante el resto del ciclo, incluyendo la floración necesita de un 60% de la capacidad hídrica del suelo (Saray y Loya, 1977).

La época de siembra es de acuerdo con la zona productora se asocia con el periodo libre de heladas o bien de temperaturas excesivas. Los surcos comúnmente se realizan a un metro de distancia colocando dos plantas por mata cada 60 centímetros (Salazar, 2002), en algunos casos a 1.25 m. Martínez *et al.* (2004) recomienda distancia entre surcos de 1.2 a 1.8 m y plantar a doble hilera una planta por mata cada 20 cm, en sistemas de riego por goteo el establecimiento se lleva a cabo en siembra directa o por trasplante siendo este último el más recomendado, ya que el buen manejo en almácigo permite contar con plántulas vigorosas y uniformes. El momento óptimo del trasplante se alcanza cuando la plántula tiene de tres a cuatro hojas verdaderas o bien cuando la plántulas tengan de 15 a 29 días (Peña *et al.*, 1991).

Para la fertilización en tomate de cáscara en México, existen diferencias al considerar la dosis de diferentes nutrientes, como nitrógeno, fósforo y potasio a emplear. Castro *et al.* (2004) encontraron que se requieren 3.7 Kg de Nitrógeno aprovechable para producir una tonelada de fruto fresco en tomate de cáscara, además mencionan que la etapa de desarrollo del cultivo con mayor demanda de nitrógeno fue la que corresponde al inicio de la cosecha (55 días después del trasplante), ya que en ésta convergen el crecimiento vegetativo, la floración y la fructificación. En un estudio realizado por Ramos *et al.* (2002) en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) bajo un sistema de fertirriego y riego por goteo en invernadero, observaron que la dosis óptima para nitrógeno fue 120 Kg ha<sup>-1</sup> para lograr un rendimiento de fruto de alrededor de 28 t ha<sup>-1</sup>. Arroyo (1999) recomienda fertilizar con 120 kg de nitrógeno y 40 kg de fósforo, para los

Estados de Guanajuato y Guerrero, Peña (1994) menciona que la dosis e emplear dependen fundamentalmente del tipo de suelo, e indica que el tratamiento 180-90-30 nitrógeno-fósforo-potasio, es adecuado para tomate de cáscara en suelos de tipo migajón limoso, mientras que si los suelos son más pobres se deben aplicar mas fertilizantes.

#### 4.9 Poscosecha

La vida de anaquel del fruto de tomate de cáscara está influenciada por el momento del corte y mínimamente por el tipo de empaque. Magaña (1997) encontró que los frutos del primer corte que ocurre entre 70 a 80 días después del trasplante de acuerdo a la variedad, presentaron mayor vida de anaquel, el empaque que dio mejores resultados fue las cajas de madera, ya que prolongaron la vida de poscosecha del fruto de tomate de cáscara y conservaron mejor sus características iniciales.

Macías (1995) considera que los frutos de tomate de cáscara pueden conservarse almacenados hasta 30 días sin que sufran graves daños en la calidad y las condiciones más importantes de almacenamiento son la temperatura, humedad y atmósfera o tipo de empaque, éstas pueden variar de una especie a otra.

El almacenamiento de frutas de tomate de cáscara a 10 °C y 20 °C resultó con mayor pérdida de peso y cambio de color que el almacenamiento a temperaturas más bajas. La frescura de las cáscaras se mantuvo también a temperaturas más bajas. El almacenamiento a 2.5 °C durante 3 semanas, resultó en niveles más elevados de daños en el fruto que el almacenamiento a 5 °C. La incidencia de pudrición se redujo lavando el fruto con agua clorada antes de su almacenamiento (Cantwell *et al.*, 1992).

#### 4.10 Importancia Económica del Tomate de Cáscara

El tomate de cáscara es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia a nivel nacional, junto con el chile, papa, jitomate o tomate rojo, sandía y cebolla, ya que ocupa el cuarto lugar (Tabla 1) en superficie sembrada (48 475.17 has) de las hortalizas (SIAP-SAGARPA, 2011), la alta importancia adquirida por éste cultivo es debido al aumento



en el consumo per capita a nivel nacional (4.5 kg) así como al aumento en la exportación a los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá (Peña *et al.*, 2002).

Hace cerca de 10 años en México se comenzó a industrializar el tomate, y en la actualidad se estima que la agroindustria procesa 600 toneladas anuales, de las cuales el 80% se exporta a Estados Unidos como tomate entero, sin cáliz y enlatado, y el resto se destina a la elaboración de salsas envasadas para el mercado interno. Está adquiriendo importancia como cultivo introducido en California, como resultado de la creciente popularidad de la comida mexicana en Estados Unidos de Norteamérica.

Tabla I  
Producción Agrícola año 2010 de acuerdo a SIAP-SAGARPA (2011)  
Modalidad: Riego + Temporal

Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/Ha)	Precio Medio Rural (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Chile verde	148,758.88	143,974.72	2,335,560.31	16.22	5,662.37	13,224,802.93
Papa	55,645.63	55,358.63	1,536,617.37	27.76	7,563.40	11,622,047.96
Tomate rojo	54,510.59	52,088.59	2,277,791.43	43.73	6,535.77	14,887,127.57
<b>Tomate verde</b>	<b>48,475.17</b>	<b>46,197.06</b>	<b>719,848.64</b>	<b>15.58</b>	<b>3,518.05</b>	<b>2,532,464.29</b>
Sandia	47,338.21	44,040.31	1,036,794.71	23.54	2,580.80	2,675,757.51
Cebolla	45,126.03	44,835.73	1,266,164.99	28.24	4,181.14	5,294,013.69

El tomate de cáscara ha sido hasta la actualidad un componente constante de la dieta mexicana y guatemalteca, principalmente en forma de salsas, las cuales mejoran el sabor de las comidas y estimulan el apetito. El tomate en salsa permite atenuar el sabor picante del chile. Con el fruto del tomate, cocinado o incluso crudo, se elaboran purés o picadillos, que se utilizan como base para salsas con chile, conocidas genéricamente como salsa verde; pueden usarse para acompañar comidas preparadas, o bien emplearse en la preparación de diversos guisados. La infusión de las cáscaras (cáliz) se agrega a la masa de tamales, para mejorar su consistencia esponjosa, así como la de buñuelos; también se utiliza para dar sabor al arroz blanco y ablandar carnes rojas (Montes y Aguirre, 1994).

El ligero sabor ácido del tomatillo ha hecho de éste, un popular artículo de varios platillos mexicanos tales como las enchiladas y salsas. Frecuentemente es usado en lugar de tomate rojo (*Lycopersicon esculentum* Mill) debido a su color verde y/o acidez (Bock et al., 1995). El contenido de humedad del tomatillo es de aproximadamente 92%, y en base al contenido de materia seca tiene 11 % de proteína, 18 % de grasas, 13% de ceniza y 5% de la fibra alimenticia total, 53 % de carbohidratos, el contenido calórico fue de 31 Kcals/100g y el pH fue de 3.76 ( Bock et al., 1995).

Es una fuente de vitaminas A y C, y se ha sugerido que los productos químicos aislados de los tomatillos, como es el ixocarpalactone A, son potentes inductores de la reductasa quinona, sugiriendo una posible actividad quimoprotectora. Estos descubrimientos sugieren que los químicos presentes en tomatillos pueden tener propiedades quimiopreventivas al cáncer de colon (Choi et al., 2006).

Al tomate de cáscara se le atribuyen numerosas propiedades medicinales. Resultados preliminares *in vitro* (Caceres et al., 1991) proporcionan una base científica para el uso del tomatillo contra infecciones respiratorias bacterianas. Santiaguillo y Blas (2009) citando a diferentes autores que describen las propiedades curativas que tiene *P. ixocarpa*, señalan que las hojas y los frutos son útiles en el tratamiento de cefalea y dolor estomacal; el fruto untado con sal sirve para curar parotiditis (enfermedad conocida como paperas), mientras que el zumo tiene propiedades curativas contra la faringitis. Los cálices cocidos parecen tener cualidades medicinales contra la diabetes mellitus; además si se aplica en compresas sobre el rostro puede combatir la resequedad y envejecimiento facial, la infusión de cálices se usa para evitar la alopecia; el jugo del fruto alivia postemas de nariz, dolor estomacal y corrige la gastroenteritis; los frutos asados atenúan las molestias que provocan las hemorroides al frotarlos sobre la parte afectada.

En un estudio realizado en tomate de cáscara púrpura (*P. ixocarpa*) se encontró que la actividad antioxidante de los genotipos de tomatillo color púrpura presentaron entre 16 y 90%, además estos resultados mostraron una correlación no lineal entre los compuestos bioactivos (fenólicos totales o el contenido de antocianinas) y la capacidad antioxidante en los genotipos evaluados. Indicando que el tomatillo es una fuente importante y segura de compuestos antioxidantes. Estas frutas podrían ser utilizadas para

el consumo directo como ensaladas o como extractos para aumentar el valor nutritivo de diferentes alimentos (González *et al.*, 2011).

El tomate de cáscara actúa como un producto sustituto del tomate rojo (jitomate) y en un lapso de 10 años a partir de los noventa, prácticamente ha duplicado su superficie cultivada (Santiguillo *et al.*, 2010).

En el 2010 se sembró en 30 de los 32 Estados de la Republica Mexicana y las entidades con mayor producción de tomate de cascara fueron Sinaloa, Jalisco, Zacatecas, México, Sonora, Puebla, Michoacán, Morelos, Guanajuato, Nayarit y Tlaxcala, en orden de importancia (SIAP-SAGARPA, 2011).

#### 4.11 Mejoramiento Genético en Tomate de Cáscara

##### 4.11.1 Variabilidad genética actual o disponible

El mejoramiento genético del tomate de cáscara en México ha sido limitado, a la fecha el cultivo en el país se sustenta en numerosas variedades nativas y materiales sobresalientes que los propios productores usan y conservan y otras que las compañías semilleras incrementan para su venta y distribución. Lo anterior ha traído como consecuencia que el rendimiento medio nacional sea de  $15.58 \text{ t ha}^{-1}$  (SIAP-SAGARPA, 2011), el cual es considerado bajo, de acuerdo al rendimiento potencial de  $40 \text{ t ha}^{-1}$ . La causa de los bajos rendimientos es la baja tecnificación de los sistemas de producción y el uso de variedades nativas de bajo potencial productivo, técnicas de producción ineficiente, problemas de comercialización derivados de la sobreoferta del producto en algunas épocas del año (Peña y Santiaguillo, 1999).

Dada la importancia que ha cobrado el cultivo de tomate verde en México, es necesario sustentar el proceso de producción, en variedades de alto potencial productivo y no en variedades nativas, ya que esto representará mayores beneficios al productor, pues existe la premisa fundamental de que el costo de producción por hectárea es prácticamente el mismo si se siembra un genotipo de bajo o de alto potencial productivo, aspecto también aplicable al proceso de producción de semilla, por lo que el uso de variedades mejoradas no representa mayor gasto para el productor y sí la perspectiva de

mayores ingresos debido tanto a una mayor producción como a una mejor calidad del producto, particularmente en color, tamaño y forma del fruto (Peña, 2001).

De acuerdo a caracteres morfológicos y agronómicos, la variabilidad genética del tomate de cáscara se agrupa 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).

#### 4.11.2 Alternativas o métodos de generación de variabilidad genética

Ante la demanda creciente del fruto de tomate y del aumento de la superficie cultivada de esta hortaliza se hace necesario el mejoramiento genético, a través de la obtención de variedades mejoradas, un camino viable y relativamente barato para lograr incrementos en la productividad del tomate de cáscara. Ante esta necesidad se han hecho diferentes estudios entre los que destacan los de (Peña y Márquez, 1990) quienes recomiendan que la selección masal, familiar de medios hermanos y combinada de medios hermanos son los métodos genotécnicos de selección más apropiados para el mejoramiento en *Physalis ixocarpa*.

De acuerdo al estudio sobre parámetros genéticos (varianza aditiva, coeficiente de variación aditiva, heredabilidad y correlaciones genéticas), Moreno *et al.* (2002) indican que existe alta variabilidad genética aditiva en la variedad M1-Fitotecnia de tomate de cáscara, ya que la heredabilidad de siete caracteres estudiados fue alta; entre 35.3 y 66.4% y el coeficiente de varianza aditiva fluctuó de 9.3 a 46.1%. En el caso del rendimiento total la heredabilidad fue de 50.9% y el coeficiente de varianza aditiva de 26.7%. Peña *et al.* (2008) en la variedad CHF1-Chapingo de tomate de cáscara, encontraron que la heredabilidad de 13 caracteres estudiados, fluctuó entre 37.1 y 57.7% y el coeficiente de variación genética aditiva fluctuó de 8.2 a 24.4%; para rendimiento total estos valores fueron 37.5 y 10.4%, respectivamente. Por lo anterior se puede decir que en tomate de cáscara los efectos aditivos son más importantes que los no aditivos,

por lo que la selección es una buena alternativa para el mejoramiento genético de las poblaciones nativas y aquellas con un grado incipiente de mejoramiento, planteándose como estrategia realizar tres a cinco ciclos de selección masal visual estratificada y posteriormente hacer selección familiar de medios hermanos (Peña, 2001).

#### 4.11.3 Avances o situación actual del mejoramiento genético del tomate de cáscara

La hibridación representa algunos problemas, debido a la autoincompatibilidad de la especie que dificulta la formación de líneas endogámicas por autofecundación, sin embargo, se han obtenido algunos avances por medio de la obtención de líneas homocigóticas a partir de haploides derivados por cultivo de anteras (Ortuño *et al.*, 1998).

Sobre la heterosis ínter e intra varietal en *P. ixocarpa* (Peña, 1998) encontró que los efectos de aptitud combinatoria general fueron significativos en peso promedio de fruto (PPF), número total de frutos por planta (FTP) y rendimiento total de fruto por planta (RTP) y los de aptitud combinatoria específica sólo en PPF, por lo que para FTP y RTP los efectos aditivos fueron más importantes que los no aditivos. La cruce entre las variedades Verde Puebla y CHF1-Chapingo rindió más (14.29 %) que el mejor progenitor y sus efectos de heterosis específica fueron más importantes que los de heterosis varietal en los tres caracteres estudiados, por lo que estas variedades podrían ser la base de un programa de mejoramiento por hibridación, dado el patrón heterótico detectado.

Por otra parte, Sahagun *et al.* (1999) encontraron que la cruce ‘Salamanca’ x ‘Rendidora’, produjo una heterosis en rendimiento de fruto al primer corte, de 138.7 % con respecto al mejor progenitor y concluye que debido a su elevada producción y heterosis, esta cruce puede considerarse como muy importante en la planeación para la formación de híbridos.

Santiaguillo *et al.* (2004) estudiaron 220 cruces planta x planta entre las variedades CHF1-Chapingo y Verde Puebla de tomate de cáscara, obteniendo en rendimiento total una heterosis promedio de 0.36 kg/planta (21.4 %) y la heterobeltiosis en la mejor cruce (C127) fue de 0.82 kg/planta (40.6 %), la cual rindió 2.84 kg/planta. En los cinco caracteres de calidad de fruto la heterosis promedio, fue negativa pero la heterobeltiosis

de la mejor cruza varió de 0.7 a 19.2 %, obteniendo híbridos planta a planta que superan al mejor progenitor.

#### 4.12 Características de Cultivos Autopoliploides

##### 4.12.1 ¿Que es un cultivo autopoliploide?

Los autopoliploides son organismos que poseen más de dos juegos de cromosomas en sus células somáticas, y en el que ambos juegos han derivado de la misma especie (Poehlman y Allen, 2005). La autopoliploidía es un estado biológico inducible caracterizado por redundancia genómica, el cual puede ser aprovechado por los fitomejoradores. La autopoliploidía incrementa el tamaño efectivo de la población e incrementa la flexibilidad genómica, facilitando así el manejo de la selección artificial. La redundancia genética puede permitir la divergencia adaptativa de genes duplicados (Parisod *et al.*, 2010). Se ha demostrado que los autopoliploides son capaces de experimentar cambios genómicos rápidos como la diploidización y disminución de la cantidad de DNA por célula, y muestran alta plasticidad genómica (Doyle *et al.*, 2008; Leitch y Leitch, 2008). Una desventaja posible es la pérdida de fertilidad, sin embargo, se sabe que los nuevos autopoliploides son altamente variables para esta característica (Ramsey y Schemske, 2002).

De forma natural y de acuerdo a estudios citogenéticos en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*), Menzel, (1951); Grimaldo *et al.*, (1999) indican un número cromosómico diploide de  $2n=2x=24$ . Debido a que esta especie reúne las características para obtención de autopoliploides como son: bajo número cromosómico, reproducción de tipo alogama y aprovechamiento de partes vegetativas (frutos). Por lo tanto una alternativa sería la introducción de nuevo potencial genético en el tomatillo por medio de la duplicación genómica aplicando colchicina como inductor de poliploidía.

##### 4.12.2 Principales características ecológicas, fisiológicas, morfológicas y celulares de los autopoliploides

La duplicación genómica induce caracteres tales como incremento en tamaño celular y modificaciones en la tolerancia ecológica (Parisod *et al.*, 2010). Asimismo, la

poliploidía tiene el potencial de generar plantas más vigorosas. Otras consecuencias de la inducción de autotetraploides es: ciclo celular es más lento, menor nivel hormonal, menor densidad de los estomas pero mayores células guarda y por lo tanto menor transpiración, por ello los poliploides aguantan mejor en ambientes más secos que el diploide, se aumenta el metabolismo secundario, aparecen nuevas sustancias, por lo tanto se incrementa la resistencia a plagas, herbivoros, enfermedades etc. La fotosíntesis disminuye un 10%. Semillas más grandes, que germinan más despacio y con un índice de germinación menor. Las plántulas son más robustas, con un crecimiento inicial más rápido. En general florecen más tarde pero se extiende el periodo de floración, alargando el ciclo que en muchas circunstancias, se manifiesta cambiando de anual a perenne. En cuanto a los sistemas reproductivos la incompatibilidad gametofítica puede romperse. Cambio en la arquitectura floral y tamaño de la flor. La poliploidía supone cambios en las características ecológicas o de adaptabilidad de las especies, por todo esto se abre la posibilidad de iniciar una nueva estrategia para el mejoramiento del tomatillo.

<http://biogenetica-imaroca.blogspot.mx/2009/12/poliploidia.html>

#### 4.12.3 Ventajas en la producción de autopoliploides

El estudio de autotetraploides puede representar una ventaja, ya que la tendencia de éstos a mostrar un mayor crecimiento vegetativo y una menor producción de semillas sugiere que la autopoliploidía sería de mayor utilidad en el mejoramiento de los cultivos cuyo objetivo final no es la producción de semilla (Poehlman y Allen, 2005). La autopoliploidia en tomate de cáscara permite incrementar la variabilidad y obtener plantas más vigorosas con posibilidades de incrementar rendimientos en una especie en la cual, la hibridación mediante la utilización de líneas endogámicas no es posible, debido a que presenta autoincompatibilidad (Pandey, 1957). En este sentido, la inducción de poliploidía en diversas especies vegetales se ha utilizado en los últimos años como una herramienta en el mejoramiento genético de las mismas, con la finalidad de aumentar los niveles de producción de los cultivos (Sartor *et al.*, 2004).

#### 4.12.4 Metodologías y limitaciones en la generación de autopoliploides.

El efecto de la poliploidía sobre las plantas es variado y difícil de predecir. Los mejoradores han inducido la duplicación de los cromosomas, para aumentar la cantidad

de biomasa, tamaño de flores, hojas, tallos etc. Sin embargo los autoploiploides muchas veces aumentan el tamaño de las células meristemáticas y de la células oclusivas de los estomas, pero disminuye el número total de células y la tasa de desarrollo, lo que origina una floración tardía y plantas con baja fertilidad

Relativamente pocos poliploides inducidos, al inicio de su desarrollo presentan altos rendimientos, sin embargo en cultivares de raíces y tubérculos, la formación de poliploides es frecuentemente utilizada para la obtención de variedades y en el mercado es posible obtener cultivares poliploides de remolacha azucarera, nabo y remolacha forrajera. El hecho de que los triploides sean estériles y no produzcan semilla carece de importancia en especies en las que de las plantas triploides solo se cosechan partes vegetativas (forraje, raíces, tubérculos, flores, etc.) con fines comerciales. El centeno (*Secale cereale*) es la única especie en la que la autoploidía ha resultado práctica en lo referente al aprovechamiento de la semilla. En Japón, Inglaterra y Estados Unidos se cultivan variedades tetraploides de uva y en Japón y Estados Unidos se han comercializado sandías triploides, ya que éstas no presentan semillas. En lo referente al aprovechamiento de la parte vegetativa, en Suecia se han comercializado formas tetraploides de tréboles del género *Trifolium sp.* y forrajeras del género *Brassica sp.* El triploide de la remolacha azucarera es empleado en todo el mundo (Poehlman y Allen, 2005).

#### 4.12.5 Utilización del método -colchicina- para la generación de autoploiploides en diversos cultivos

Investigaciones realizadas en tetraploides artificiales obtenidos de *Lycopersicon esculentum var cerasiforme* ( $2n = 4x = 48$ ), fueron más altos que los diploides ( $2n = 2x = 24$ ), presentaron flores grandes y hojas con más pelos y los granos de polen fueron estériles. En diacinesis se observó una baja frecuencia de cuadrivalentes y alta de bivalentes, lo que indica apareamiento normal, sin embargo, se presenta desbalance de gametos con 5, 6 y 7 microsporas. La frecuencia alta de bivalentes puede ser debido a la presencia de diferentes genes de control de sincronización en el progenitor original AoA1, con el doblamiento del genoma, se producen más bivalentes de lo esperado (Alfonsi y Cequea, 2000).



Kulkarni y Borse (2010) formaron plantas tetraploides en *Capsicum annuum* cv. 'GVC-111' con diferentes concentraciones de colchicina (0,05%, 0,1%, 0,2% y 0,4% de solución acuosa). Un total de 313 plantas se obtuvieron con una longitud significativamente mayor de estomas (48,6%), menor frecuencia de estomas por milímetro cuadrado (41,7%) y un mayor número de cloroplastos en células guardia (47,3%). De estos 313 poliploides, 31 fueron tetraploides, 270 fueron mixoploides y 12 eran diploides. Seis plantas tetraploides fueron seleccionadas por características sobresalientes del sistema radicular. Este estudio demuestra la utilización con éxito de la colchicina para crear nuevas mutaciones del tamaño de raíz.

En pepino *Cucumis sativus* y *Cucumis metuliferus*, Walters y Wehner (2002) formaron autotetraploides con la finalidad de crear progenie fértil y resistencia a nematodos, los poliploides los obtuvieron cuando sumergieron las semillas en colchicina al 0.5% durante un período de 6 a 8 horas. Después realizaron cruzamientos, sin embargo, sólo hubo desarrollo de frutos con semilla en los cruzamientos de *C. sativus* (4n) x *C. metuliferus* (2n), pero la semilla obtenida fue vana y no viable.

El tratamiento con colchicina en dos especies de algodón (*Gossypium arboreum* y *Gossypium herbaceum*) es más eficaz cuando la longitud de hipocotilos es entre 4-7 mm. Los brotes de *G. arboreum* tratados con el 0.9% colchicina mostraron más células tetraploides dieciséis horas después del tratamiento. La dosis de colchicina y el tiempo de incubación deben ser ajustada para cada variedad en las diversas condiciones ambientales. La inducción de poliploidía y tasa de crecimiento de la planta responden de manera diferencial a la dosis de colchicina, duración del tratamiento y al genotipo (Omran y Mohammad, 2008).

Con el objetivo de aumentar los rendimientos y el tamaño de fruto en la vid, por medio de poliploidización, Rasuli y Sotudeh, (2007) encontraron que los tratamientos con una concentración de colchicina de 0.9% y 1.1%, por 96 horas fueron los mejores para la inducción de autopoliploides en *Vitis vinifera* cv. Bidaneh.

En especies ornamentales Rose *et al.* (2001) combinado la aplicación de la colchicina en explantes nodales *in vitro* con el uso de la citometría de flujo, desarrollaron tetraploides en tres géneros, *Buddleia*, *Syringa* y *Sorbus*.

Plantas tetraploides de *Anthurium andraeanum* "Arizona" fueron inducidos con éxito después del tratamiento *in vitro* de tejidos diploides con colchicina al 0.3% por 5 h. El tamaño de los estomas de las plantas tetraploides fue mayor que en las plantas diploides, sin embargo, la densidad de estomas fue menor que en las plantas diploides, las plantas tetraploides presentaron fuertes peciolo, hojas gruesas y de un verde más profundo, además vivieron más tiempo en comparación con las plantas diploides (Chen *et al.*, 2011). Para inducir la duplicación cromosómica en la *Gerbera jamesonii* Bolus cv. Sciella, brotes cultivados *in vitro* fueron tratadas con diferentes concentraciones de colchicina. Cuando los brotes fueron tratados con colchicina al 0.1% durante 8 horas, el 64% de las plántulas fueron tetraploides. La ploidía se confirmó por citometría de flujo, análisis de estomas y caracteres morfológicos. Los tetraploides mostraron un crecimiento lento, pero tuvieron mayor vigor, hojas anchas y engrosadas, además desarrollaron flores más grandes, tallos más largos, y mejoraron la vida de florero, por lo cual la obtención de poliploides contribuye a un mayor valor ornamental de la gerbera (Gantait *et al.*, 2011). Por su parte Liu *et al.* (2007), encontraron diferencias morfológicas entre diploides y tetraploides de *Platanus acerifolia* desarrolladas con el uso de la colchicina, ya que los tetraploides presentaron un hábito de crecimiento arbóreo con menor separación entre ramificaciones pero mayor desarrollo aéreo, con hojas más gruesas.

El mejor resultado en términos de la producción de plántulas tetraploides de *Paulownia tomentosa*, se obtuvo con colchicina al 0.05%, por 48 h (Tang *et al.*, 2010), concentración con la cual lograron más de 100 plántulas tetraploides. Las plántulas tetraploides y diploides difieren significativamente en la forma de la hoja, los estomas fueron más grandes en plantas tetraploides que las plantas diploides, y la frecuencia de estomas se redujo con el aumento del nivel de ploidía. Los tetraploides tuvieron órganos florales más grandes que fueron fácilmente distinguibles de las plantas diploides, además mencionan que la poliploidización es una tendencia importante en la evolución de las plantas que tiene muchas ventajas sobre los diploides

(Kaensaksiri *et al.*, 2011). Con el fin de incrementar la biomasa y contenido de triterpenoides en la especie *Centella asiática*, formaron autotetraploides con el alcaloide

colchicina y encontraron una tendencia positiva tanto en la biomasa y la producción de triterpenoides en plantas tetraploides y mixoploides de *C. asiática*.

La formación de autotetraploides de *Passiflora edulis* Sims. ( $2n=2x=18$ ) mediante el uso de colchicina y oryzalin permitió lograr plantas ( $2n=2x=36$ ) más vigorosas, con estomas significativamente más grandes, y una densidad estomática significativamente menor que en los diploides (Rêgo *et al.*, 2011).

El desarrollo de líneas poliploides de arroz no tuvo muchos avances por un tiempo, debido a la baja producción de semilla. Sin embargo, el descubrimiento y utilización de materiales poliploides con meiosis estabilizada permitieron dar solución a la problemática presentada originalmente, encontrando además que la duplicación del genoma da lugar a resultados diferentes en relación a la fertilidad y viabilidad del polen, en función del cultivar de arroz y a la acumulación de hormonas endógenas y prolina libres. Ya que el polen de las líneas HN2026-4X tetraploides, mostró una alta fertilidad y viabilidad similares a la del diploide HN2026-2X, mientras que disminuyó drásticamente en el tetraploide Balilla-4X. El contenido de prolina libre se incrementó notablemente en HN2026-4X en comparación con HN2026-2X, pero se redujo para el Balilla-4X. Los efectos de la duplicación del genoma en la regulación de la acumulación de las hormonas endógenas en el polen fueron evidentes, dando lugar a la clara diferencia entre HN2026-4X y Balilla4X. En particular, la acumulación excesiva de ácido abscísico en la fase de la meiosis puede ser correlacionada con desorganización meiótica en Balilla-4X (He *et al.*, 2010).

En el género *Paspalum* los tetraploides naturales son apomícticos y no existen individuos de reproducción sexual, por lo tanto, la duplicación de cromosomas a partir de plantas  $2x$  de reproducción sexual es la manera más directa para la obtención de plantas tetraploides sexuales, las que podrían ser luego utilizadas como progenitores femeninos en cruzamientos de plantas sexuales por apomícticas. Con el uso de la colchicina Sartor *et al.* (2004) y Quarin *et al.* (2001), obtuvieron plantas autotetraploides de *Paspalum* a partir de plantas diploides.

La colchicina es un compuesto que se ha utilizado como inductor de poliploidía en *Aloe vera*, y constituye una vía rápida para lograr la obtención de plantas con mayor variabilidad genética, necesaria para iniciar programas de selección. Los primeros en

aplicar colchicina en sábila con el objeto de inducir poliploidía fueron Imery y Cequea (2001), logrando plantas autotetraploides con un cariotipo constante de  $2n = 4x = 28$ .

#### 4.13 Características de Cultivos Triploides

##### 4.13.1 ¿Que es un cultivo triploide?

Un triploide es un individuo que posee tres juegos de cromosomas en las células somáticas, siendo diploide la condición normal para la mayoría de las especies, con dos juegos de cromosomas en cada célula somática.

Un método utilizado con éxito, es la producción de triploides artificiales, cruzando organismos tetraploides con diploides sin embrago, para aplicar este método es necesario desarrollar organismos tetraploides, como en la remolacha azucarera, sandía, mandarina, menta y especies ornamentales. También existen triploides naturales como el banano (que tiene razas, ecotipos y variedades diploides y aloploidos), el té, la morera, el crisantemo y algunas variedades de manzano y de rosa (Cubero, 2003).

##### 4.13.2 Ejemplos o aplicaciones de la generación de híbridos triploides

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).

En sandia se ha encontrado que con el uso del método de la gota con una emulsión que comprende 0.2% colchicina, ácido esteárico, morfolina y lanolina en la fase de cotiledones se obtuvo el mayor porcentaje de plantas afectadas (38.59%). Aunque la fertilidad de las semillas de sandía tetraploide se redujo mucho y de los cruzamientos entre  $4x \times 2x$  variedad Farrukhabadi se obtuvo una fruta que contenía 67 semillas (Chopra y Swaminathan, 1960).

Estrada (1990) utilizó clones seleccionados en papa de la especie tetraploide  $2n=4x=48$ , *Solanum stoloniferum* Schlechdt et Beché (sto) y los cruzó con las especies diploides  $2n=2x=24$  *S. phureja* Juz. et Buk. (phu), *S. brevidens* Phil. (bre) y *S. chacoense* Bitt (che), obteniendo híbridos F1 triploides,  $2n=3x=36$ , de alto vigor y que producían considerable cantidad de polen, pero con baja fertilidad. Sin embargo, el escaso polen viable que producía este triploide resultó ser muy funcional al emplearlo en cruzamientos con clones tetraploides de *S. tuberosum* spp. *tuberosum* (tbr) y *S. tuberosum* spp. *andigena* (adg),  $2n=4x=48$ , obteniendo híbridos de retrocruzamientos (BC1) que poseían muy buenas características como alto rendimiento, buen tipo de tubérculos, resistencia a *Phytophthora infestans*, a PVY y PLRV, probablemente por la incorporación de los genes valiosos de las especies silvestres utilizadas.

La hibridación artificial para crear triploides es un método de producción de cultivares de cítricos sin semilla, que se utiliza en los programas de mejoramiento de la mandarina. Donde, los gametos o células sexuales de los genotipos triploides son estériles debido al corte distorsionado de los cromosomas. Los híbridos triploides pueden producirse del cruce entre la madre tetraploide y el padre diploide. Sin embargo, este tipo de cruzamiento produce sólo unos pocos híbridos y muchos semilleros nucelares, debido al alto nivel poliembriónico de la madre tetraploide. Si por el contrario se utilizan los genotipos diploides zigóticos como madre y los genotipos tetraploides como padres, se producen varias semillas inmaduras como resultado. Los embriones inmaduros que se puedan rescatar e incubar *in vitro* generan híbridos triploides que producen frutos sin semilla. Recientemente en Italia el *Istituto Sperimentale per l'Agrumicoltura de Acireale* (ISA), introdujo "Tacle", un triploide interesante de clementina x híbrido de Tarocco, y en Israel el híbrido triploide espontáneo de "Winola" fue seleccionado de una población de híbridos diploides entre la mandarina "Wilking" y el *tangelo* "Minneola" (Nicotra, 2001). Trabajos realizados por Cameron y Burnett, (1978); Esen *et al.*, (1978); Navarro *et al.*, (2002) han demostrado que hibridaciones  $4x \times 2x$  en cítricos es más eficiente para producir híbridos triploides que hibridaciones  $2x \times 2x$  y  $2x \times 4x$ . La relación 3:5 entre embrión y endospermo obtenida con hibridaciones  $4x \times 2x$  es más apropiado para el desarrollo de semillas que la relación 3:4 de

hibridaciones  $2x \times 4x$ , debido a un fallo del endospermo y más tarde aborto del embrión.

El método más eficaz para la obtención de híbridos triploides en mandarina es polinizar variedades tetraploides no apomícticas con el polen de las variedades diploides. Estas líneas tetraploides no apomícticas no se encuentran en el germoplasma de cítricos por lo que Aleza *et al.* (2009a) obtuvieron plantas tetraploides del cv. Clemenules, aplicando tratamientos de colchicina y Oryzalin. Estas plantas tetraploides estables se han utilizado en hibridaciones  $4x \times 2x$ , para recuperar más de 3,250 híbridos triploides en 3 años.

La mayoría de los cítricos cultivados son diploides ( $2n=2x= 18$ ) aunque ocasionalmente se pueden encontrar aneuploidías y euploidías en las plantas de semilla. Las variaciones de euploidía más comunes en cítricos son las plantas triploides y tetraploides (Lee, 1988). La triploidía en plantas lleva asociado generalmente esterilidad, lo que produce un aumento del interés de los mejoradores de cítricos por llevar a cabo estrategias que permitan el desarrollo de variedades triploides sin semillas ya que, como en cítricos la partenocarpia es un fenómeno común, la formación de semillas no es necesaria para la obtención de altas producciones (Ollitrault *et al.*, 2008).

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).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

Diferentes actividades planteadas en la presente investigación, fueron llevadas a cabo en las siguientes tres etapas:

### 5.1 Caracterización de Poblaciones Tetraploides y Diploides.

#### 5.1.1 Material biológico

Poblaciones autotetraploides de medios hermanos de *Physalis ixocarpa*, desarrolladas, mediante la utilización de colchicina y proporcionadas por el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con claves que se asignaron al azar y poblaciones diploides mejoradas, criollos y un silvestre (ver Tablas II y III).

Tabla II  
Poblaciones autotetraploides

<b>Clave</b>	<b>Población</b>	<b>Clave</b>	<b>Población</b>
2	UAN-II-113	10	UAN-III-15
4	UAN-II-101	11	UAN-III-7
5	UAN-III-16	12	UAN-II-28
6	UAN-II-20	14	UAN-II-34
7	UAN-III-74	15	UAN-II-26
8	UAN-II-36	16	UAN-II-107
9	UAN-II-115	17	UAN-II-35
		20	UAN-II-16

Tabla III  
Poblaciones diploides

Clave	Población	Origen
1	Criollo Felipe Ángeles	Acatzingo, Puebla
3	Silvestre	General Cepeda Coahuila
13	Gran Esmeralda,	Empresa Harris Moran
18	Morado Tamazula,	Arandas, Jalisco
19	Rendidora,	Zacatepec, Morelos
21	Criollo Palmarito,	Quecholac, Puebla

#### 5.1.2 Localidades de evaluación agronómica

La evaluación de los materiales citados se realizó en el 2009, 2010 y 2011 en General Cepeda, Coahuila (1480 msnm; 25° 23' 02'' LN; 101° 27' 10'' LO) y en el campo agrícola experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila (1742 msnm; 25° 22' LN; 101° 00' LO), y en los laboratorios de los Departamentos de Fitomejoramiento y Horticultura de la misma Universidad.

#### 5.1.3 Análisis de poliploidia por la técnica del proceso enzimático en mitosis

Análisis Mitótico, para realizar éste trabajo se utilizó la técnica del proceso enzimático, estandarizada para tomate de cáscara (Jewell y Islam, 1994). Para esto se pusieron a germinar 20 semillas en cajas petri. Las células con cromosomas en metafase se obtuvieron de puntas de raíces de semillas cortadas entre 9 y 9:30 a.m., hora en donde estos materiales tuvieron un mayor índice mitótico, después se pretrataron con colchicina 0.25% en solución con dimetilsulfoxido al 2% durante 2 horas a temperatura ambiente; se lavaron con agua corriente, posteriormente fueron fijadas en solución farmer por 24 horas a 3°C y se lavaron con agua destilada tres veces con intervalos de 30 minutos. En seguida los meristemas se pasaron a HCl 1N por 20 minutos a 60°C, y a hidrólisis enzimática (celulosa y pectoliasa) en baño maría a 37 °C durante 60 minutos, se enjuagaron y se dejaron en agua destilada. Para su observación los meristemas se dispersaron con una aguja curva sobre un portaobjetos y se enjuagaron con fijador farmer. Para su estudio al microscopio se colocó una gota de carmín y un cubreobjetos,



los conteos cromosómicos fueron en 25 células por material, para el análisis se utilizó un microscopio compuesto Carl Zeiss con cámara digital Pixera Winder pro.

#### 5.1.4. Establecimiento de poblaciones diploides y tetraploides en campo

La semilla de las 20 poblaciones se sembró en charolas de poliestireno de 200 cavidades, depositando de dos a tres semillas por cavidad, utilizando como sustrato turba y perlita en una proporción de 1:1. Las plántulas se desarrollaron en invernadero y cuando alcanzaron de 10 a 12 cm de altura y dos pares de hojas verdaderas, fueron llevadas a campo para su trasplante. El terreno fue barbechado y rastreado con un tractor y las camas de siembra fueron preparadas con una bordeadora, posteriormente fue instalada la cinta de riego y el acolchado plástico. El polietileno utilizado presenta perforaciones cada 30 cm, a dos hileras con una separación de 30 cm. Las plántulas fueron trasplantadas en campo en Mayo del 2009, en General Cepeda, Coahuila, en surcos de 5 m de largo y 1.80 m de ancho y con una separación de 60 cm entre plantas y dos hileras por surco. Diez días después del trasplante se realizó un aclareo, dejando solamente una plántula por punto, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, la parcela útil fueron 10 plantas (Figura 2).



**Figura 2.** Establecimiento en campo de tomate de cáscara tetraploides y diploides en General Cepeda, Coahuila.

#### 5.1.5 Manejo del cultivo en campo

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, la nutrición se aplicó vía riego tres veces por semana, en las primeras 9 semanas se aplico

una solución compuesta por; N (2.4), P (1.44), K (1.47), Ca (0.39) y Mg (0.37 kg ha<sup>-1</sup>). Apartir de la semana 10 se modificó 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.

A lo largo del ciclo del cultivo, se presentaron problemas con diabrotica (*Diabrotica spp.*), para su control fue necesaria la aplicación de hexacloro-hexahidro-6,9- metano-2,4,3-benzodioxatien-3-óxido (Endosulfan, 1.5 ml L<sup>-1</sup> de agua) y S-Metil-N-((metilcarbamoil)oxi) tioacetimidato (Metomilo, 0.7 gr L<sup>-1</sup> de agua), fueron necesarias dos aplicaciones alternadas de cada uno, con una diferencia de una semana entre aplicaciones.

#### 5.1.6 Análisis de viabilidad y tamaño de polen

Las 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 deposito 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 viables e inviables 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 (µm) 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 Pixera Winder Pro y un software de medición AxionVision versión 4.8. Los resultados de viabilidad se expresaron en porcentaje de polen teñido, debido a que los no teñidos se consideraron inviables.

### 5.1.7 Densidad, índice y tamaño de estomas

Para el estudio de estomas, se evaluaron las siguientes variables; densidad estomática abaxial (DEE), índice estomático abaxial (IEE), longitud y ancho de estomas abaxiales (LEE y AEE), densidad estomática adaxial (DEH), índice estomático adaxial (IEH), longitud y ancho de estomas adaxiales (LEH y AEH). Estas determinaciones fueron con el objetivo de conocer el impacto que tiene la autoploidia sobre la densidad de estomas por área y tamaño de estomas, además de que puede ser un indicativo del nivel de ploidía que nos ayuda a diferenciar las plantas diploides de las tetraploides. Las muestras se tomaron a los 34 días después del trasplante, se utilizaron 3 plantas por población en cada una de las cuatro repeticiones, de las que se tomaron dos hojas maduras, totalmente expandidas de la primera rama y con la misma orientación, de éstas se tomó una impresión epidérmica del haz (adaxial) y otra del envés (abaxial) de la parte media de cada hoja, utilizando poliestireno-xilol en forma líquida, el cual se aplicó sobre la superficie foliar con un pincel. Después de que se secó la película, esta fue removida con un trozo de cinta adhesiva transparente, la cual se montó sobre un portaobjetos. En cada impresión se observaron al azar tres campos microscópicos a 40X, tomando 72 observaciones por población, de la parte adaxial y 72 de la abaxial, de cada observación se tomó una microfotografía, en las que se contaron el número de estomas y de células epidérmicas, además se midió el ancho y largo ( $\mu\text{m}$ ) de dos estomas en cada una de las observaciones, de manera que se midieron 144 estomas de la parte adaxial y 144 de la abaxial por cada población, de acuerdo con la técnica utilizada por Wilkinson, (1979).

La densidad estomática o estomas por  $\text{mm}^2$  se obtuvieron de la siguiente forma:

$$DE = \frac{\text{Número de estomas}}{0.02479 \text{ mm}^2 (\text{área de la fotografía})}$$

Para estimar el índice estomático se utilizó un microscopio Carl Zeiss con cámara digital Pixera Winder Pro y un software de medición AxionVision Rel. 4.8. El índice estomático es el número de estomas en relación al total de células epidérmicas, y para su estimación se utilizó la siguiente fórmula:

$$IE = \frac{\text{Número de estomas}}{\text{Células epidérmicas que rodean los estomas} + \text{Número de estomas}} \times 100$$

### 5.1.8 Caracterización morfológica

A los 60 días después del trasplante, se evaluaron las siguientes variables morfológicas en diploides y tetraploides: ancho de hoja (AH) y largo de hoja (LH), diámetro de tallo en cm (DT), diámetro de flores en cm (DF), altura de planta en cm (AP), estas variables se midieron de 3 plantas tomadas al azar de cada tratamiento en cada una de las cuatro repeticiones, dando un total 12 plantas de cada población. Las mediciones fueron con un vernier digital de precisión marca AutoTEC<sup>®</sup>, la altura de planta fue medida mediante una cinta métrica en cm. Estas variables se evaluaron con la finalidad de caracterizar a las poblaciones tetraploides e identificar cambios morfológicos inducidos por la poliploidización en plantas de tomate de cáscara.

### 5.1.9 Componentes del rendimiento de fruto en tetraploides y diploides

Para la evaluación de los componentes del rendimiento en las cinco diploides y las 15 poblaciones tetraploides, se estimaron las siguientes variables, con el objetivo de identificar como afecta la poliploidización el rendimiento y sus componentes en tomate de cáscara:

#### a) Rendimiento total de fruto (RTF)

Se determinó al momento de cosecha pesando con una balanza digital, todos los frutos producidos por planta, estimado de una muestra aleatoria de 10 plantas en cada una de las cuatro repeticiones, considerando la suma de cinco cortes con intervalos de 8 días, se obtuvo el rendimiento total en Kg/planta.

#### b) Número total de frutos por planta de cinco cortes (NTF)

Después de pesar los frutos se contaba el número de frutos que se cosecharon por planta, de las mismas 10 plantas en cada una de las cuatro repeticiones, terminada la cosecha se estimó el promedio de frutos totales por planta, considerando los cinco cortes.

#### c) 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.

#### d) Diámetro polar de fruto (DPF) y Diámetro ecuatorial de fruto (DEF)

Para estas variables se tomaron tres frutos al azar de cada una de las 10 plantas, en cada una de las cuatro 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 (AutoTEC<sup>TM</sup>), para esta variable solo se tomo segundo, tercero y cuarto corte.

#### 5.1.10 Calidad de fruto en tetraploides y diploides

##### a) Sólidos solubles totales (SST)

Para medir esta variable se utilizó un refractómetro Atago N-1E<sup>®</sup> y expresada en (°Brix), se tomaron tres frutos al azar de cada una de la cinco plantas, de cada tratamiento y en cada una de las cinco repeticiones. El procedimiento fue el siguiente; se cortó el fruto a la mitad y se colocaron varias gotas sobre la superficie del prisma, se cerró la cubierta del prisma y se apuntó el refractómetro hacia una fuente de luz, se observa un campo circular a través de una mirilla que tiene una escala vertical, con el líquido en el prisma, el campo se divide en dos porciones: clara y oscura. El punto, en el cual la línea de marcación entre estas dos porciones cruza la escala vertical, da la lectura de °Brix o el porcentaje (%) estimado de SST. Los azúcares representan el principal componente de los sólidos solubles y estos son una importante característica de la calidad de poscosecha en la selección de híbridos.

##### b) Firmeza de fruto (FIR)

Se determinó firmeza de fruto con un penetrómetro con soporte marca (Frut Pressure Tester) equipado con un manómetro de fuerza de 0 a 13 Kg FT-327, y puntilla de 8 mm de diámetro, para esto se retiró la cutícula de cada fruto en dos puntos opuestos de la parte del ecuador del fruto, se introdujo la puntilla de un solo impulso para medir la fuerza necesaria para penetrar 1 cm del tejido de la pulpa del fruto de tomate, se tomaron dos lecturas por fruto y se reportaron en (Kg/cm<sup>2</sup>). La estimación de la firmeza es importante en la evaluación de la susceptibilidad de la fruta a daños físicos o mecánicos o manejo de poscosecha.

$$\text{Área de la puntilla} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{(3.1416)(0.8\text{cm})^2}{4} = 0.502656 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área de 1 cm} = \frac{(1 \text{ cm})(0.502656 \text{ cm}^2)}{0.8 \text{ cm}} = 0.62832 \text{ cm}^2$$

$$\text{Firmeza de fruto en Kg/cm}^2 = \frac{(\text{ACM})(\text{LP})}{(\text{AP})}$$

Donde:

ACM= Área de 1cm

LP= Lectura del Penetrómetro directo

AP= Área de la puntilla

#### c) Determinación de pH de fruto

Se utilizó un potenciómetro digital Corning® modelo 320, estimado en jugo concentrado de frutos frescos, para esto se cortó el fruto completo y se colocó en un mezclador de cocina, se trituro por 2 min, en seguida se introdujo el electrodo del medidor de pH en concentrado del jugo, después de unos minutos que se estabilizó el potenciómetro y se realizó la lectura. La estimación de acidez en poscosecha es importante ya que contribuyen grandemente a la calidad de poscosecha de la fruta y evaluación del sabor de la fruta.

#### d) Determinación del contenido de vitamina C

La vitamina C se determinó de acuerdo a la metodología oficial de la AOAC (2000), método de titulación con 2,6 Dicloroindofenol -reactivo de Tihelmann-.

- 1.- Se pesaron 20 g de muestra de frutos de cada población de tomate de cáscara.
- 2.- Se le agregaron 10 ml de ácido clorhídrico al 2%, la mezcla se homogenizó por 15 min.
- 3.- A la muestra homogenizada se le agregaron 100 ml de agua destilada y se mezcló bien.
- 4.- El contenido se filtro a través de tela de gasa, el filtrado se recibió en una probeta y se anotó el volumen total.
- 5.- Se colocaron 10 ml de este filtrado en un matraz Erlenmeyer.

4.- En una bureta se puso una cantidad conocida de reactivo de Thielmann, se procedió a titular hasta obtener la coloración rosa permanente, registrando la cantidad de reactivo gastado.

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$X = \frac{A(0.088)(100)(100)}{(V)(C)}$$

Donde:

X= contenido de vitamina C en mg /100 g de muestra,

0.088= miligramos de ácido ascórbico equivalente a 1 ml de reactivo Thielman,

A= ml del reactivo de Thielman gastados en la valoración del filtrado,

V= volumen en ml de la alícuota valorada,

100= volumen en ml del filtrado de vitamina C en HCl,

C= peso de la muestra,

100= valor dado para la determinación del contenido de vitamina C para 100 g de fruto (%).

Todas las variables de calidad de fruto fueron tomadas en tres frutos por planta de tres plantas tomadas al azar de cada población y por repetición, del segundo, tercero y cuarto corte, que se efectuaron a los 84, 93 y 100 días después del trasplante, y se evaluaron con el objetivo de identificar como afecta la poliploidización la calidad de fruto en tomate de cáscara.

#### 5.1.11 Diseño experimental y análisis estadístico

En las tres fases del trabajo se utilizó el diseño de bloques completos al azar, en la primera y segunda con cuatro repeticiones y en la tercera con cinco repeticiones. En las tres etapas la significancia para rendimiento de fruto, número y peso de fruto, diámetro ecuatorial y polar de fruto, sólidos solubles totales, firmeza de fruto, pH, y vitamina C, considerados en función del nivel de plodía, se verificaron mediante la aplicación del modelo para el análisis de varianza simple, donde el factor de variación en la primera y segunda etapa fueron poblaciones autotetraploides y diploides de tomate de cáscara, en

la tercera fueron híbridos triploides, tetraploides y diploides. Los valores promedios se compararon mediante las pruebas de comparaciones múltiples de Tukey al nivel de significancia de ( $P \leq 0.05$ ) de acuerdo con Zar, (2010). En la segunda etapa se incluyó un análisis de varianza múltiple dado que se evaluaron resultados de componentes de rendimiento y calidad de fruto de dos ambientes o localidades, las relaciones causales entre los niveles de plodía en función de los parámetros analizados se verificaron mediante la utilización de modelos de contrastes ortogonales y correlación simple. Para ello se utilizó el programa estadístico de SAS (2008) versión 9.2.

## 5.2 Formación de Híbridos Triploides.

### 5.2.1 Análisis de citometría de flujo

El análisis de citometría de flujo se realizó en el Laboratorio Nacional de Genómica para la biodiversidad (Langebio) en el Cinvestav de Irapuato, Guanajuato.

El material vegetal utilizado fueron los tetraploides (2,5,11,16 y 20) seleccionados en base a rendimiento y calidad de fruto, evaluados en la primera etapa y 2 diploides como control para el análisis de citometría de flujo (Población 19 variedad Rendidora y población 18 morado tamazula de Arandas, Jalisco).

Se sembraron 100 semillas por población en charolas de poliestireno, usando como sustrato turba canadiense y 30 días después de la siembra se seleccionaron 5 plántulas de cada población tetraploide y diploides, de las que se utilizaron de 2 a 3 hojas de cada plántula para el análisis de citometría de flujo, de acuerdo al siguiente protocolo. De 1 a 2 hoja pequeñas de plántulas de tomate de cáscara se trozaron finamente, con una navaja, en una caja Petri de 50 mm de diámetro, con 400  $\mu$ l de Buffer de extracción de núcleos, en el que se dejó incubar el tejido por 1 minuto. Una vez disgregado el tejido, se le añadieron 800  $\mu$ l de una solución Buffer de tinción con 1 mg/l de fluorocromo DAPI (4,6-diamino-2-phenylindole), (DAPI staining solution, Partec) que tiñe el ADN. Tras resuspender la mezcla, se filtró a través de una malla de nylon de 50  $\mu$ m. La suspensión de núcleos se hizo circular por el circuito de microtubos de un citómetro de flujo (Partec CyStain UV precise P-05-5002) equipado con una lámpara de mercurio que emite luz



ultravioleta de 420 nm de longitud de onda, en respuesta, el fluorocromo DAPI fijado al ADN emite una fluorescencia proporcional a la cantidad de ADN en el núcleo, que es reconocida y captada por un fotoreceptor. El gráfico resultante ordena los datos según el contenido nuclear de ADN en el eje de abscisas, y contabiliza el número de núcleos de cada tipo en el eje de ordenadas. El sistema se calibra previamente situando el pico correspondiente a un contenido de ADN igual a 2C (diploide) sobre el valor 100 de la escala de abscisas. El patrón de ploidía en tomate de cáscara se determinó según el área relativa (en porcentaje) de los picos correspondientes a las distintas poblaciones celulares (2C, 4C, etc.).

## 5.2.2 Evaluación en campo de los materiales tetraploides y diploides seleccionados como progenitores, en dos ambientes

### 5.2.2.1 Material genético y localidades.

Cuatro poblaciones diploides de *Physalis ixocarpa* (1, 13, 18 y 19) y cinco poblaciones autotetraploides (2, 5, 11, 16 y 20) seleccionadas de la primera fase para utilizarse como progenitores en los cruzamientos de diploides por tetraploides. La evaluación agronómica de los materiales citados se realizó en el 2010 en dos ambientes, en el Municipio de General Cepeda, Coahuila y en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila.

### 5.2.2.2 Componentes de rendimiento y calidad de fruto de tetraploides y diploides, evaluados en dos localidades.

Los componentes del rendimiento y calidad de frutos fueron evaluados bajo la aplicación de la misma metodología utilizada en la etapa uno, registrando las siguientes determinaciones:

- a) Rendimiento total de fruto (RTF),
- b) Número total de frutos por planta de cinco cortes (NTF),
- c) Peso promedio de fruto (PPF),
- d) Diámetro polar de fruto (DPF) y diámetro ecuatorial de fruto (DEF),
- e) Sólidos solubles totales (SST),
- f) Firmeza de fruto (FIR),

- g) pH de fruto,
- h) Vitamina C.

### 5.2.3 Procesos y mecanismos de los cruzamientos

#### 5.2.3.1 Establecimiento de plántulas en macetas.

Cinco mejores tetraploides (2, 5, 11, 16 y 20) fueron seleccionados en base a rendimiento y calidad de fruto, evaluados en la primera etapa y 5 diploides (1, 13, 18, 19 y 21), en esta etapa se agrego el criollo 21 de la región Palmario, Puebla. 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 12 cm de altura y dos pares de hojas verdaderas, fueron trasplantadas. 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 cruzas 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 alogama obligada (Figura 3).

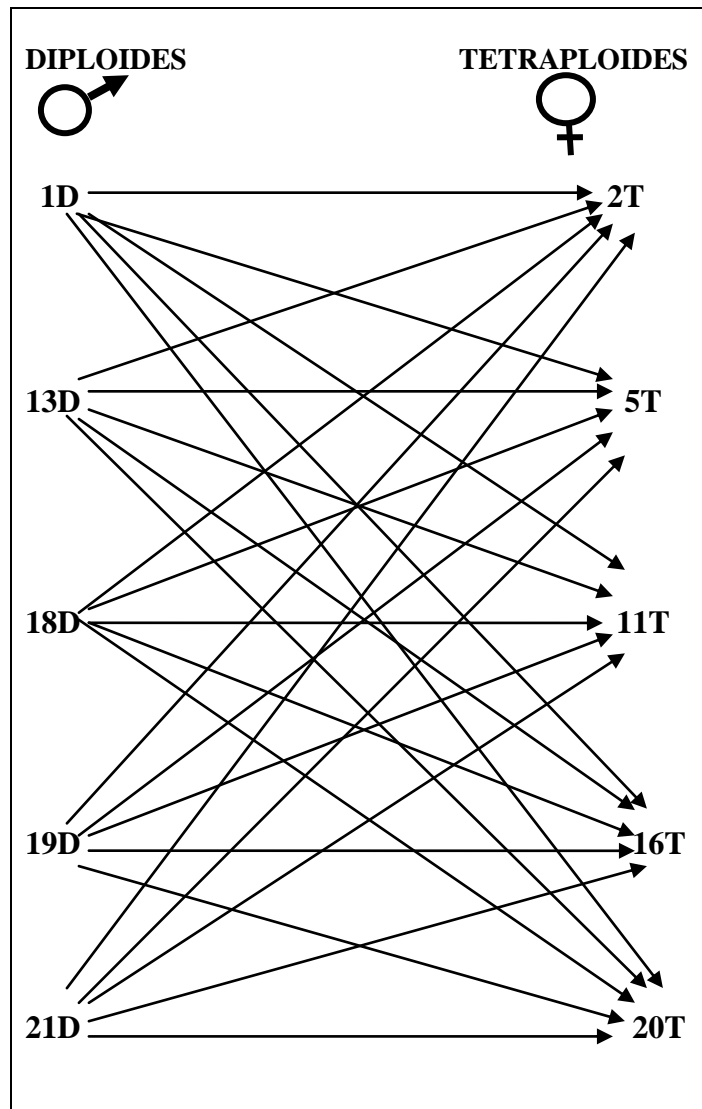


**Figura 3.** Plantas en pares diploide y tetraploide cubiertas con velo.

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 4). 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 5).



**Figura 4.** Cruzamientos de plantas diploide utilizadas como machos, por tetraploide utilizadas como hembras en tomate de cáscara *Physalis ixocarpa* Brot.



**Figura 5.** Metodología de los cruzamientos de acuerdo al diseño II de Carolina del Norte.

### 5.2.3.2 Establecimiento de plantas en invernadero.

Se trasplantaron 50 plántulas 5 por genotipo en invernadero, en suelo con acolchado y fertiriego, 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 y se cubrió con una bolsa de papel que se quitaba cuando el fruto estaba amarrado. Igual que en macetas se polinizaron de 5 a 10 flores por planta diariamente, hasta el término de la floración.

#### 5.2.4 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.

#### 5.2.5 Prueba de viabilidad de polen de progenitores diploides y tetraploides

Antes de realizar los cruzamientos se repitió la prueba de viabilidad de polen y 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, se utilizó la misma metodología descrita en la primera fase. Todas las observaciones se hicieron con el objetivo 40X en un microscopio Carl Zeiss con cámara digital Pixera Winder Pro y el software de medición Axio Vision Rel. 4.8. Con los datos obtenidos se obtuvieron valores medios, se realizó un análisis de varianza y comparación de medias, mediante la prueba de Tukey.

#### 5.2.6 Obtención de semilla de frutos de los cruzamientos

Dado que las cruza 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 autocompatibilidad. 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.

### 5.3 Evaluación de Híbridos Triploides y sus Progenitores.

#### 5.3.1 Establecimiento de los híbridos triploides, para su evaluación agronómica

El experimento se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano del 2011 en el Campo Agrícola Experimental ubicado en General Cepeda, Coahuila México, se utilizó semillas provenientes de progenitores tetraploides y diploides y semilla de diez cruas obtenidas. La siembra y desarrollo de plántulas hasta el trasplante se efectuó de la misma forma que en etapas anteriores.

#### 5.3.2 Cosecha de fruto

El manejo del cultivo se realizó de la misma forma que en las etapas anteriores. 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.

#### 5.3.3 Identificación de híbridos triploides por análisis meiótico

Para el análisis meiótico se utilizaron 15 plantas de cada una de las cruas. 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 sobrecoloreados 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 Pixera Winder 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.

#### 5.3.4 Evaluación de los componentes de rendimiento y calidad de fruto en 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, se utilizó la misma metodología que en las etapas anteriores.

- a) Rendimiento total de fruto (RTF),
- b) Número total de frutos por planta de cinco cortes (NTF),
- c) Peso promedio de fruto (PPF),
- d) Diámetro polar de fruto (DPF) y diámetro ecuatorial de fruto (DEF),
- e) Sólidos solubles totales (SST),
- f) Firmeza de fruto (FIR),
- g) pH de fruto.

#### 5.3.5 Determinación de heterosis y heterobeltiosis en híbridos triploides.

Se estimó la heterosis promedio para, rendimiento total de fruto (RTF), número total de frutos por planta de cinco cortes (NTF), peso promedio de fruto (PPF), diámetro polar de fruto (DPF), diámetro ecuatorial de fruto (DEF), sólidos solubles totales (SST), firmeza de fruto (FIR) y pH de fruto, utilizando los promedios de cada craza (MH) y los promedios de los progenitores que intervinieron en el cruzamiento (MP1 y MP2). La heterobeltiosis, con base en el promedio del progenitor de mejor comportamiento (MP), se calculó para los 10 híbridos triploides en cada carácter.



Para la estimación de la heterosis (H) y Heterobeltiosis (HB), de las características de rendimiento y calidad de fruto bajo estudio se utilizaron las siguientes formulas;

$$\text{Heterosis} = \frac{\text{MH} - (\text{MP1} + \text{MP2})/2}{(\text{MP1} + \text{MP2})/2} \times 100$$

Donde:

MH= Promedio de un híbrido,

MP1= Promedio del progenitor 1,

MP2= Promedio del progenitor 2.

$$\text{Heterobeltiosis} = \frac{\text{MH} - \text{MP}}{\text{MP}} \times 100$$

Donde:

MP= Promedio del mejor progenitor

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Caracterización de Poblaciones Tetraploides y Diploides

#### 6.1.1 Análisis mitótico de tetraploides y diploides

De acuerdo a la determinación del nivel de ploidía, por medio del análisis de células en división mitótica, se confirmó que las siguientes poblaciones de tomate de cáscara, presentaron un número cromosómico diploide en células somáticas de  $2N=2X=24$ , ver Tabla IV

Tabla IV  
Poblaciones diploides de *Pysalis ixocarpa* y su nivel de ploidía, determinado por mitosis

Clave	Población	Nivel de ploidía
1	Criollo Felipe Ángeles, Acatzingo, Puebla	$2N=2X=24$
3	Silvestre, General Cepeda Coahuila	$2N=2X=24$
13	Gran Esmeralda, Empresa Harris Moran	$2N=2X=24$
18	Morado Tamazula, Arandas, Jalisco	$2N=2X=24$
19	Rendidora, Zacatepec, Morelos	$2N=2X=24$
21	Criollo Palmarito, Quecholac, Puebla	$2N=2X=24$

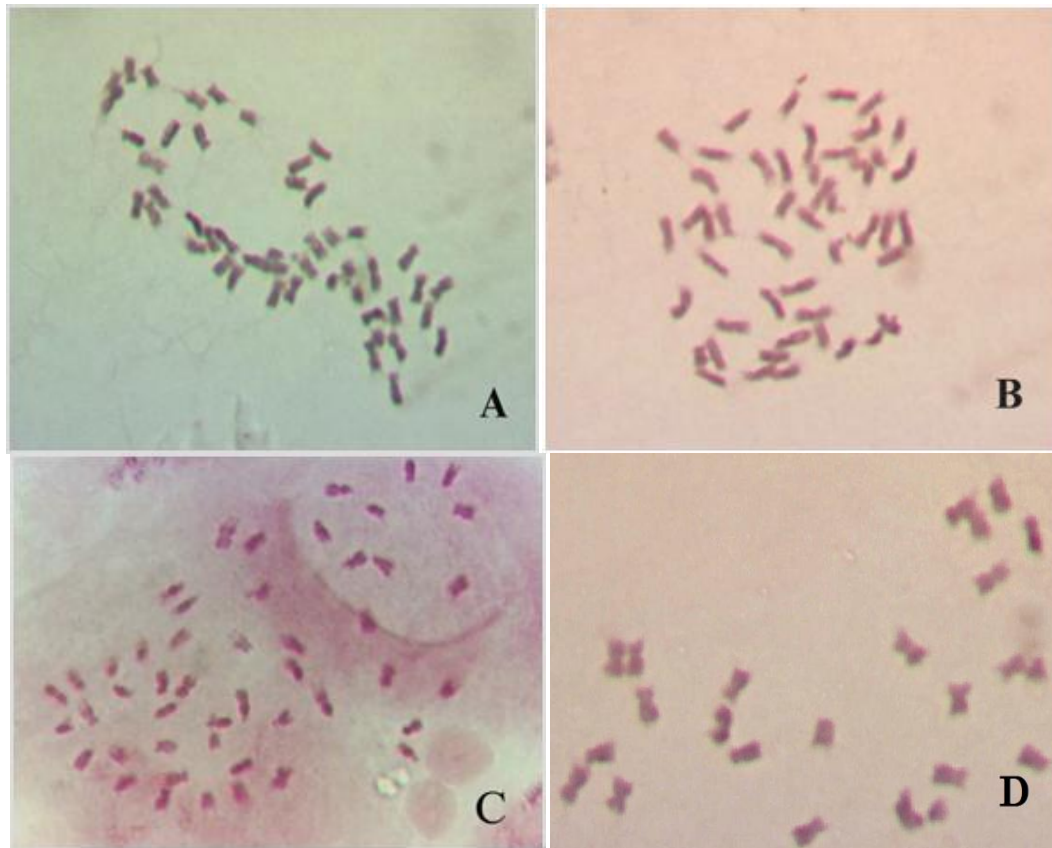
Sin embargo, el análisis cromosómico de células de puntas de raíz en mitosis, de las poblaciones seleccionadas como autotetraploides (formados por acción de la colchicina) indican que éstas presentan un número somático de  $2N=4X=48$  (Figura 6), de acuerdo a los conteos de células en metafase de la mitosis, ratificando que la duplicación cromosómica con colchicina en tomate de cáscara realmente fue efectiva y además se

pudo comprobar estabilidad cromosómica, debido a que el número cromosómico tetraploide se mantuvo (Tabla V).

Tabla V

Poblaciones autotetraploides y número cromosómico en *Physalis ixocarpa*, determinado por mitosis

Clave	Población	Nivel de ploidía	Clave	Población	Nivel de ploidía
2	UAN-II-113	2N=4X=48	10	UAN-III-15	2N=4X=48
4	UAN-II-101	2N=4X=48	11	UAN-III-7	2N=4X=48
5	UAN-III-16	2N=4X=48	12	UAN-II-28	2N=4X=48
6	UAN-II-20	2N=4X=48	14	UAN-II-34	2N=4X=48
7	UAN-III-74	2N=4X=48	15	UAN-II-26	2N=4X=48
8	UAN-II-36	2N=4X=48	16	UAN-II-107	2N=4X=48
9	UAN-II-115	2N=4X=48	17	UAN-II-35	2N=4X=48
			20	UAN-II-16	2N=4X=48



**Figura 6.** Cromosomas en mitosis, de autotetraploides (A, B, C)  $2n=4x=48$  y (D) diploide  $2n=2x=24$ , 100X

### 6.1.2 Análisis de viabilidad y tamaño de polen, de tetraploides y diploides

Los diploides presentaron en promedio 89.49% de viabilidad de polen mientras que los tetraploides fue de 61.48%, en lo que se refiere a diámetro de polen los diploides tuvieron en promedio 23.86 $\mu$ m y los tetraploides 27.91  $\mu$ m. El análisis de varianza, a exhibió diferencias altamente significativas ( $F = 4.27$ ,  $P < 0.01$ ) para viabilidad de polen y diámetro de polen ( $F = 2.38$ ,  $P = 0.006$ ) entre poblaciones (Tabla VI), indicando que el tamaño y la viabilidad de polen están influenciados por el nivel de ploidia.

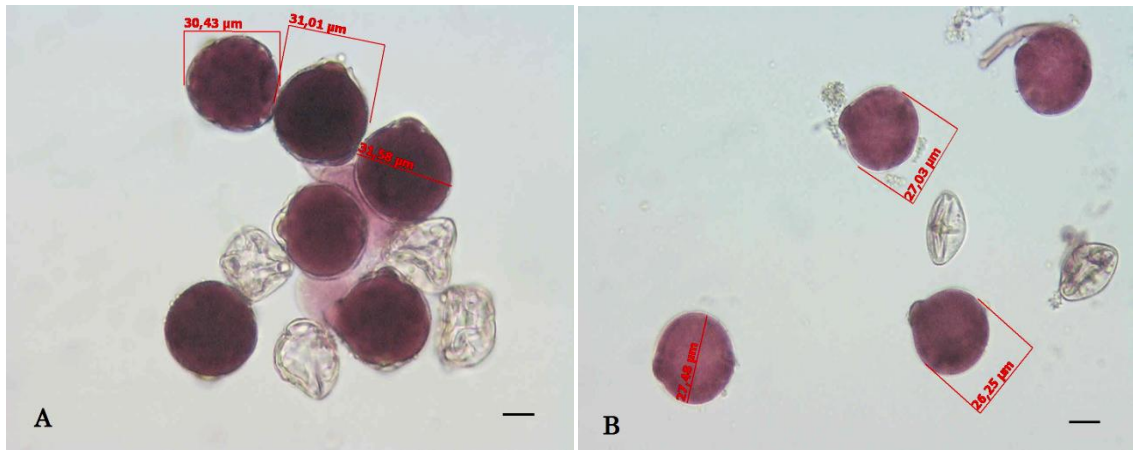
Tabla VI  
Cuadrados medios y valores de F, obtenidos del análisis de varianza de viabilidad y diámetro de polen de poblaciones diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa*.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados medios y valores de F			
		Viabilidad de polen	F	Diámetro de polen	F
Repeticiones	3	249.160	1.38ns	14.473	1.40ns
Tratamientos	19	774.012	4.27**	24.582	2.38*
Error	57	181.124		10.308	
CV (%)		19.650		11.933	

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

En los valores medios de las características estudiadas, se encontró que las poblaciones diploides presentaron de 82.52 a 95.81% de viabilidad de polen, mientras que en los tetraploides fué de 52.47 a 73.21%. Los diploides presentaron aproximadamente de 22.6 a 30.05% más viabilidad de polen que los tetraploides (Tabla VII).

La comparación de medias muestra que en viabilidad de polen no existen diferencias estadísticas significativas dentro de los diploides ( $P > 0.05$ ), así mismo también se observa que los tetraploides fueron estadísticamente iguales ( $P > 0.05$ ), aunque si se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre diploides y tetraploides (Tabla VI). Por otra parte, los diploides presentaron un diámetro de polen de; 22.72 a 24.87  $\mu$ m y los tetraploides de 25.19 a 31.89  $\mu$ m (Figura 7), mostrando que los tetraploides 6 y 9 fueron estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) de los diploides 1 y 18, los demás diploides y tetraploide fueron estadísticamente iguales (Tabla VII).



**Figura 7.** Granos de polen de *Physalis ixocarpa* 40X. Los teñidos se consideraron viables, los constreñidos y sin color no viables (A) autotetraploide; (B) diploide. Barra 10  $\mu\text{m}$ .

Tabla VII  
Valores medios de viabilidad de polen y diámetro de polen en diploides y tetraploides de tomate de cáscara.

Poblaciones	Nivel de ploidía	Viabilidad de polen %	Diámetro de polen $\mu\text{m}$
1	Diploide	93.850 <sup>a*</sup>	22.725 <sup>b</sup>
3	Diploide	95.818 <sup>a</sup>	24.590 <sup>ab</sup>
13	Diploide	87.478 <sup>ab</sup>	24.350 <sup>ab</sup>
18	Diploide	87.810 <sup>ab</sup>	22.785 <sup>b</sup>
19	Diploide	82.523 <sup>ab</sup>	24.873 <sup>ab</sup>
2	Tetraploide	54.925 <sup>b</sup>	28.955 <sup>ab</sup>
4	Tetraploide	63.055 <sup>ab</sup>	28.508 <sup>ab</sup>
5	Tetraploide	56.318 <sup>b</sup>	29.110 <sup>ab</sup>
6	Tetraploide	54.250 <sup>b</sup>	31.893 <sup>a</sup>
7	Tetraploide	66.873 <sup>ab</sup>	27.013 <sup>ab</sup>
8	Tetraploide	58.023 <sup>b</sup>	27.588 <sup>ab</sup>
9	Tetraploide	52.468 <sup>b</sup>	31.688 <sup>a</sup>
10	Tetraploide	61.338 <sup>ab</sup>	26.548 <sup>ab</sup>
11	Tetraploide	56.033 <sup>b</sup>	26.315 <sup>ab</sup>
12	Tetraploide	65.703 <sup>ab</sup>	26.645 <sup>ab</sup>
14	Tetraploide	61.47 <sup>ab</sup>	26.373 <sup>ab</sup>
15	Tetraploide	57.335 <sup>b</sup>	27.355 <sup>ab</sup>
16	Tetraploide	73.210 <sup>ab</sup>	28.465 <sup>ab</sup>
17	Tetraploide	69.355 <sup>ab</sup>	25.193 <sup>ab</sup>
20	Tetraploide	71.913 <sup>ab</sup>	27.130 <sup>ab</sup>
DMS		35.35	8.43

\*Letras diferentes indican diferencias significativas a nivel ( $P \leq 0.05$ ).

DMS= Diferencia mínima significativa.

### 6.1.3 Densidad, índice y tamaño de estomas

Los promedios de la densidad estomática en los diploides fue de 354.94 estomas/mm<sup>2</sup> abaxial y 181.50 adaxial, mientras que en los tetraploide fue de 169.63 abaxial y 97.47 adaxial, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre poblaciones en DEAb con (F = 17.07, P<0.01) y en DEAd (F = 9.25, P<0.01) ver Tabla VIII. Sin embargo, el promedio del índice estomático para la poblaciones diploides fue de 37.33% abaxial y 23.43 adaxial y de las poblaciones tetraploides fue de 31.07% abaxial y 20.42 adaxial, para esta variable, solo hubo diferencias significativas (F = 2.97, P = 0.0008) entre poblaciones en IEAb, en lo que respecta al IEAd no se encontraron diferencias significativas (F = 1.33, P = 0.2016) entre poblaciones.

Tabla VIII  
Cuadrados medios y valores de F, obtenidos del análisis de varianza aplicado a densidad e índice estomáticas de poblaciones diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa*

Cuadrados medios y valores de F									
FV	GL	DEAb	F	DEAd	F	IEAb	F	IEAd	F
Rep	3	1960.57	1.19ns	369.81	0.56ns	28.54	1.74ns	8.40	0.52ns
Trat	19	28047.2	17.07**	6093.23	9.25**	48.81	2.97*	21.52	1.33ns
Error	57	1643.46		658.42		16.45		16.18	
CV %		18.77		21.65		12.42		18.99	

DEAb = Densidad estomática Abaxial; IEAb = Índice estomático Abaxial; DEAd = Densidad estomática Adaxial; IEAd = Índice estomático Adaxial. CV= Coeficiente de variación, ns = no significativo (P>0.05), \* significativo (P<0.05), \*\* altamente significativo (P< 0.01).

Al analizar los valores medios de las características estudiadas (DEAb, IEAb, DEAd, IEAd), se encontró que las poblaciones diploides presentaron de 332.76 a 369.4 estomas/mm<sup>2</sup> en la superficie abaxial de la hoja, mientras que los tetraploides presentaron de 141.17 a 198.31 estomas/mm<sup>2</sup>. En la superficie adaxial de la hoja los diploides mostraron de 154.62 a 201.67 estomas/mm<sup>2</sup>, pero en los tetraploides se encontraron de 80.67 a 114.28 estomas/mm<sup>2</sup>. Los diploides presentaron aproximadamente 52% más estomas abaxiales que los tetraploides, y en la parte adaxial los diploides presentaron 45% más estomas que los tetraploides. Los diploides en la parte abaxial de la hoja presentaron un índice estomático de 35.09 a 39.09%, mientras

que en los tetraploides fue de 27.81 a 33.99%. El índice estomático adaxial en los diploides fue de 21.20 a 26.81% mientras que en los tetraploides fue de 17.18 a 23.74%, en este caso los mayores valores de densidad estomática coincidieron con los mayores valores de índice estomático (Tabla IX).

La comparación de medias, mostró que todas las poblaciones diploides fueron iguales entre ellas en DEAb ( $P>0.05$ ), pero diferentes a los tetraploides ( $P \leq 0.05$ ). De la misma forma los diploides en la DEAd adaxial, también son estadísticamente iguales ( $P>0.05$ ), pero los genotipos diploides 3 y 18 fueron iguales al tetraploide 4 y 20. En el índice estomático abaxial, todas las poblaciones fueron estadísticamente iguales, excepto el diploide 1 que fue diferente de los tetraploides 5, 12 y 17, en el índice estomático adaxial no se encontraron diferencias estadísticas entre poblaciones ( $P>0.05$ ).

Tabla IX  
Valores medios de densidad e índice estomático en superficies foliares de diploide y tetraploides de tomate de cáscara

Poblaciones y nivel de ploidía	DEAb Estomas/mm <sup>2</sup>	DEAd Estomas/mm <sup>2</sup>	IEAb %	IEAd %
1 Diploide	332.76 <sup>a*</sup>	188.23 <sup>a</sup>	39.09 <sup>a</sup>	25.01 <sup>a</sup>
3 Diploide	349.57 <sup>a</sup>	178.15 <sup>ab</sup>	35.09 <sup>ab</sup>	21.67 <sup>a</sup>
13 Diploide	369.74 <sup>a</sup>	201.67 <sup>a</sup>	37.63 <sup>ab</sup>	26.81 <sup>a</sup>
18 Diploide	366.38 <sup>a</sup>	154.62 <sup>abc</sup>	37.85 <sup>ab</sup>	21.20 <sup>a</sup>
19 Diploide	356.29 <sup>a</sup>	184.87 <sup>a</sup>	37.02 <sup>ab</sup>	22.47 <sup>a</sup>
2 Tetraploide	171.42 <sup>b</sup>	100.84 <sup>cd</sup>	31.75 <sup>ab</sup>	21.26 <sup>a</sup>
4 Tetraploide	171.42 <sup>b</sup>	110.92 <sup>bcd</sup>	33.92 <sup>ab</sup>	22.42 <sup>a</sup>
5 Tetraploide	144.53 <sup>b</sup>	84.03 <sup>d</sup>	27.81 <sup>b</sup>	18.10 <sup>a</sup>
6 Tetraploide	171.42 <sup>b</sup>	100.84 <sup>cd</sup>	31.75 <sup>ab</sup>	20.63 <sup>a</sup>
7 Tetraploide	164.70 <sup>b</sup>	100.84 <sup>cd</sup>	29.18 <sup>ab</sup>	20.86 <sup>a</sup>
8 Tetraploide	178.15 <sup>b</sup>	90.75 <sup>cd</sup>	35.03 <sup>ab</sup>	20.62 <sup>a</sup>
9 Tetraploide	178.15 <sup>b</sup>	94.12 <sup>cd</sup>	30.09 <sup>ab</sup>	17.77 <sup>a</sup>
10 Tetraploide	188.23 <sup>b</sup>	87.39 <sup>cd</sup>	33.99 <sup>ab</sup>	23.74 <sup>a</sup>
11 Tetraploide	171.42 <sup>b</sup>	90.75 <sup>cd</sup>	31.18 <sup>ab</sup>	20.39 <sup>a</sup>
12 Tetraploide	154.62 <sup>b</sup>	104.20 <sup>cd</sup>	28.35 <sup>b</sup>	22.58 <sup>a</sup>
14 Tetraploide	181.51 <sup>b</sup>	104.20 <sup>cd</sup>	33.69 <sup>ab</sup>	19.07 <sup>a</sup>
15 Tetraploide	178.15 <sup>b</sup>	80.67 <sup>d</sup>	28.89 <sup>ab</sup>	17.18 <sup>a</sup>
16 Tetraploide	151.26 <sup>b</sup>	97.48 <sup>cd</sup>	30.61 <sup>ab</sup>	20.65 <sup>a</sup>
17 Tetraploide	141.17 <sup>b</sup>	100.84 <sup>cd</sup>	28.17 <sup>b</sup>	20.61 <sup>a</sup>
20 Tetraploide	198.31 <sup>b</sup>	114.28 <sup>bcd</sup>	31.76 <sup>ab</sup>	20.54 <sup>a</sup>
DMS	106.49	67.40	10.65	10.56

DEAb= Densidad estomática Abaxial; IEAb= Índice estomático Abaxial; DEAd= Densidad estomática. Adaxial; IEAd= Índice estomático Adaxial. \*Letras diferentes indican diferencias significativas a nivel ( $P \leq 0.05$ ). DMS= Diferencia mínima significativa.

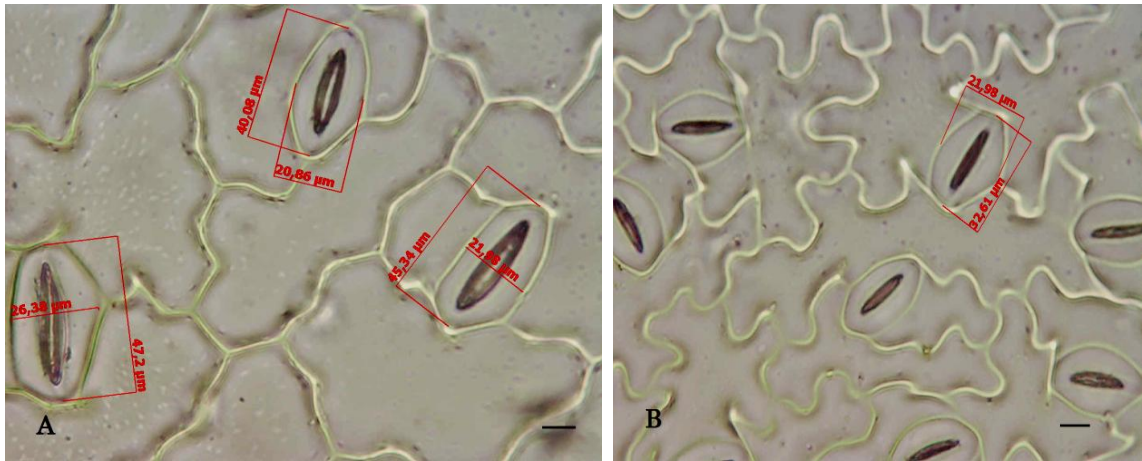
El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre poblaciones para estas variables, indicando diferencias entre población diploides y tetraploides (Tabla X). Las poblaciones diploides presentaron estomas más pequeños que los tetraploides tanto en la superficie abaxial como adaxial (Figura 8), ya que el promedio de la longitud de estomas en los diploides fue de 30.12  $\mu\text{m}$  abaxial y 29.21 adaxial, mientras que el ancho de estomas fue de 20.68  $\mu\text{m}$  abaxial y 16.92 adaxial, de igual forma los tetraploides presentaron una longitud promedio de 45.05  $\mu\text{m}$  abaxial y 45.52 adaxial, para el ancho de estomas fue de 27.89  $\mu\text{m}$  abaxial y 22.18 adaxial. Considerando lo anterior, los estomas de la superficie abaxial de los tetraploides fueron en promedio 45% más largos y 35% más anchos que los estomas de los diploides y los estomas de los tetraploides en la superficie adaxiales fueron 46% más largos y 27% más anchos que los estomas de los diploides.

Tabla X  
Cuadrados medios y valores de F de longitud y ancho de estomas de la superficie adaxial y abaxial de la hoja de poblaciones de tomate de cáscara de diploides y tetraploides

Cuadrados medios y valores de F									
FV	GL	LEAb	F	AEAb	F	LEAd	F	AEAd	F
Rep	3	28.11	2.39ns	7.04	1.62ns	18.72	0.89ns	3.52	0.58ns
Trat	19	182.28	15.51**	46.97	10.81**	154.21	7.35**	29.73	4.88n**
Error	57	11.75		4.34		20.99		6.09	
CV (%)		8.29		7.99		11.68		11.80	

LEAb= Largo de estomas Abaxiales; AEAb= Ancho de estomas Abaxiales; LEAd= Largo de Estomas Adaxiales; AEAd= Ancho de estomas Adaxiales. CV= Coeficiente de variación, ns = no significativo ( $P > 0.05$ ), \*significativo ( $p < 0.05$ ), \*\* altamente significativo ( $p < 0.01$ ).





**Figura 8.** Impresiones de la epidermis de hojas de tomate de cáscara; Distribución y tamaño de estomas, (A) autotetraploide (B) diploide, 40X. Escala 10 $\mu$ m.

La comparación de medias para el largo de estomas de la superficie abaxial muestra que los estomas de los diploides fueron más cortos y estadísticamente iguales entre sí ( $P > 0.05$ ), pero diferentes de los tetraploides ( $P < 0.05$ ). De igual forma fue el comportamiento para ancho de estomas abaxiales. Los estomas de la superficie foliar adaxial de los tetraploides fueron estadísticamente iguales ( $P \geq 0.05$ ) en longitud. El ancho de estomas del adaxial no separa claramente los diploides de los tetraploides y el diploide 13 fue estadísticamente igual que los tetraploides (Tabla XI). Los tetraploides tienen mayores tamaños que los diploides, en este sentido se ha concluido que el tamaño estomático es proporcional a nivel de ploidía.

Tabla XI  
Valores medios de largo y ancho de estomas de la superficie adaxial y abaxial  
de la hoja de tomate de cáscara diploides y tetraploides

Poblaciones y nivel de polidía	LEAb	AEAb	LEAd	AEAd
1 Diploide	30.25 <sup>b*</sup>	20.86 <sup>de</sup>	32.03 <sup>bcd</sup>	18.08 <sup>bcd</sup>
3 Diploide	28.88 <sup>b</sup>	19.44 <sup>e</sup>	27.38 <sup>d</sup>	15.44 <sup>d</sup>
13 Diploide	29.18 <sup>b</sup>	21.80 <sup>bcd</sup>	31.60 <sup>bcd</sup>	18.89 <sup>abcd</sup>
18 Diploide	29.98 <sup>b</sup>	21.58 <sup>cde</sup>	26.32 <sup>d</sup>	16.02 <sup>cd</sup>
19 Diploide	32.31 <sup>b</sup>	19.74 <sup>e</sup>	28.74 <sup>cd</sup>	16.18 <sup>cd</sup>
2 Tetraploide	43.35 <sup>a</sup>	27.80 <sup>a</sup>	42.14 <sup>ab</sup>	21.43 <sup>abcd</sup>
4 Tetraploide	45.45 <sup>a</sup>	29.34 <sup>a</sup>	40.07 <sup>abc</sup>	20.10 <sup>abcd</sup>
5 Tetraploide	44.81 <sup>a</sup>	30.02 <sup>a</sup>	41.25 <sup>ab</sup>	22.13 <sup>abc</sup>
6 Tetraploide	43.85 <sup>a</sup>	27.25 <sup>ab</sup>	41.71 <sup>ab</sup>	20.60 <sup>abcd</sup>
7 Tetraploide	44.82 <sup>a</sup>	26.42 <sup>abc</sup>	43.51 <sup>ab</sup>	23.23 <sup>ab</sup>
8 Tetraploide	45.36 <sup>a</sup>	27.17 <sup>ab</sup>	43.09 <sup>ab</sup>	24.69 <sup>a</sup>
9 Tetraploide	44.91 <sup>a</sup>	25.59 <sup>abcd</sup>	41.41 <sup>ab</sup>	21.97 <sup>abc</sup>
10 Tetraploide	45.99 <sup>a</sup>	30.14 <sup>a</sup>	45.98 <sup>a</sup>	22.78 <sup>ab</sup>
11 Tetraploide	45.34 <sup>a</sup>	26.77 <sup>abc</sup>	45.04 <sup>a</sup>	23.15 <sup>ab</sup>
12 Tetraploide	45.66 <sup>a</sup>	28.93 <sup>a</sup>	43.06 <sup>ab</sup>	22.78 <sup>ab</sup>
14 Tetraploide	45.69 <sup>a</sup>	28.72 <sup>a</sup>	39.43 <sup>bc</sup>	19.05 <sup>abcd</sup>
15 Tetraploide	44.83 <sup>a</sup>	27.87 <sup>a</sup>	43.51 <sup>ab</sup>	23.04 <sup>ab</sup>
16 Tetraploide	46.59 <sup>a</sup>	27.07 <sup>ab</sup>	42.83 <sup>ab</sup>	22.19 <sup>abc</sup>
17 Tetraploide	47.12 <sup>a</sup>	27.50 <sup>a</sup>	43.48 <sup>ab</sup>	23.64 <sup>ab</sup>
20 Tetraploide	42.10 <sup>a</sup>	27.76 <sup>a</sup>	41.37 <sup>ab</sup>	22.00 <sup>abc</sup>
DMS	9.00	5.47	12.03	6.48

LEAb = Largo de estomas Abaxial; AEAb = Ancho de estomas Abaxial; LEAd = Largo de estomas Adaxial; AEAd = Ancho de estomas Adaxial. \*Letras diferentes indican diferencias significativas a nivel ( $P \leq 0.05$ ) DMS = Diferencia mínima significativa.

#### 6.1.4 Caracterización morfológica de tetraploide y diploides

El análisis de varianza aplicado a cinco características morfológicas en tomate de cascara diploide y tetraploide, exhibió diferencias estadísticas altamente significativas ( $P < 0.01$ ) para DF, AP y para DT ( $P = 0.0004$ ), y significativas para AH ( $P = 0.048$ ) y LH ( $P = 0.012$ ) (Tabla XII).

Tabla XII

Cuadrados medios y valores de F del análisis de varianza aplicado a características morfológicas de diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa*

FV	GL	Cuadrados medios y valores de F									
		AH	F	LH	F	DF	F	DT	F	AP	F
Rep	3	0.27	0.42 ns	1.82	0.75ns	0.004	0.17ns	0.075	1.06ns	209.05	4.32*
Trat	19	3.69	5.6**	5.29	2.18*	0.423	16.97**	0.225	3.16*	1808.9	37.37**
Error	57	0.66		2.42		0.24		0.071		48.40	
CV %		10.02		8.73		6.36		10.65		8.47	

AH= ancho de hoja; LH=largo de hoja; DF= diámetro de flor; DT= diámetro de tallo; AP=altura de planta. CV= Coeficiente de variación, ns = no significativo ( $P>0.05$ ), \* significativo ( $p<0.05$ ), \*\* altamente significativo ( $p<0.01$ ).

Las poblaciones diploides tuvieron en promedio 6.73 cm de ancho de hoja AH y los tetraploides 8.56 cm, la población tetraploide 14, presentó el mayor valor con 9.29 cm (Figura 9), y fue estadísticamente igual ( $P>0.05$ ) a todos los tetraploides restantes, pero diferente ( $P<0.05$ ) de los diploides 1, 3, 18 y 19. Respecto a la longitud de hoja (LH) las poblaciones diploides presentaron en promedio 16.87 cm y las tetraploides de 18.58 cm, la población tetraploide 14 fue la que presentó el mayor valor con 20.19 cm y fue estadísticamente igual ( $P>0.05$ ) a diecisiete poblaciones, pero fue diferente ( $P<0.05$ ) de la población diploide 18 y el diploide 3 (Tabla XIII).

En diámetro de flor (DF) se encontró que los tetraploides 2 (2.81 cm) y 12 (2.78 cm) presentaron los mayores valores, aunque fueron estadísticamente iguales ( $P>0.05$ ) a otras trece poblaciones. Las poblaciones que presentaron las flores de menor diámetro fueron los diploides 3,18 y 19 y fueron estadísticamente diferentes ( $P<0.05$ ) del resto, las poblaciones tetraploides que tuvieron el mayor diámetro superaron en 85% al diploide 3(1.50 cm) que fue el de menor diámetro.



**Figura 9.** Plantas de tomate de cáscara, izquierdo diploide (19) rendidora, derecho tetraploide (20).

En diámetro de tallo (DT) la población diploide 3 (2.95 cm), presentó el mayor valor y fue estadísticamente igual ( $P>0.05$ ) a todas las demás, excepto a la población diploide 13 y al tetraploide 2 que fueron las que mostraron los valores menores (Tabla XIII).

En cuanto a la altura planta (AP) el diploide silvestre 3 (130.59 cm) presentó el mayor valor y fue estadísticamente diferente ( $P<0.05$ ) a las demás poblaciones. Sin embargo, cinco tetraploides presentaron valores altos de (92.25cm a 110.10 cm) y fueron estadísticamente iguales ( $P>0.05$ ) al diploide 1 que exhibió una altura de planta de 98.64 cm.

Tabla XIII

Valores medios de características morfológicas de diploides y tetraploides de tomate de cáscara *Physalis ixocarpa*

Poblaciones y nivel de ploidía	AH (cm)	LH (cm)	DF (cm)	DT (cm)	AP (cm)
1 Diploide	6.80 <sup>bcd*</sup>	17.15 <sup>abc</sup>	2.26 <sup>cde</sup>	2.29 <sup>abcd</sup>	98.64 <sup>bc</sup>
3 Diploide	6.20 <sup>cd</sup>	15.16 <sup>c</sup>	1.50 <sup>f</sup>	2.95 <sup>a</sup>	130.59 <sup>a</sup>
13 Diploide	7.83 <sup>abcd</sup>	18.23 <sup>abc</sup>	2.45 <sup>abcd</sup>	2.07 <sup>d</sup>	58.23 <sup>g</sup>
18 Diploide	6.02 <sup>d</sup>	15.89 <sup>bc</sup>	1.94 <sup>e</sup>	2.69 <sup>abcd</sup>	75.54 <sup>defg</sup>
19 Diploide	6.81 <sup>bcd</sup>	17.95 <sup>abc</sup>	2.06 <sup>de</sup>	2.36 <sup>abcd</sup>	82.19 <sup>cdef</sup>
2 Tetraploide	9.05 <sup>a</sup>	17.82 <sup>abc</sup>	2.81 <sup>a</sup>	2.09 <sup>cd</sup>	59.77 <sup>g</sup>
4 Tetraploide	8.54 <sup>ab</sup>	18.21 <sup>abc</sup>	2.37 <sup>bcd</sup>	2.81 <sup>ab</sup>	105.03 <sup>b</sup>
5 Tetraploide	7.95 <sup>abcd</sup>	16.19 <sup>abc</sup>	2.62 <sup>abc</sup>	2.25 <sup>bcd</sup>	92.25 <sup>bcd</sup>
6 Tetraploide	8.53 <sup>ab</sup>	18.24 <sup>abc</sup>	2.79 <sup>ab</sup>	2.37 <sup>abcd</sup>	70.49 <sup>efg</sup>
7 Tetraploide	8.69 <sup>ab</sup>	17.59 <sup>abc</sup>	2.57 <sup>abc</sup>	2.57 <sup>abcd</sup>	110.10 <sup>b</sup>
8 Tetraploide	8.18 <sup>abc</sup>	17.99 <sup>abc</sup>	2.75 <sup>ab</sup>	2.59 <sup>abcd</sup>	63.16 <sup>g</sup>
9 Tetraploide	7.85 <sup>abcd</sup>	18.39 <sup>abc</sup>	2.54 <sup>abc</sup>	2.70 <sup>abcd</sup>	86.45 <sup>cde</sup>
10 Tetraploide	8.85 <sup>ab</sup>	18.81 <sup>abc</sup>	2.70 <sup>ab</sup>	2.51 <sup>abcd</sup>	105.50 <sup>b</sup>
11 Tetraploide	9.11 <sup>a</sup>	18.17 <sup>abc</sup>	2.50 <sup>abc</sup>	2.52 <sup>abcd</sup>	67.12 <sup>fg</sup>
12 Tetraploide	8.61 <sup>ab</sup>	18.77 <sup>abc</sup>	2.78 <sup>ab</sup>	2.79 <sup>abc</sup>	61.47 <sup>g</sup>
14 Tetraploide	9.29 <sup>a</sup>	20.19 <sup>a</sup>	2.57 <sup>abc</sup>	2.63 <sup>abcd</sup>	105.83 <sup>b</sup>
15 Tetraploide	8.43 <sup>ab</sup>	17.93 <sup>abc</sup>	2.74 <sup>ab</sup>	2.40 <sup>abcd</sup>	63.35 <sup>g</sup>
16 Tetraploide	7.86 <sup>abcd</sup>	17.40 <sup>abc</sup>	2.67 <sup>ab</sup>	2.27 <sup>abcd</sup>	58.59 <sup>g</sup>
17 Tetraploide	9.04 <sup>a</sup>	19.32 <sup>ab</sup>	2.58 <sup>abc</sup>	2.66 <sup>abcd</sup>	82.08 <sup>cdef</sup>
20 Tetraploide	8.56 <sup>ab</sup>	17.35 <sup>abc</sup>	2.47 <sup>abcd</sup>	2.50 <sup>abcd</sup>	65.77 <sup>fg</sup>
DMS	0.94	4.09	0.41	0.70	18.27

AH= ancho de hoja, LH=largo de hoja, DF= diámetro de flor, DT= diámetro de tallo, AP=altura de planta. \*Letras diferentes indican diferencias significativas a nivel ( $P \leq 0.05$ ). DMS= Diferencia mínima significativa.

#### 6.1.5 Rendimiento y componentes de rendimiento del fruto de tetraploides y diploides

Los análisis de varianza indican diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre poblaciones en las medias de todas las variables estudiadas: RTF con valores promedio de 1.73Kg/planta en diploides y 1.64 en tetraploides, NFP 76 frutos/planta en diploides y 49 en tetraploides, PPF 32.53g para diploides y 33.07 en tetraploides, DEF 39.56 mm en diploides y 45.71 en tetraploides, DPF 33.24 mm en diploides y 33.36 en tetraploides, resultados que indican la gran diversidad que existe en los diploides y tetraploides de tomate de cáscara bajo estudio. Por otra parte el RTF y NFP presentaron coeficientes de variación altos (37 y 24%) respectivamente, si se considera desde el punto de vista genético, este resultado pudiera ser el reflejo de la amplia variación presente en las poblaciones diploides y tetraploides y al ser características poligénicas son fuertemente afectadas por factores ambientales, sin embargo es necesario estudiarla a fin de comprobar si su origen es ambiental y/o genético (Tabla XIV).

Tabla XIV

Cuadrados medios y valores de F, del análisis de varianza aplicado a cinco características de diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa*.

Cuadrados medios y valores de F											
Fuente de Variación	G L	RTF	F	NFP	F	PPF	F	DEF	F	DPF	F
Repeticiones	3	0.616	2.20ns	4670.3	24.86**	4.390	0.20ns	11.23	1.06ns	10.62	2.02ns
Tratamientos	19	1.151	4.11**	2656.8	14.41**	508.5	22.62**	246.50	23.17**	108.18	20.53**
Error	57	0.2801		187.83		22.47		10.64		5.27	
CV(%)		31.67		24.34		14.39		7.38		6.88	

RTF= Rendimiento total de fruto, NFP= Número de frutos por planta, PPF= Peso promedio de fruto, DEF=Diámetro ecuatorial de fruto, DPF=Diámetro polar de fruto, CV= Coeficiente de variación, ns = no significativo (P>0.05), \* significativo (P<0.05), \*\* altamente significativo (P< 0.01).

En la variable rendimiento total de fruto por planta se encontró que el diploide 13 con 2.825kg/planta ( $52.25 \text{ t ha}^{-1}$ ) presentó el mayor rendimiento por planta, aunque fue estadísticamente igual ( $P>0.05$ ) a los tetraploides 2, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 15, 16, 20 con un rendimiento de (1.59 a 2.15 Kg/planta) y a los diploides 1 y 19 (2.21 y 2.10 Kg/planta), pero éste fue estadísticamente diferente de los genotipos tetraploides 7, 9, 12, 14, 17 y de los diploides 18 y 3, siendo el diploide 3, el que presentó el menor rendimiento por planta (Tabla XV).

En relación al número de frutos por planta, la población 3 diploide con (159 frutos/planta) presentó un valor alto y fue diferente ( $P<0.05$ ) del resto de las poblaciones, aunque esta tiene frutos de tamaño reducido, ya que es un silvestre de fruto muy pequeño. El diploide 13 produjo (53 frutos/planta) y hubo seis poblaciones tetraploides que lo superaron ya que presentaron de 53 a 65 frutos/planta, aunque éstas tuvieron frutos de menor tamaño, por lo tanto el rendimiento de éstas se redujo en comparación con este diploide.

En cuanto a peso promedio del fruto los diploides 1 (56.61 g) y 13 (52.45 g) fueron los más altos, sin embargo, el 13 fue estadísticamente igual ( $P>0.05$ ) al tetraploide 11(41.34 g), el diploide 3 (2.11 g) presentó el menor peso de fruto, dado que es un material silvestre presentó frutos muy pequeños pero en gran cantidad (Tabla XV).

Los valores medios de diámetro ecuatorial y polar indican que la mayoría de frutos tienden a una forma más aplanada de los polos, dado que se encontró que las poblaciones diploides presentaron (39.56 mm) de DEF y (33.24 mm) de DPF, de igual forma las poblaciones tetraploides presentaron en promedio (45.71 mm) de DEF y (33.36 mm) de DPF. El diploide 1 fue el que tuvo los mayores valores de DEF (53.76 mm) y DPF (43.24 mm), aunque en DEF fue estadísticamente igual ( $P>0.05$ ) a nueve poblaciones tetraploides, y en DPF fue estadísticamente igual a la población diploide 13.



Tabla XV

Valores medios de rendimiento de fruto de poblaciones diploides y tetraploides de tomate de cáscara.

Poblaciones y su nivel de ploidía	RTF (Kg/p)	NFP (f/p)	PPF (g)	DEF (mm)	DPF (mm)
1 Diploide	2.212 <sup>ab*</sup>	41.215 <sup>b</sup>	56.616 <sup>a</sup>	53.765 <sup>a</sup>	43.246 <sup>a</sup>
3 Diploide	0.359 <sup>c</sup>	159.375 <sup>a</sup>	2.118 <sup>g</sup>	15.724 <sup>f</sup>	15.605 <sup>d</sup>
13 Diploide	2.825 <sup>a</sup>	53.158 <sup>b</sup>	52.455 <sup>ab</sup>	49.813 <sup>abc</sup>	41.150 <sup>ab</sup>
18 Diploide	1.184 <sup>bc</sup>	65.750 <sup>b</sup>	17.802 <sup>f</sup>	35.811 <sup>e</sup>	30.613 <sup>c</sup>
19 Diploide	2.108 <sup>ab</sup>	62.643 <sup>b</sup>	33.667 <sup>cde</sup>	42.719 <sup>bcde</sup>	35.608 <sup>bc</sup>
2 Tetraploide	1.910 <sup>ab</sup>	65.583 <sup>b</sup>	28.399 <sup>def</sup>	41.619 <sup>cde</sup>	30.372 <sup>c</sup>
4 Tetraploide	1.677 <sup>abc</sup>	56.200 <sup>b</sup>	29.092 <sup>cdef</sup>	41.331 <sup>cde</sup>	32.732 <sup>c</sup>
5 Tetraploide	2.157 <sup>ab</sup>	55.775 <sup>b</sup>	38.378 <sup>cd</sup>	48.109 <sup>abcd</sup>	33.908 <sup>c</sup>
6 Tetraploide	1.767 <sup>ab</sup>	55.758 <sup>b</sup>	31.287 <sup>cde</sup>	45.757 <sup>abcd</sup>	34.504 <sup>c</sup>
7 Tetraploide	1.271 <sup>bc</sup>	37.525 <sup>b</sup>	33.773 <sup>cde</sup>	45.693 <sup>abcd</sup>	34.756 <sup>c</sup>
8 Tetraploide	1.593 <sup>abc</sup>	44.390 <sup>b</sup>	36.507 <sup>cde</sup>	47.305 <sup>abcd</sup>	33.120 <sup>c</sup>
9 Tetraploide	1.263 <sup>bc</sup>	51.975 <sup>b</sup>	24.461 <sup>ef</sup>	40.800 <sup>de</sup>	32.919 <sup>c</sup>
10 Tetraploide	1.829 <sup>ab</sup>	53.263 <sup>b</sup>	34.631 <sup>cde</sup>	45.820 <sup>abcd</sup>	31.843 <sup>c</sup>
11 Tetraploide	2.013 <sup>ab</sup>	48.125 <sup>b</sup>	41.343 <sup>bc</sup>	49.205 <sup>abcd</sup>	34.103 <sup>c</sup>
12 Tetraploide	1.176 <sup>bc</sup>	37.525 <sup>b</sup>	30.928 <sup>cde</sup>	45.062 <sup>bcd</sup>	32.694 <sup>c</sup>
14 Tetraploide	1.360 <sup>bc</sup>	45.300 <sup>b</sup>	30.475 <sup>cde</sup>	45.025 <sup>bcd</sup>	32.562 <sup>c</sup>
15 Tetraploide	1.754 <sup>ab</sup>	46.983 <sup>b</sup>	36.711 <sup>cde</sup>	48.885 <sup>abcd</sup>	35.244 <sup>bc</sup>
16 Tetraploide	1.933 <sup>ab</sup>	55.300 <sup>b</sup>	34.688 <sup>cde</sup>	48.173 <sup>abcd</sup>	34.177 <sup>c</sup>
17 Tetraploide	1.037 <sup>bc</sup>	36.375 <sup>b</sup>	28.202 <sup>def</sup>	42.513 <sup>bcde</sup>	31.999 <sup>c</sup>
20 Tetraploide	1.992 <sup>ab</sup>	53.575 <sup>b</sup>	37.183 <sup>cd</sup>	50.429 <sup>ab</sup>	35.477 <sup>bc</sup>
DMS	1.39	36.00	14.39	8.56	6.03

RTF= Rendimiento total de fruto, NFP= Número de frutos por planta, PPF= Peso promedio de fruto, DEF=Diámetro ecuatorial de fruto, DEF=Diámetro polar de fruto. \*Letras diferentes indican diferencias significativas a nivel ( $P \leq 0.05$ ). DMS= Diferencia mínima significativa.

#### 6.1.6 Calidad de fruto de tetraploides y diploides

El análisis de varianza realizado para observar el efecto de la poliploidía sobre la calidad de frutos de tomate de cáscara, mostró diferencias significativas ( $F=2.04$ ,  $P=0.020$ ) para la variable SST, las quince poblaciones tetraploides presentaron un valor promedio de 6.30 y las cinco poblaciones diploides 6.80°Brix. Para firmeza de fruto los valores promedio fueron de (0.89 a 1.85 Kg cm<sup>-2</sup>) para las poblaciones diploides y de (0.50 a 1.49 Kg cm<sup>-2</sup>) para las tetraploides; En contenido de vitamina C los valores promedio para diploides fue de (5.63 a 7.33 mg/100g) y para tetraploides de (3.22 a

10.79 mg/100g), se encontró que para estas dos variables, hubo diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre poblaciones, presentándose una gran variabilidad entre tetraploides y diploides (Tabla XVI).

Tabla XVI

Cuadrados medios y valores de F del análisis de varianza aplicado a tres características de diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa* Brot.

FV	GL	Cuadrados Medios y valores de F					
		SST	F	FIF	F	VC	F
Rep	3	5.263	17.58**	1.092	35.36**	1.640	5.23*
Trat	19	0.609	2.04*	0.383	12.41**	9.690	30.88**
Error	57	0.299		0.030		0.314	
CV (%)		8.19		14.81		9.36	

SST= Sólidos solubles totales, FIF= Firmeza de fruto, VC= Vitamina C, CV= Coeficiente de variación, Ns = no significativo ( $P > 0.05$ ), \* significativo ( $P < 0.05$ ), \*\* altamente significativo ( $P < 0.01$ ).

De acuerdo a la comparación de medias la variable sólidos solubles totales, el genotipo 13 con  $5.82^{\circ}$ Brix fue el que presentó el menor valor, y fue estadísticamente igual ( $P > 0.05$ ) al resto de las poblaciones excepto a los tetraploides 4 ( $7.30^{\circ}$ Brix) y 12 ( $7.59^{\circ}$ Brix), de los que fue diferente. En firmeza de fruto se encontraron tres poblaciones tetraploides, con los mayores valores la 5 ( $1.45 \text{ Kg cm}^{-2}$ ), 11 ( $1.49 \text{ Kg cm}^{-2}$ ) y 17 ( $1.44 \text{ Kg cm}^{-2}$ ) y dos diploides, el 13 ( $1.54 \text{ Kg cm}^{-2}$ ) y el silvestre 3 ( $1.85 \text{ Kg cm}^{-2}$ ) el cual presentó frutos pequeños, las cuales fueron estadísticamente iguales y diferentes al resto de las poblaciones (ver Tabla XVII).

En cuanto al contenido de vitamina C los tetraploides, presentaron amplia variabilidad y los mejores fueron la población 5 con (9.504 mg/100g) y la 11 con (10.794 mg/100g), y fueron estadísticamente iguales entre si, pero diferentes al resto de las poblaciones.

Tabla XVII

Valores medios de calidad de fruto en poblaciones diploides y tetraploides de tomate de cáscara.

Poblaciones y nivel de ploidía	SST °Brix	FIF Kg cm <sup>-2</sup>	VC mg/100g
1 Diploide	6.332 <sup>ab*</sup>	1.383 <sup>bc</sup>	5.632 <sup>bcdef</sup>
3 Diploide	6.622 <sup>ab</sup>	1.858 <sup>a</sup>	7.333 <sup>b</sup>
13 Diploide	5.820 <sup>b</sup>	1.541 <sup>ab</sup>	5.808 <sup>bcdef</sup>
18 Diploide	6.320 <sup>ab</sup>	0.892 <sup>def</sup>	5.683 <sup>bcdef</sup>
19 Diploide	6.442 <sup>ab</sup>	0.900 <sup>def</sup>	6.512 <sup>bcd</sup>
2 Tetraploide	6.757 <sup>ab</sup>	0.500 <sup>f</sup>	6.512 <sup>bcd</sup>
4 Tetraploide	7.307 <sup>a</sup>	1.116 <sup>bcde</sup>	3.872 <sup>gh</sup>
5 Tetraploide	6.625 <sup>ab</sup>	1.458 <sup>abc</sup>	9.504 <sup>a</sup>
6 Tetraploide	7.000 <sup>ab</sup>	0.675 <sup>ef</sup>	3.220 <sup>h</sup>
7 Tetraploide	6.585 <sup>ab</sup>	1.266 <sup>bcd</sup>	5.456 <sup>cdefg</sup>
8 Tetraploide	6.965 <sup>ab</sup>	1.000 <sup>cde</sup>	4.576 <sup>efgh</sup>
9 Tetraploide	6.450 <sup>ab</sup>	1.175 <sup>bcd</sup>	6.864 <sup>bc</sup>
10 Tetraploide	6.575 <sup>ab</sup>	1.117 <sup>bcde</sup>	4.400 <sup>fgh</sup>
11 Tetraploide	6.750 <sup>ab</sup>	1.492 <sup>ab</sup>	10.794 <sup>a</sup>
12 Tetraploide	7.590 <sup>a</sup>	1.191 <sup>bcd</sup>	5.456 <sup>cdefg</sup>
14 Tetraploide	6.842 <sup>ab</sup>	1.300 <sup>bcd</sup>	6.160 <sup>bcde</sup>
15 Tetraploide	6.185 <sup>ab</sup>	1.166 <sup>bcd</sup>	5.456 <sup>cdefg</sup>
16 Tetraploide	6.925 <sup>ab</sup>	1.108 <sup>bcde</sup>	5.104 <sup>defg</sup>
17 Tetraploide	6.825 <sup>ab</sup>	1.442 <sup>abc</sup>	4.224 <sup>fgh</sup>
20 Tetraploide	6.750 <sup>ab</sup>	1.150 <sup>bcd</sup>	7.040 <sup>bc</sup>
DMS	1.437	1.18	1.738

SST= Sólidos solubles totales, FIF= Firmeza de fruto; VC= Vitamina C, pH= acidez. \*Letras diferentes indican diferencias significativas a nivel ( $P \leq 0.05$ ). DMS= Diferencia mínima significativa.

Tomando en cuenta los resultados de rendimiento y calidad de fruto en esta etapa se seleccionaron las poblaciones tetraploides 2, 5, 11, 16 y 20 ya que presentaron rendimientos que van de 1.91 Kg/planta o 35.34 t ha<sup>-1</sup> hasta 2.15 Kg/planta o (39.89 t ha<sup>-1</sup>), y las poblaciones diploides 1, 13, 18 y 19 que presentaron 1.18 Kg/planta o 21.90 t ha<sup>-1</sup> a 2.82 Kg/planta o 52.25 t ha<sup>-1</sup> como las mejores dado que superaron el rendimiento medio nacional de 15.58 t ha<sup>-1</sup>, y algunas el rendimiento potencial de variedades

mejoradas de 40 t ha<sup>-1</sup>. Para utilizarlas como progenitores en la segunda etapa, que fue la formación de híbridos triploides cruzando tetraploides con diploides.

#### 6.1.7 Análisis de correlación entre variables agonomías y morfológicas en diploides y tetraploides

En las poblaciones diploides el coeficiente de correlación entre el rendimiento y el largo de hoja fue positivo y altamente significativo ( $r = 0.96$ ,  $P < 0.01$ ), igualmente con el diámetro de flor ( $r = 0.97$ ,  $P < 0.01$ ), en cambio fue positiva y significativa para peso promedio de fruto, diámetro polar de fruto ( $r = 0.93$ ,  $P < 0.05$ ) y diámetro ecuatorial de fruto ( $r = 0.92$ ,  $P < 0.05$ ). No se encontró correlación entre el rendimiento y el número de frutos por planta y altura de planta, de acuerdo a los resultados se puede indicar que existe una relación mas estrecha entre el rendimiento y el largo de hoja, caso contrario es lo que se observa con la altura de planta, por lo tanto si se quieren seleccionar plantas de altos rendimientos, será recomendable lograr plantas con hojas mas largas, ver Tabla XVIII.

El número de frutos por planta presentó una correlación negativa y significativa en diámetro de flor, diámetro ecuatorial y polar de fruto, sin embargo, el número de frutos por planta estuvo positiva y significativamente correlacionado con el contenido de vitamina C.

El peso promedio de fruto estuvo correlacionado positiva y significativamente con diámetro ecuatorial de fruto ( $r = 0.96$ ,  $P < 0.01$ ), diámetro polar de fruto ( $r = 0.96$ ,  $P < 0.01$ ) y diámetro de flor ( $r = 0.94$ ,  $P < 0.05$ ) y negativa y significativamente con diámetro de tallo ( $r = -0.94$ ,  $P < 0.05$ ). El diámetro ecuatorial de fruto estuvieron positiva y significativamente correlacionados ( $r = 0.99$ ,  $P < 0.01$ ) con el diámetro polar de fruto y con el diámetro de flor ( $r = 0.95$ ,  $P < 0.05$ ), sin embargo, negativa y significativamente con diámetro de tallo ( $r = -0.92$ ,  $P < 0.05$ ).

Tabla XVIII  
Correlaciones de Pearson entre variables agronómicas y morfológicas de poblaciones  
diploides de tomate de cáscara

	NFP	PPF	DEF	DPF	VC	LH	DF	DT	AP
RTF	-0.84	0.93*	0.92*	0.93*	-0.65	0.96**	0.97**	-0.99**	-0.76
NFP	-	-0.84	-0.95*	-0.95**	0.90*	-0.75	-0.89*	0.82	0.78
PPF	-	-	0.96**	0.96**	-0.71	0.83	0.94*	-0.94*	-0.57
DEF	-	-	-	0.99**	-0.82	0.83	0.95*	-0.92*	-0.69
DPF	-	-	-	-	-0.82	0.83	0.96**	-0.93*	-0.71
SST	-	-	-	-	0.65	-0.67	-0.84	0.79	0.83
FIF	-	-	-	-	0.47	-0.28	-0.25	0.19	0.54
VC	-	-	-	-	-	-0.46	-0.79	0.64	0.73
AH	-	-	-	-	-	0.85	0.81	-0.88*	-0.59
LH	-	-	-	-	-	-	0.87	-0.95*	-0.72
DF	-	-	-	-	-	-	-	-0.97**	-0.80
DT	-	-	-	-	-	-	-	-	0.74

RTF= Rendimiento total de fruto, NFP = Número de frutos por planta, PPF= Peso promedio de fruto, DEF=Diámetro ecuatorial de fruto, DEF=Diámetro polar de fruto, SST= Sólidos solubles totales, FIF= Firmeza de fruto; VC= Vitamina C, AH= ancho de hoja, LH=largo de hoja, DF= diámetro de flor, DT= diámetro de tallo, AP=altura de planta. \* significativo (p<0.05), \*\* altamente significativo (p< 0.01).

En la Tabla XIX, se muestra que mientras en los diploides se encontró una correlación negativa alta entre numero de frutos por planta y rendimiento total de fruto, en las poblaciones tetraploides se encontró una correlación significativa entre rendimiento y numero de frutos ( $r = 0.74$ ,  $P<0.01$ ). En las poblaciones tetraploides se encontró una correlación negativa y significativa entre rendimiento y longitud de la hoja ( $r = - 0.64$ ,  $P<0.01$ ) y diámetro del tallo ( $r = - 0.69$ ,  $P<0.01$ ), indicando que a mayor tamaño de hoja menor rendimiento. Tanto en diploides, como en los tetraploides se encontró que a mayor diámetro de tallo se tiene menor rendimiento de fruto. Contrario a lo observado en los diploides el DF no tiene influencia sobre componentes del rendimiento como son PPF, DPF y DEF. Además se encontró que el peso promedio de fruto está correlacionado significativamente con el diámetro ecuatorial y polar de fruto ( $r = 0.91$ ,  $P<0.01$ ) ( $r = 0.57$ ,  $P<0.05$ ) respectivamente. Otra correlación contrastante observada en los tetraploides fue la de DT y LH, donde en los tetraploides se tiene que a mayor diámetro de tallo se induce mayor longitud de hoja. En los tetraploides se encontró que a mayor número de frutos se tuvo una correlación significativa y negativa con FIF.

Tabla XIX

Correlaciones de Pearson entre variables agronómicas y morfológicas de poblaciones tetraploides de tomate de cáscara.

	NFP	PPF	DEF	DPF	FIF	LH	DF	DT	AP
RTF	0.74**	0.63*	0.55*	0.26	-0.19	-0.64**	0.02	-0.69**	-0.26
NFP	-	-0.02	-0.07	-0.16	-0.57*	-0.41	0.05	-0.62*	-0.15
PPF	-	-	0.91**	0.57*	0.33	-0.48	-0.00	-0.31	-0.21
DEF	-	-	-	0.73**	0.28	-0.42	0.06	-0.31	-0.34
DPF	-	-	-	-	0.29	-0.45	-0.21	-0.03	-0.14
SST	-	-	-	-	-0.14	0.21	0.01	0.40	-0.13
FIF	-	-	-	-	-	0.06	-0.56*	0.43	0.35
VC	-	-	-	-	-	-0.36	-0.27	-0.24	-0.10
AH	-	-	-	-	-	0.62*	-0.05	0.11	0.19
LH	-	-	-	-	-	-	-0.01	0.55*	0.24
DF	-	-	-	-	-	-	-	-0.47	-0.49
DT	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37

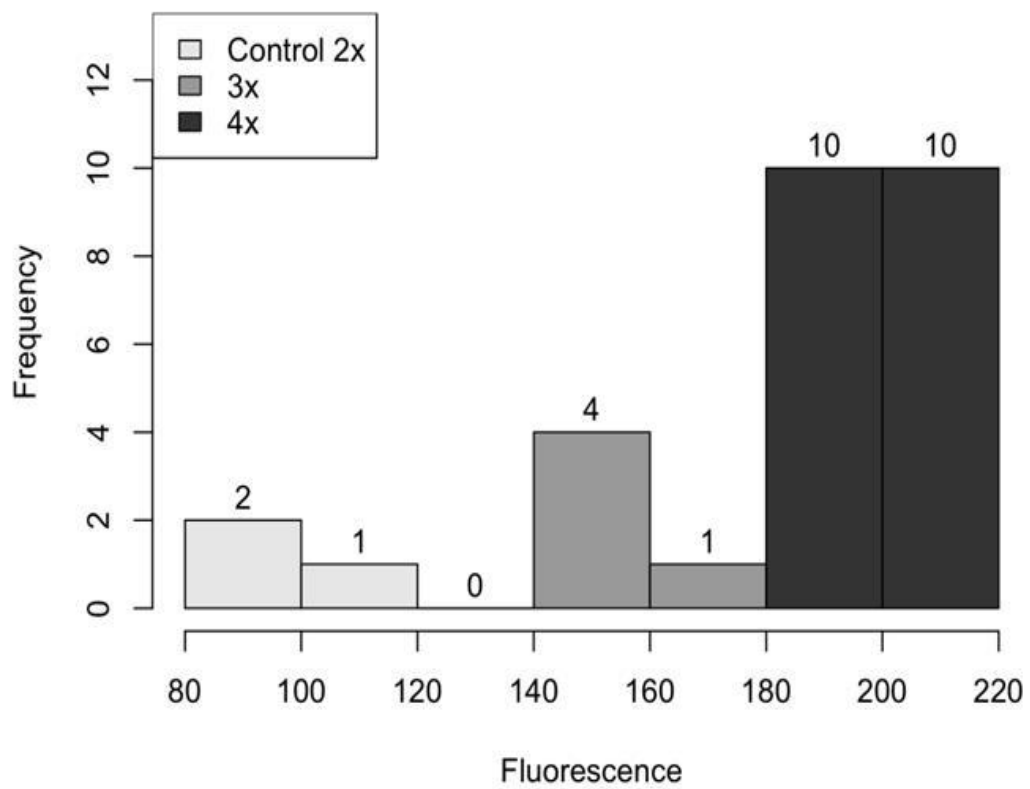
RTF= Rendimiento total de fruto, NFP= Número de frutos por planta, PPF= Peso promedio de fruto, DEF= Diámetro ecuatorial de fruto, DEF=Diámetro polar de fruto SST= Sólidos solubles totales, FIF= Firmeza de fruto; VC= Vitamina C, AH= ancho de hoja, LH=largo de hoja, DF= diámetro de flor, DT= diámetro de tallo, AP=altura de planta. \* significativo (p<0.05), \*\* altamente significativo (p< 0.01).

## 6.2. Formación de Híbridos Triploides

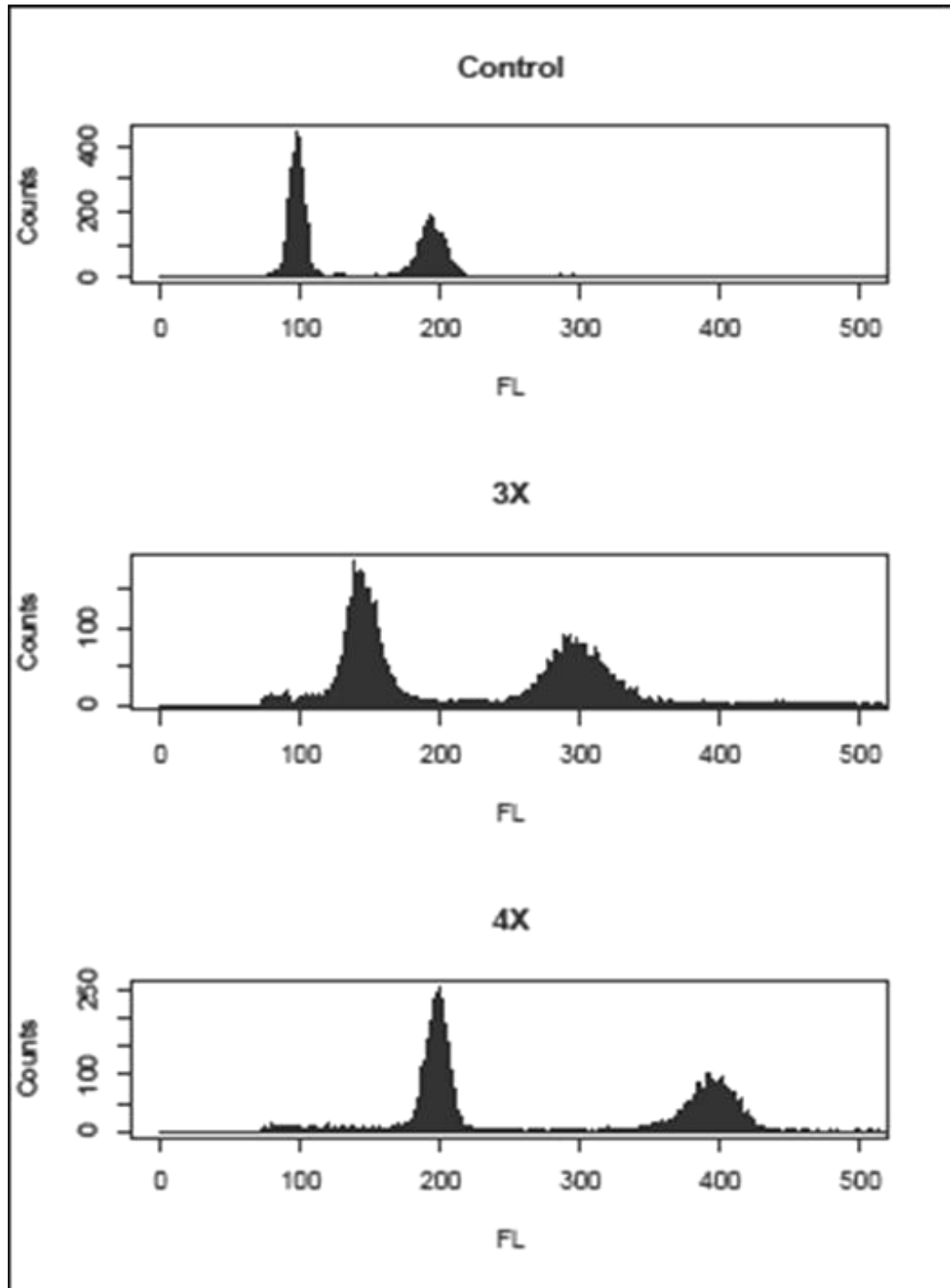
### 6.2.1. Análisis de citometría de flujo

Se realizó un análisis de citometría de flujo con el fin de comprobar la ploidía de las cinco poblaciones tetraploides seleccionadas. De las 25 plantas analizadas se encontró que 20 plantas fueron tetraploides (80%), mientras que cinco mostraron picos en la citometría de flujo que indican una condición triploide.

En las poblaciones diploides, rendidora (19), morado tamazula (18) y el criollo de la región Palmarito (21), utilizados como plantas control en el análisis de citometría de flujo, el citómetro mostró perfiles que indican un estado diploide. La distribución del pico principal de fluorescencia para citometría de flujo en las 25 plantas experimentales y el grupo control diploide mostraron una clara distinción entre materiales con condiciones 2X, 3X y 4X (Figura 10 y 11).



**Figura 10.** Distribución del pico principal de fluorescencia de plantas control de (rendidora) y progenies de plantas tetraploides de *Physalis ixocarpa* Brot.



**Figura 11.** Histograma de citometría de flujo de los tres tipos de nivel de ploidía en *Physalis ixocarpa*. (El primer pico en los tres esquemas representa núcleos en etapa G1, el segundo pico en etapa G2 del ciclo celular): El 2x es el cultivar rendidora diploide. Los 3x triploide y 4x tetraploides derivados de las poblaciones tratadas con colchicina.



## 6.2.2 Rendimiento y calidad de fruto de tetraploides y diploides

### 6.2.2.1 Rendimiento de fruto de tetraploides y diploides en dos localidades.

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre ambientes, para rendimiento total de fruto, peso promedio de fruto, diámetro polar y ecuatorial de fruto. Sin embargo, para número de frutos por planta fue significativo ( $P = 0.012$ ). Los valores obtenidos en el ambiente 1 fueron superiores en un (38.74%) RTF, (58.8) PPF, (46.67) DPF y (20.53) DEF, a los obtenidos en el ambiente 2, solamente en el ambiente 2 se tuvo 9.94% más NFP que en el ambiente 1. Los rendimientos obtenidos en todas las poblaciones superan el rendimiento medio nacional desde 87% a 236.39%, y el rendimiento del mejor tetraploide superó el rendimiento medio nacional en 151.18%.

Se encontraron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre las nueve poblaciones estudiadas para las variables RTF, PPF, DPF, DEF, sin embargo, para NFP el valor de  $P$  fue de 0.0002, (Tablas XX y XXI).

Tabla XX

Cuadrados medios y valores de F del análisis de varianza aplicado a cinco características de diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa*.

Fuente de Variación	G L	Cuadrados Medios y Valor de F									
		RTF	F	NFP	F	PPF	F	DEF	F	DPF	F
A	1	0.82	28.74**	679.57	6.80*	27.46	68.07**	4200.31	688.33**	685.80	231.76**
Rep (A)	6	0.06	2.34*	1241.54	12.42**	0.86	2.15ns	6.09	1.00ns	8.97	3.03*
Trat	8	0.21	7.30**	494.59	4.95*	5.90	14.63**	136.28	22.33**	111.90	37.82**
Trat x A	8	0.03	1.05ns	431.60	4.32**	0.43	1.08ns	58.15	9.53**	8.85	2.99*
Error		0.02		99.93		0.40		6.10		2.95	
CV%		13.05		17.01		11.56		6.11		5.18	

A=Ambientes, RTF= Rendimiento total por hectárea, NFP= Número de frutos por planta, PPF= Peso promedio de fruto, DEF=Diámetro ecuatorial de fruto, DPF=Diámetro polar de fruto, CV= Coeficiente de variación, ns = no significativo (P>0.05), \* significativo (P<0.05), \*\* altamente significativo (P< 0.01).

La Tabla XXI muestra que las poblaciones diploides 1 (1.99Kg/planta) y 13 (2.57Kg/planta) tuvieron los mayores rendimientos, y fueron iguales a las poblaciones tetraploides 5 (1.83Kg/planta), 11 (1.75) y 20 (1.92), éstas últimas derivadas de la población diploide 19 (1.58 Kg/planta), la cual tuvo un rendimiento inferior en 9.87% a 17.70 a dichas poblaciones. La variabilidad en el rendimiento de fruto en tetraploides fue menor a la observada en los diploides, aunque el rendimiento medio de los diploides superó en 6.5% el rendimiento medio de los tetraploides, no encontrándose diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre diploides y tetraploides, sin embargo, el rendimiento medio de los tetraploides fue estadísticamente superior ( $F = 16.21$ ,  $P < 0.05$ ) al rendimiento de la población 19, de la cual se obtuvieron los tetraploides (Tabla XXV).

El PPF de las poblaciones diploides 1 (46.98g) y 13 (43.74g), y la población tetraploide 11 (34.98g) fueron estadísticamente iguales ( $P \geq 0.05$ ), aunque ésta población tetraploide 11, tuvo frutos con un PPF 12.26% mayor que su progenitor diploide 19 rendidora (31.16g), no se mostraron diferencias (Tabla XXI), sin embargo, es posible observar la gran variabilidad en PPF que existe en las poblaciones diploides bajo estudio, con un rango de 16.058 a 46.987g. Se encontró que el PPF del diploide 19 fue estadísticamente mayor ( $F = 41.48$   $P < 0.01$ ) al peso promedio de fruto de los tetraploides (Tabla XXV), esto indica que la formación de tetraploides redujo el PPF, el menor PPF en tetraploides es debido en parte a que los tetraploides tuvieron mayor número de frutos, aunque de menor tamaño.

La tabla XXI muestra que población tetraploide 20 con 69 frutos/planta en promedio fue estadísticamente superior ( $P < 0.05$ ) en NFP a la población 13 con 60 frutos/planta que fue el diploide con mayor rendimiento de fruto. El número promedio de frutos (61) de los tetraploides fueron estadísticamente ( $F = 4.75$ ,  $P < 0.05$ ) superior al rendimiento promedio (53) de la población diploide rendidora, de la cual se originaron los tetraploides ver tabla XXV. En DEF el diploide 1 y 13 fueron estadísticamente iguales ( $P \geq 0.05$ ), y además el 13 fue igual ( $P \geq 0.05$ ), a los tetraploides 5, 11, 16 y 20. En contrastes ortogonales los tetraploides fueron estadísticamente superiores ( $P < 0.01$ ) al

diploide 19 rendidora en DEF, se encontró que al duplicar el genoma de tomate de cáscara, se incrementó el diámetro de fruto en tomate de cáscara (Tabla XXV).

Los diploides tuvieron un DPF estadísticamente diferente ( $P \leq 0.05$ ) a los tetraploides, siendo los diploides 1 (39.91mm) y 13 (38.42mm) los que presentaron los valores mas altos, el mejor diploide supero en 19% al mejor tetraploide, así mismo la comparación del DPF de la población 19 con el DPF de los tetraploides, estos tuvieron una reducción estadísticamente significativa ( $P \leq 0.01$ ), por lo tanto la duplicación del genoma, indujo una reducción el DPF ver tabla XXV. El análisis del comportamiento de la variable DEF y DPF mostró que al estimar la relación DEF/DPF, en los diploides se presentaron valores de 1.11 a 1.16mm, mientras que en los tetraploides fue de 1.24 a 1.30mm.

Tabla XXI

Valores medios de características de rendimiento en poblaciones diploides y tetraploides de tomate de cáscara, estudiados en dos localidades de Coahuila.

Población	RTF kg	PPF g	NFP	DEF mm	DPF mm
1D	1.993 <sup>ab*</sup>	46.987 <sup>a</sup>	44.188 <sup>b</sup>	46.500 <sup>a</sup>	39.911 <sup>a</sup>
13D	2.574 <sup>a</sup>	43.749 <sup>ab</sup>	60.463 <sup>a</sup>	43.791 <sup>ab</sup>	38.422 <sup>a</sup>
18D	1.085 <sup>c</sup>	16.058 <sup>e</sup>	66.950 <sup>a</sup>	31.805 <sup>e</sup>	28.654 <sup>d</sup>
19D	1.581 <sup>bc</sup>	31.166 <sup>bcd</sup>	53.325 <sup>ab</sup>	38.934 <sup>cd</sup>	34.139 <sup>b</sup>
2T	1.433 <sup>bc</sup>	22.812 <sup>ed</sup>	61.738 <sup>a</sup>	37.603 <sup>d</sup>	30.323 <sup>cd</sup>
5 T	1.836 <sup>ab</sup>	30.586 <sup>cd</sup>	64.313 <sup>a</sup>	41.377 <sup>bcd</sup>	31.654 <sup>cb</sup>
11T	1.754 <sup>bc</sup>	34.988 <sup>abc</sup>	54.413 <sup>ab</sup>	41.426 <sup>bcd</sup>	32.029 <sup>cb</sup>
16T	1.492 <sup>bc</sup>	28.503 <sup>cd</sup>	54.400 <sup>ab</sup>	40.181 <sup>bcd</sup>	30.898 <sup>cd</sup>
20T	1.922 <sup>ab</sup>	29.673 <sup>cd</sup>	69.013 <sup>a</sup>	41.699 <sup>bc</sup>	32.340 <sup>bc</sup>
DMS	0.27	1.03	16.23	4.04	2.79

RTF= rendimiento total de frutos por planta, PPF= peso promedio de fruto, NFP= número de frutos por planta, DEF=diámetro ecuatorial de fruto, DPF=diámetro polar de fruto. \*Letras diferentes indican diferencias significativas a nivel ( $P \leq 0.05$ ). DMS= Diferencia mínima significativa.

#### 6.2.2.2 Calidad de fruto de tetraploides y diploides en dos localidades

En relación a características de calidad de fruto, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ambientes, para sólidos solubles totales ( $P=0.005$ ) y pH ( $P < 0.01$ ), indicando que las poblaciones tuvieron un comportamiento diferencial en los ambientes bajo estudio. Por lo tanto la FF y vitamina C se comportaron más estables a

través de ambientes. Se presentaron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre poblaciones para FF y VC, en pH ( $P=0.003$ ), sin embargo, en concentración de SST no se encontraron diferencias significativas ( $P=0.237$ ) entre poblaciones (Tabla XXII).

Tabla XXII

Cuadrados medios y valores de F del análisis de varianza aplicado a características de calidad de fruto de diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa*.

FV	GL	Cuadrados Medios y Valores de F							
		SST	F	FIR	F	pH	F	VC	F
A	1	2.674	8.51*	0.000	0.00ns	0.818	31.61**	0.343	1.07ns
Rep (A)	6	0.479	1.53ns	0.123	2.44*	0.010	0.42ns	1.850	5.74ns
Trat	8	0.428	1.36ns	0.772	15.26**	0.088	3.44*	19.946	61.91**
Trat x A	8	0.470	1.50ns	0.286	5.67**	0.042	1.65ns	0.103	0.32ns
Error		0.314		0.050		0.025		0.587	
CV(%)		8.96		14.51		3.94		8.19	

A= ambientes, SST= Sólidos solubles totales; FIF= Firmeza de fruto; VC= Vitamina C; pH= acidez. CV= Coeficiente de variación, ns = no significativo ( $P > 0.05$ ), \* significativo ( $p < 0.05$ ), \*\* altamente significativo ( $p < 0.01$ ).

Entre las poblaciones bajo estudio se encontró amplia variabilidad en la FF, que se manifiesta con diferencias estadísticas altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre ellas (Tabla XXII); estadísticamente los diploides fueron superiores en FF a los tetraploides (Tabla XXIII). La FF fue modificada de manera negativa con la duplicación del genoma, lo cual se demuestra con el valor observado en la población 19, que fue 18% superior al valor observado en las poblaciones tetraploides que se originaron de la población antes citada (Tabla XXV). La baja firmeza de fruto en los tetraploides fue debido a que éstos presentaron un llenado parcial con un hueco entre el endocarpio y mesocarpio. Las diferencias estadísticas significativas ( $P = 0.003$ ) en el pH de los frutos, indican la gran variabilidad entre las poblaciones estudiadas, además es posible tener frutos con diferencias en sabor, aunque ésta característica no es influida por la modificación en el nivel de ploidia. Los frutos del tetraploide 11 presentaron los mayores contenidos de vitamina C, superando significativamente al diploide 13 en 69.7%.

Tabla XXIII

Valores medios de características de calidad de fruto en diploides y tetraploides de tomate de cáscara

Poblaciones	SST °Brix	FIR Kg/cm <sup>2</sup>	pH	VC mg/100g
1D	6.025 <sup>a*</sup>	1.792 <sup>ab</sup>	4.006 <sup>abc</sup>	5.632 <sup>bc</sup>
13D	5.947 <sup>a</sup>	1.703 <sup>abc</sup>	3.934 <sup>c</sup>	5.808 <sup>bc</sup>
18D	6.222 <sup>a</sup>	2.007 <sup>a</sup>	4.139 <sup>abc</sup>	5.683 <sup>bc</sup>
19D	6.133 <sup>a</sup>	1.654 <sup>abc</sup>	3.966 <sup>bc</sup>	7.568 <sup>b</sup>
2T	6.437 <sup>a</sup>	1.091 <sup>d</sup>	4.232 <sup>a</sup>	6.512 <sup>bc</sup>
5 T	6.529 <sup>a</sup>	1.699 <sup>abc</sup>	4.056 <sup>abc</sup>	9.152 <sup>a</sup>
11T	6.182 <sup>a</sup>	1.505 <sup>bc</sup>	4.021 <sup>abc</sup>	9.856 <sup>a</sup>
16T	6.635 <sup>a</sup>	1.414 <sup>cd</sup>	4.115 <sup>abc</sup>	5.104 <sup>c</sup>
20T	6.169 <sup>a</sup>	1.084 <sup>d</sup>	4.213 <sup>ab</sup>	7.040 <sup>b</sup>
DMS	0.91	0.36	0.26	1.08

SST = Sólidos solubles totales °Brix, FIR= Firmeza de fruto, pH = acidez, VC = vitamina C. \*Letras diferentes indican diferencias significativas a nivel ( $P \leq 0.05$ ). DMS= Diferencia mínima significativa.

En la comparación por contrastes ortogonales entre diploides y tetraploides no existieron diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ), entre poblaciones en RTF, PPF, NF SST y pH. En lo que se refiere a FF y tamaño de fruto DEF, DPF y VC los contrastes fueron altamente significativos ( $P < 0.01$ ) (ver Tabla XXIV).

Sin embargo al comparar el diploide 19 con los tetraploides se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para RTF y NF, y altamente significativas ( $P < 0.01$ ) para PPF, DPF, DEF, FF y VC, no se presentaron diferencias significativas en SST y pH (Tabla XXV).

Al presentarse diferencias en la comparación de diploides contra tetraploides y en la comparación del diploide 19 (rendidora) con los cinco tetraploides en DEF y DPF, se demuestra la modificación del tamaño de fruto con la duplicación del genoma (Figura 12), y al no encontrar diferencias, se concluye que el incremento del nivel de ploidia, no modificó la capacidad de sintetizar sólidos solubles totales (azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos).

Tabla XXIV

Comparación de variables agronómicas entre diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa* y su contraste mediante la prueba de F

Variables	Promedio General Diploides	Promedio General Tetraploides	Valores de F
RTF	1.808 Kg	1.687 Kg	0.29ns
PPF	34.489 g	29.311 g	1.58ns
NF	56.226	60.775	0.05ns
DEF	40.257 mm	40.457 mm	10.76**
DPF	35.281 mm	31.449 mm	8.26**
SST	6.082	6.390	0.01ns
FIR	1.789 Kg/cm <sup>2</sup>	1.359 Kg/cm <sup>2</sup>	13.16**
pH	4.011	4.127	1.23ns
VC	6.0408mg/100g	7.7792 mg/100g	69.31**

RTF= rendimiento total de fruto por parcela, PPF= peso promedio de fruto, NFP= número de frutos por planta, SST = °Brix; DEF=diámetro ecuatorial de fruto, DPF= diámetro polar de fruto, FIR= Firmeza de fruto, pH = acidez, VC=Vitamina C, ns = no significativo (P>0.05), \* significativo (p<0.05), \*\* altamente significativo (P< 0.01).

Tabla XXV

Comparación de variables agronómicas entre el diploide Rendidora y los tetraploides de *Physalis ixocarpa* y su contraste mediante la prueba de F

Variables	Promedio del Diploide Rendidora	Promedio General Tetraploides	Valores de F
RTF	1.581 Kg	1.687Kg	16.21*
PPF	31.165 g	29.311 g	41.48**
NFP	53.321	60.775	4.75*
DEF	38.934 mm	40.457 mm	96.89**
DPF	34.139 mm	31.449 mm	56.76**
SST	6.133°Brix	6.390°Brix	0.03ns
FIR	1.654Kg/cm <sup>2</sup>	1.359 Kg/cm <sup>2</sup>	38.91**
pH	3.966	4.127	0.49ns
VC	7.04 mg/100g	7.779 mg/100g	143.09**

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, SST = °Brix, FIR= Firmeza de fruto, pH = acidez, VC=vitamina, ns = no significativo (P>0.05), \* significativo (P<0.05), \*\* altamente significativo (P< 0.01).



**Figura 12.** Frutos del diploide rendidora (19) y del tetraploide (20).

### 6.2.3 Viabilidad y tamaño de polen de tetraploides y diploides

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 de la primera etapa 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.

Los resultados fueron los siguientes: 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 (Tabla XXVI).

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

Por otra parte los diploides presentaron un diámetro de polen de 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 (Tabla XXVI).

#### 6.2.4 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 (Tabla XXVI), 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.

Tabla XXVI

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 $\mu\text{m}$	Nº de frutos en plantas cubiertas	Peso de semillas g.
Diploides	1 Felipe Ángeles	91.71 <sup>a*</sup>	23.42 <sup>c</sup>	77	-
Diploides	13 Gran Esmeralda	90.17 <sup>a</sup>	25.53 <sup>bc</sup>	33	-
Diploides	18 MoradoTamazula	90.84 <sup>a</sup>	24.34 <sup>c</sup>	-	-
Diploides	19 Rendidora	90.38 <sup>a</sup>	24.38 <sup>c</sup>	-	-
Diploides	21 Palmarito	91.71 <sup>a</sup>	25.20 <sup>c</sup>	163	2.3
Tetraploides	2 UAN-II-113	54.81 <sup>b</sup>	28.75 <sup>ab</sup>	68	8.2
Tetraploides	5 UAN-II-101	55.82 <sup>b</sup>	30.98 <sup>a</sup>	123	10.1
Tetraploides	11 UAN-III-7	56.04 <sup>b</sup>	29.39 <sup>a</sup>	146	11.2
Tetraploides	16 UAN-II-107	64.92 <sup>b</sup>	31.08 <sup>a</sup>	88	8.5
Tetraploides	20 UAN-II-16	69.77 <sup>b</sup>	31.10 <sup>a</sup>	211	17.3
DMS		16.43	3.24		

\*Letras diferentes indican diferencias significativas a nivel ( $P \leq 0.05$ ). DMS= Diferencia mínima significativa.

#### 6.2.5. 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 (Tabla XXVII).

Tabla XXVII

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 plantulas (%)
20T X 19D*	2	15	24.2	95
16T X 19D	0	7	3.4	49
5 T X 19D*	8	0	17.3	96
2 T X 1D*	10	18	12.5	88
20T X 1D*	0	19	10.3	87
11T X 1D	0	3	2.6	39
16T X 1D*	0	31	17.6	72
11T X 21D*	5	11	18.7	89
16T X 21D*	7	11	23.0	92
2 T X 21D	0	13	7.7	38
5 T X 21D	0	13	3.6	48
5 T X 13D *	3	36	19.8	91
20T X 13D*	9	0	25.3	93
16T X 13D	3	16	6.9	37
11T X 18D	0	24	8.9	64
2 T X 13D*	5	13	22.3	92
16T X 18D	0	24	5.6	36

\*Cruzas evaluadas en campo en la tercera etapa.

### 6.3 Evaluación de Híbridos Triploides

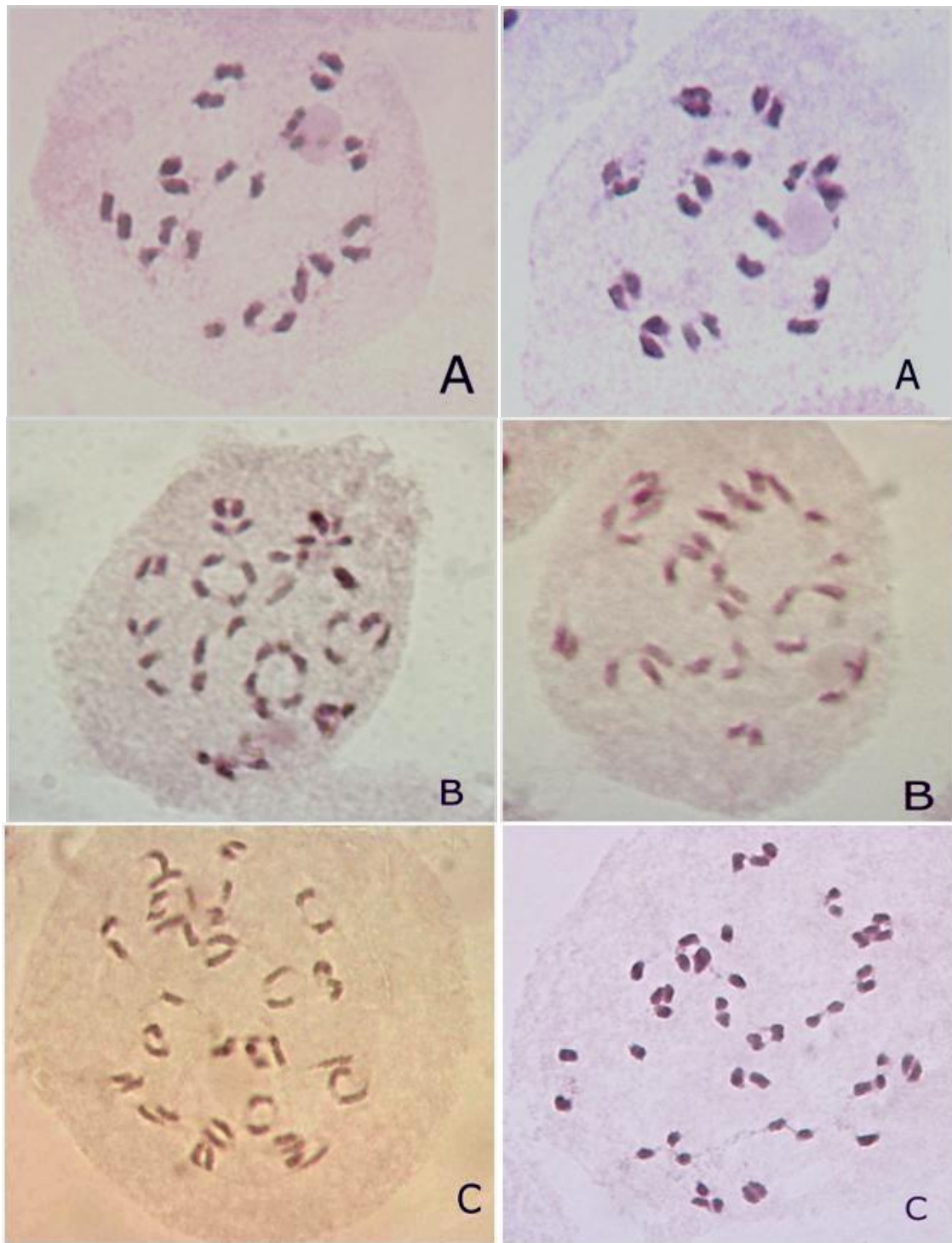
#### 6.3.1 Análisis Meiótico

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 13 y Tabla XXVIII). Sin embargo, las poliploidias de  $4X$  y  $2X$  encontradas sugieren la posibilidad que sean producto de autofecundación o de apomixis.

Tabla XXVIII

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
Total	108	7	90	11



**Figura 13.** Células en diacinesis de *Physalis ixocarpa* Brot. (A) diploides  $2n = 2x = 24$ , (B) triploides  $2n = 3x = 36$ , (C) tetraploides  $2n = 4x = 48$ , 100X.

Tabla XXIX

Cuadrados medios y valores de F, obtenidos del análisis de varianza aplicado a ocho variables de híbridos triploides y sus progenitores diploides y tetraploides de *Physalis ixocarpa* Brot.

F V	GL	Cuadrados Medios y Valores de F															
		RTF	F	NFP	F	PPF	F	DPF	F	DEF	F	FIR	F	SST	F	pH	F
Repts	4	0.027	0.45ns	1.564	0.73ns	0.336	0.80ns	1.965	2.39ns	3.257	4.97*	0.097	0.96ns	6.304	3.22*	1.733	3.62*
Trats	19	0.505	8.12**	10.673	3.41**	2.435	5.81**	2.982	3.62**	3.081	4.70**	0.980	9.59**	8.033	4.10**	2.640	5.51**
Error	76	0.062		3.126		0.419		0.824		0.655		0.102		1.957		0.479	
CV%		17.241		18.868		13.151		18.155		13.797		27.451		27.133		20.887	

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; SST = °Brix; FIR= Firmeza de fruto; pH = acidez. ns = no significativo (P>0.05), \* significativo (P<0.05), \*\* altamente significativo (P< 0.01).

### 6.3.2. 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 RTF, NF, PPF, DPF, DEF, FIR, SST y pH (Tabla XXIX), lo que sugiere la existencia de variabilidad genética que permite visualizar posibilidades para desarrollar variedades superiores en tomate de cáscara poliploides.

El rendimiento total de fruto en las diez cruzas y sus progenitores presentó una amplitud de 0.915 Kg/planta (2x1) a 4.264 Kg/planta (2x13). 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 (Figura 14). Las mejores cruzas en rendimiento de fruto fueron la 2x13 con (4.26 Kg/planta) y la 11x 21 con (3.07 Kg/planta), la 2x13 superó en 178.24% y 19.66% a su progenitor tetraploide 2 y que su progenitor diploide 13 respectivamente y la cruz 11x21 rindió 145.76% y 0.39% más que su progenitor tetraploide 11 y que su progenitor diploide 21 respectivamente (Figura 15 y Anexo I).

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 ( $P > 0.05$ ) a cinco progenitores diploides y cuatro tetraploides.

La comparación de medias para el PPF mostró que la cruz 11x21 (37.153g) presentó el mayor peso de fruto y fue estadísticamente igual ( $P > 0.05$ ) a las cruza 2x13, 16x1 y 16x2 y a cuatro progenitores diploides.

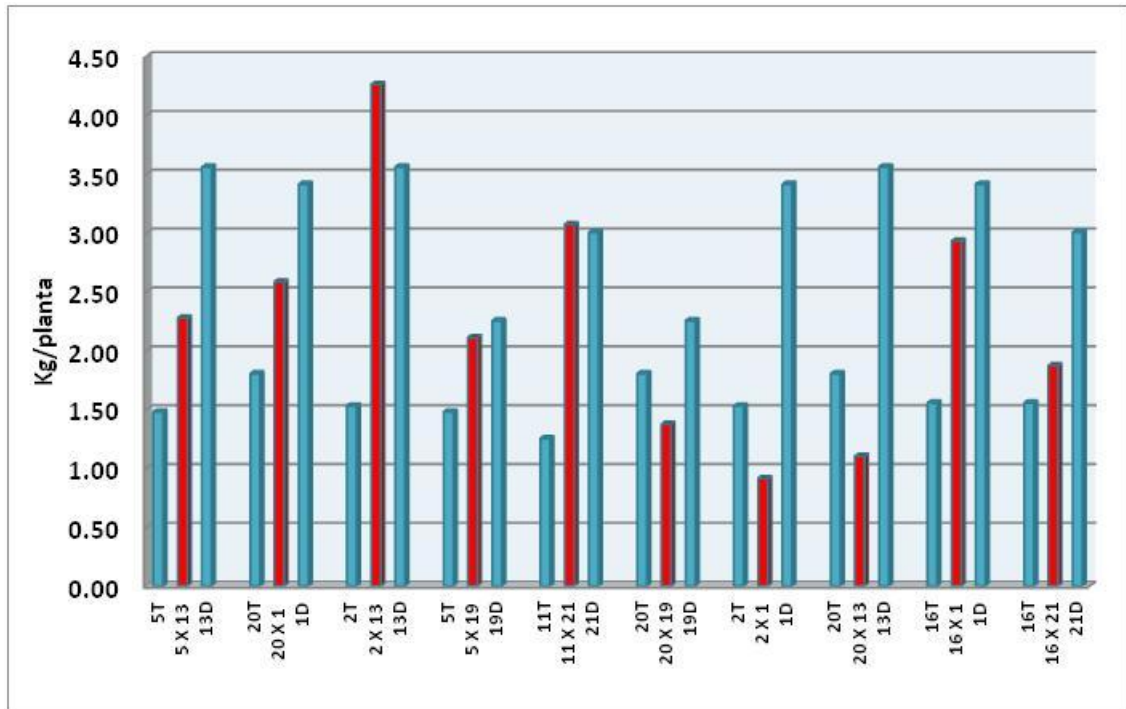


**Figura 14.** Frutos de la cruz 11 x21, 20 x19 y sus progenitores en tomate de cáscara

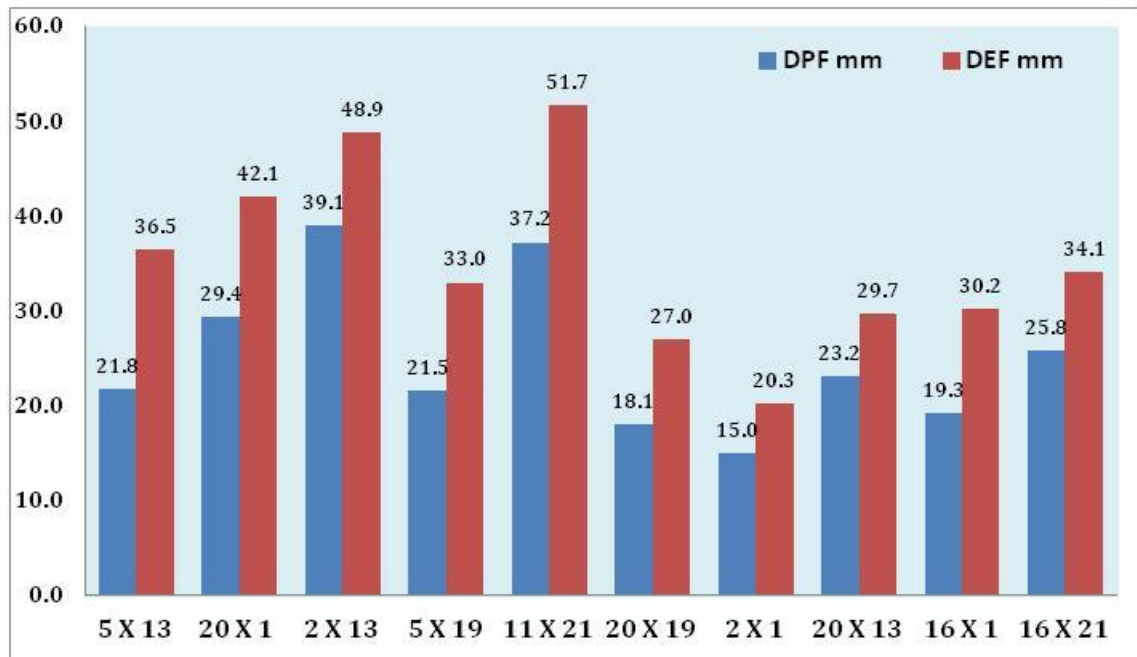
En el diámetro polar de fruto no hubo variación entre cruza ni entre progenitores ya que todos fueron estadísticamente iguales siendo únicamente diferente la cruz 2x1 que fue la que tuvo el menor diámetro polar de fruto.

La cruz 11x21 fue la que presentó el mayor diámetro ecuatorial de fruto 51.66 mm y fue igual a las cruza 5x13, 20x1, 2x13, 5x19 y 16x21, y a los cinco progenitores diploides y dos tetraploides. Sin embargo, en todas las cruza fue mayor el diámetro ecuatorial que el polar, dando frutos aplanados de los polos (Figura 16).





**Figura 15.** Rendimiento de fruto en Kg/planta, comparación de híbridos triploides y sus respectivos progenitores diploides y tetraploides



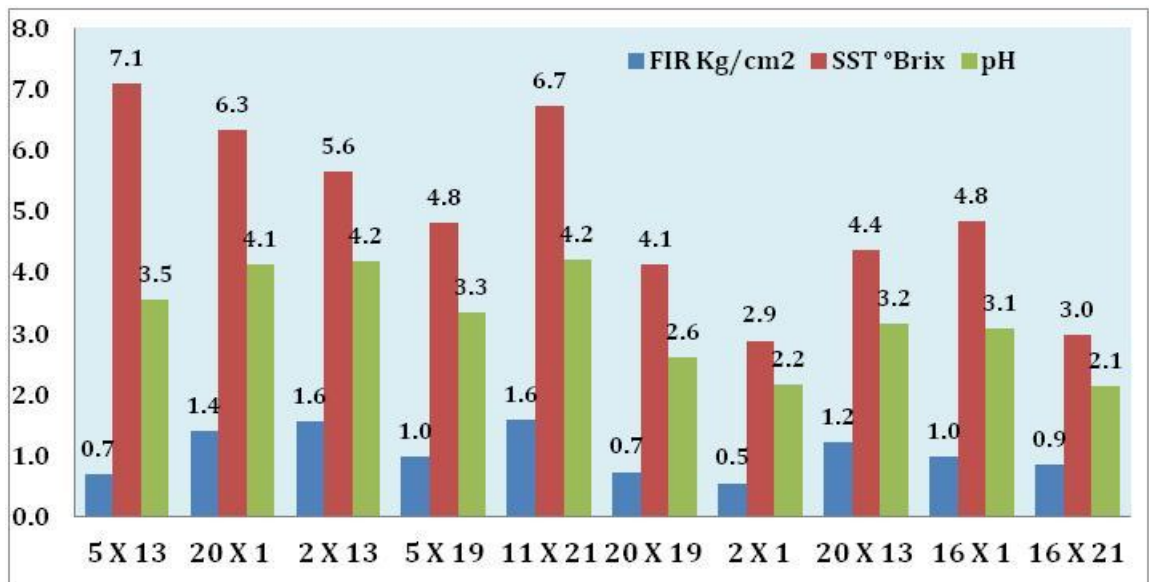
**Figura 16.** Diámetro ecuatorial y polar de frutos de híbridos triploides en tomate de cáscara.

### 6.3.3 Calidad de fruto en híbridos triploides y sus progenitores

Los valores más altos en firmeza de fruto lo presentaron los progenitores diploides, y fueron iguales estadísticamente ( $P>0.05$ ) a la cruza 20x1, 2x13 y 11x21.

En la comparación de medias para SST, los resultados (Anexo I) muestran que ocho híbridos fueron iguales ( $P>0.05$ ) entre si y además fueron iguales a los cinco diploides y a tres de los progenitores tetraploides.

Los valores de acidez del fruto de tomate de cáscara presentó valores muy uniformes para los híbridos triploides, encontrando que ocho de ellos son iguales estadísticamente ( $P>0.05$ ) y además fueron iguales a los diploides y a tres de los tetraploides, solo fueron diferentes ( $P<0.05$ ) dos híbridos y dos progenitores tetraploides (Anexo I, Figura 17).



**Figura 17.** Calidad de fruto, firmeza, °Brix y pH de fruto en híbrido triploides de tomate de cáscara *Physalis ixocarpa* Brot.

### 6.3.4 Determinación de heterosis y heterobeltiosis

La heterosis y heterobeltiosis para ocho variables de componentes del rendimiento y calidad de fruto generó información sobre el potencial de los progenitores tetraploides y diploides estudiados y de sus híbridos triploides para el mejoramiento genético del tomate de cáscara.

#### 6.3.4.1 Rendimiento total de frutos por planta.

Para el carácter rendimiento de fruto las cruzas 11x21 y 2x13 presentaron los mayores valores de heterosis que fueron de 44.22 y 67.48% respectivamente, otras cruzas presentaron valores más bajos pero importantes y fueron las cruzas 16x1 y 5x19 con heterosis de 17.99 y 13.06% respectivamente. Los híbridos que exhibieron mayor heterobeltiosis fueron 2x13 (19.76%) y 11x21 (2.20%). De acuerdo a este carácter destacaron dos cruzas porque además de mostrar heterosis superaron a su mejor progenitor en rendimiento de fruto (Tabla XXX y XXXI).

Tabla XXX

Valores de heterosis de diez cruzas de diploides por tetraploides en tomate de cáscara

Cruzas	RTF	NF	PPF	DPF	DEF	FIR	SST	pH
5 x 13	-9.519	-2.153	-13.802	-20.433	-3.613	-52.848	34.132	-1.320
20 x 1	-0.873	53.275	-33.472	-1.131	3.609	37.052	42.275	40.964
2 x 13	67.484	30.781	24.204	37.630	21.328	25.257	-10.007	11.547
5 x 19	13.067	46.171	-21.206	-11.706	-2.560	-31.357	-6.803	-4.820
11 x 21	44.222	19.633	24.950	20.474	57.715	27.645	45.721	42.149
20 x 19	-32.182	6.243	-10.833	-29.632	-25.630	-29.286	-9.940	-14.370
2 x 1	-62.992	-41.705	-21.698	-48.938	-49.965	-52.810	-51.927	-39.455
20 x 13	-58.835	-54.960	-16.739	-19.218	-26.395	11.078	-7.617	1.378
16 x 1	17.994	22.787	-6.262	-32.412	-19.658	-19.733	-17.904	-11.055
16 x 21	-17.842	-16.001	-2.654	-1.271	-4.485	-31.320	-50.057	-39.279

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, FIR= Firmeza de fruto, SST = °Brix, pH= Acidez.

Tabla XXXI

Valores de heterobeltiosis de diez cruzas de diploides por tetraploides en tomate de cáscara

Cruzas	RTF	NF	PPF	DPF	DEF	FIR	SST	pH
5 x 13	-35.954	-22.847	-29.287	-40.700	-22.678	-59.08	17.819	-12.011
20 x 1	-24.242	36.104	-44.443	-24.250	-11.847	-9.802	15.931	13.407
2 x 13	19.767	20.299	-10.093	6.426	3.420	-9.1741	-6.188	3.681
5 x 19	-6.351	35.014	-28.788	-30.049	-15.752	-38.27	-16.479	-13.538
11 x 21	2.207	9.962	-6.186	9.344	17.411	-3.506	21.193	12.164
20 x 19	-38.943	1.198	-15.145	-41.251	-31.01	-53.658	-28.018	-32.579
2 x 1	-73.197	-43.283	-44.456	-61.254	-57.531	-64.667	-47.240	-40.992
20 x 13	-68.984	-63.601	-28.535	-36.905	-37.107	-28.566	-27.402	-21.375
16 x 1	-14.087	11.61	-27.385	-50.268	-36.705	-37.516	-11.477	-15.57
16 x 21	-37.632	-18.156	-27.183	-24.128	-22.418	-47.582	-46.620	-43.057

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, FIR= Firmeza de fruto, SST = °Brix, pH= Acidez.

#### 6.3.4.2 Numero de frutos por planta.

De esta variable cuatro cruzas presentaron valores altos de heterosis, la 20x1, 5x19, 2x13 y 16x1 con valores de 22.78 a 53.27% y las cruzas 11x21 y 20x19 también presentaron heterosis, aunque con valores más reducidos, estos fueron de 19.63 y 6.24% respectivamente. Se encontraron valores de heterobeltiosis en las mismas seis cruzas, teniendo los valores más altos la cruzas 20x1, 5x19 y 2x13 lo cual significa que superaron a su mejor progenitor en número de frutos por planta en un 36.10, 35.01 y 20.29% respectivamente.

#### 6.3.4.3 Peso promedio de fruto.

En las cruzas 2x13 (24.20%) y 11x21 (24.95%) se encontraron valores importantes de heterosis, aunque no se encontró heterobeltiosis respecto a ésta variable, ya que ninguna cruz superó al mejor progenitor, respecto a ésta variable (Tablas XXV y XXVI).

#### 6.3.4.4 Diámetro polar y diámetro ecuatorial de fruto.

El diámetro polar del fruto variable que define el tamaño de fruto, presentó heterosis en las cruzas 2x13 y 11x21, éstas cruzas también presentaron heterobeltiosis ya que las mismas dos cruzas superaron a su mejor progenitor, presentando una sobreexpresión de este carácter.

Por otro lado las cruzas 2x13 y 11x21 presentaron heterosis en diámetro ecuatorial de fruto con valores de 57.71 y 21.32% respectivamente, la cruza 20x1 presentó un valor de heterosis bajo 3.60%. Los resultados de heterobeltiosis para esta característica también fueron para las cruzas 2x13 y 11x21 aunque bajos, pero de utilidad en el mejoramiento de nuevos genotipos (Tablas XXV y XXVI).

#### 6.3.4.5 Firmeza de fruto.

Las cruzas 20x1, 2x13 y 11x21, la 20x13 exhibieron heterosis para la variable firmeza de fruto, sin embargo, ninguna cruza presentó heterobeltiosis, lo cual indica que, en ésta variable en lugar de ganar, se perdió firmeza de fruto.

#### 6.3.4.6 Sólidos solubles totales.

De acuerdo con la estimación de heterosis y heterobeltiosis para esta variable se encontró que tres cruzas 5x13, 20x1 y 11x21 tuvieron valores altos de heterosis con 34.13, 42.27 y 45.72%, lo mismo ocurrió con la heterobeltiosis cuyos valores fueron de 17.81, 15.93 y 21.19 para las cruzas antes indicadas respectivamente (Tablas XXV y XXVI).

#### 6.3.4.7 Variable pH de frutos.

En esta característica cuatro cruzas presentaron heterosis, sin embargo, solo en la 20x1 y 11x21 los porcentajes fueron altos (ver Tabla XXV y XXVI), mientras que en las cruzas 20x1 y 11x21 y 2x13 se presentaron valores de heterobeltiosis que demuestran ser superiores al mejor progenitor.

## 7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos sobre el nivel de ploidía coinciden con los de Menzel (1951) y Grimaldo (1999) quienes mencionan, que el tomate de cáscara es diploide y su número haploide de cromosomas es de 12, es decir cada una de las células somáticas tienen 24 cromosomas (diploide  $2n = 2x = 24$ ). No obstante, que se ha encontrado que la inducción de poliploidía puede ser poco estable, ocurriendo el restablecimiento del número diploide de cromosomas (Molero y Matos, 2008). Por lo que se hizo necesario llevar a cabo estudios cromosómicos para corroborar el carácter poliploide de las plantas. En éste estudio fue posible comprobar la estabilidad cromosómica de los autotetraploides en tomate de cáscara ya que las 15 poblaciones bajo estudio resultaron tetraploides.

La citometría de flujo es una de las herramientas utilizadas para analizar el nivel de ploidía de plantas tratadas con colchicina, de acuerdo con Doležel (1997), éste método tiene grandes ventajas sobre el método alternativo que es el de conteos cromosómicos en mitosis o meiosis. Con el uso de la citometría de flujo se pudo comprobar con seguridad y exactitud la estabilidad cromosómica de los tetraploides en tomate de cáscara, puesto que se analizó el contenido de ADN en una gran cantidad de núcleos por planta, aunque también aparecieron algunas plantas triploides, esto podría haber sido causado por la fecundación entomófila de plantas tetraploides con polen de plantas silvestres de *P. ixocarpa* diploides las cuales se detectaron en la misma zona donde se estableció el lote para incrementar la semilla de los tetraploides, las que pudieron haber donado el polen y dar origen a plantas triploides. Otra posibilidad es la producción de algunos gametos con el número básico de cromosomas en las plantas tetraploides.

La duplicación del genoma en tomatillo produjo una reducción en la viabilidad del polen. Resultados similares encontraron Fernández (1987) y Arbo y Fernández (1983)

en otras especies autopolioides. 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 inviables. 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 autopolioides 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 ploidia 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 triploide en sandía se logra a través de cruzar una línea tetraploide como el componente femenino con una línea diploide como el donador de polen, la cruce 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.

Se encontró que los autotetraploides presentaron estomas más grandes, pero en menor cantidad por superficie foliar, en comparación con los diploides, coincidiendo con lo indicado por Borges (1971) quien señala que la densidad estomática en la superficie de las hojas es inversamente proporcional al nivel de ploidía y que el mayor tamaño de las células de los poliploides y de manera específica de las células oclusivas, es debido a que tienen núcleos con una dotación duplicada de cromosomas lo cual induce células más largas y más anchas, la densidad estomática en general se reduce así como la transpiración, por lo tanto los poliploides toleran mejor los ambientes más secos que los diploides. Valerio *et al.* (2002) observaron que los más bajos niveles de ploidía, presentaban densidades estomáticas más altas y además estomas reducidos. De acuerdo con Vandenhout *et al.* (1995), una alta densidad de estomas pequeños esta correlacionada con bajos niveles de ploidía. Por otro lado, Bethke y Drew, (1992); Cañizares *et al.*, (2003) mencionan que la densidad estomática e índice estomático son afectados por condiciones estresantes, tanto ambientales como nutricionales, y además dependen de la superficie de la hoja y de la especie. Aunque Wilkinson (1979), indica que la densidad estomática es una característica de diagnóstico muy utilizada en sistemática de plantas, dado que generalmente se mantiene sin alteraciones. En este trabajo se observaron diferencias entre diploides y tetraploides a pesar de haberse desarrollado bajo las mismas condiciones ambientales, o bien las condiciones ambientales afectaron de forma diferente a los diploides y tetraploides. Por lo tanto los resultados obtenidos permiten concluir que la duplicación del genoma en tomatillo promovió la reducción de la DE y el IE, pero aumentó el tamaño de estomas en las poblaciones autotetraploides estudiadas. En este caso los mayores valores de IE tanto de diploides como autotetraploides coincidieron con los mayores valores de DE, observados por Sanabria (2003). Aryavand *et al.*, (2003); Rêgo *et al.*, (2011) mencionan que la longitud de células guarda de los estomas, siempre es un método conveniente y confiable para la clasificación de plantas haploides, diploides y tetraploides, por lo tanto y de acuerdo con los resultados de tamaño y número de estomas por unidad de área, fue posible separar los diploides de los tetraploides en dos grupos diferentes.



Los tetraploides de tomate de cáscara presentaron mayor altura de planta, ancho de hojas, mayor diámetro de flores y tallos que los diploides, coincidiendo con Cequea (2000) quien menciona que los autopoliploides tienen una tolerancia ecológica más amplia y tamaños celulares más grandes, por su parte Imery y Cequea (2001) encontraron que los nuevos genotipos tetraploides de *A. vera* producían mayor acumulación de biomasa foliar, debido especialmente al incremento en el ancho y espesor de sus hojas. Molero y Matos (2008) observaron que la duplicación cromosómica en las células poliploides de *Aloe vera* causa un incremento en la altura de las plantas y en la longitud, ancho, espesor y volumen foliar con respecto a las plantas diploides y quimeras, por lo que se estima que la poliploidización podría constituir una alternativa para aumentar la producción de biomasa celular en esta especie. Robledo *et al.* (2004) encontraron que bajo condiciones de riego en maíz la altura de planta tuvo una correlación de 0.947 con rendimiento y mediante análisis de sendero se estimó un efecto directo de 0.5482, sobre el rendimiento de grano. El área foliar es una variable importante debido a que se relaciona directamente con la actividad fotosintética y ésta con la acumulación de reservas (Poehlman y Allen, 2005). Una variable que normalmente está relacionada con el tamaño de fruto es el tamaño de la flor y en este caso de acuerdo a los valores observados se puede afirmar que existe amplia variabilidad respecto a ésta característica.

Las poblaciones autotetraploides presentaron alto rendimiento de fruto ya que diez de estas fueron iguales a la variedad diploide que tuvo el mayor rendimiento medio (Gran Esmeralda 13), pero las poblaciones autotetraploides no pudieron superar en rendimiento a dos cultivares diploides. Sin embargo, los mejores tetraploides presentaron rendimientos que superaron el rendimiento medio nacional, así mismo los diploides 13 y 1 superan el rendimiento potencial de  $40 \text{ t ha}^{-1}$ , éstos resultados conciden con los reportados por Santiaguillo *et al.* (2004). Por esta razón se considera que estos nuevos tetraploides presentan un gran potencial para desarrollar nuevas líneas híbridas o bien para usarse como progenitores en la producción de híbridos triploides, como ha ocurrido en otros cultivos como melón donde se han logrado altos rendimientos con el uso de tetraploides (Nugent y Ray, 1992; Batra, 1952; Dumas, 1974). Cabe mencionar que los

teraploides evaluados son materiales que necesitan un proceso de selección y estabilización para lograr la expresión de todo su potencial. Por lo que de acuerdo con He *et al.* (2011) se debe hacer selección en base a estabilidad meiótica de los tetraploides ya que ellos encontraron que usando líneas progenitores con estabilidad meiotica (PMeS) mejora el desarrollo del embrión y la tasa de producción de semillas de híbrido tetraploides de arroz.

Como el rendimiento medio de los tetraploides fue estadísticamente superior al rendimiento de la población 19, de la cual se obtuvieron los tetraploides, se puede deducir que la formación de autotetraploides puede ser un procedimiento promisorio para incrementar el rendimiento de fruto en el cultivo de tomate de cáscara, ya que de acuerdo con Molero y Matos (2008) la duplicación cromosómica en las células poliploides causa un incremento en la altura de las plantas y en la longitud, ancho, espesor y volumen foliar con respecto a las plantas diploides y quimeras, por lo que se estima que la poliploidización podría constituir una alternativa para aumentar la producción de biomasa celular en esta especie.

El menor PPF en tetraploides es debido en parte a que los tetraploides tuvieron mayor número de frutos, pero de menor tamaño, sin embargo el diámetro ecuatorial en los tetraploides fue superior a los diploides, dando frutos de forma achatada en los polos, estos resultados permiten afirmar que la autopoliploidia modificó la forma del fruto en tomate de cáscara, resultados similares se encontraron en tetraploides de melón (Nugent y Adelberg, 1995). Por otra parte también se observaron frutos con huecos entre el mesocarpio y endocarpio, esto puede ser consecuencia de una baja polinización que trae como resultado baja formación de semilla, y por lo tanto baja síntesis de giberelinas y auxinas, reguladores vegetales que promueven la división celular y el desarrollo del fruto (Bünger y Bangerth, 1982). La baja polinización es consecuencia de las irregularidades meióticas que llevan a la pérdida de cromosomas en anafase I y II, produciendo micronúcleos extras y granos de polen anormales (Cequea, 2000), que llevan a la planta a tener una reducida producción de semilla, o la pérdida de fertilidad, sin embargo, se sabe que los nuevos autopoliploides son altamente variables para esta característica (Ramsey y Schemske, 2002), a diferencia de los diploides que normalmente tienen una meiosis regular, con óvulos y granos de polen con números

cromosómicos sin irregularidades cromosómicas, originando frutos normales, señalados en la figura 1.

En lo que se refiere a contenido SST en frutos de tomate de cáscara, no hubo diferencias entre diploides y tetraploides pero se encontró que todos los materiales evaluados fueron superiores a los valores reportados en tomatillo por Santiaguillo *et al.* (2004).

La baja firmeza de fruto en los tetraploides fue debido a que éstos presentaron un llenado parcial con un hueco entre el endocarpio y mesocarpio por lo tanto en la formación de tetraploides y para un proceso de selección se deberá de evitar ésta característica negativa. Estos resultados podría estar relacionada con lo encontrado por Tomekpe *et al.* (2004) en banana, donde la pérdida de firmeza fue debido al alto contenido de agua en los frutos tetraploides que maduran y se ablandan rápidamente. Además de acuerdo con Ospina *et al.* (2007) pudo haber influido el estado de la fruta en el momento de recolección, de la temperatura y forma de almacenamiento.

En vitamina C los tetraploides fueron superiores a los diploides, incluso hubo algunos que duplicaron el valor de los diploides, tal vez debido a que los poliploides tienen mayor capacidad de producción de metabolitos secundarios (Cequea, 2000), por lo que estos resultados indican que con la duplicación del genoma en tomate de cáscara podría incrementarse el contenido de vitamina C, característica que sería relevante, debido a que la vitamina C es uno de los principales nutrientes de las frutas y hortalizas cuyo aporte en la dieta humana depende exclusivamente de estas fuentes, además la vitamina C tiene una función importante en la nutrición debido a que es un antioxidante que contribuye a la salud humana y se le atribuye el fortalecimiento del organismo en defensa de enfermedades cardiovasculares (Carr y Frei, 1999). Estos resultados preliminares indican que los tetraploides de *Physalis ixocarpa* puede ser utilizado para obtener genotipos con propiedades antioxidantes mejorados. De igual forma Viehmannová *et al.* (2012) encontraron que con la inducción de poliploidía en microtubérculos de *Ullucus tuberosus* el peso promedio de los octaploides fue menor en comparación con los diploides, sin embargo, estos fueron ricos en vitamina C y además tenían menor contenido de almidón.

Las correlaciones positivas y significativas de rendimiento de fruto con los caracteres morfológicos como largo de hoja y diámetro de flor observadas en las poblaciones diploides, indican la importancia de estas características sobre el rendimiento de fruto probablemente por una mayor capacidad fotosintética de hojas más grandes, sin embargo en las poblaciones tetraploides estos caracteres tuvieron correlación negativa significativa, indicando que a mayor tamaño de hoja y de planta, menor es el rendimiento de fruto, lo anterior pudiera ser consecuencia de una mayor movilización de fotosintatos hacia los caracteres morfológicos antes citados y no a la formación de fruto, esto también pudiera atribuirse a que debido al tamaño de hojas hubo mayor sombreado entre ellas, por lo tanto menor radiación fotosintéticamente activa y menor producción de fotoasimilados por planta (Sánchez *et al.*, 1999), característica que pudiera mejorarse sembrando los tetraploides a menor densidad. Los resultados de los tetraploides coinciden con Kruiteva (1985) ya que tampoco encontró correlación entre el rendimiento y la altura de planta y longitud de fruto en berenjena, pero sí entre el número de frutos por planta y el peso de fruto, lo que de acuerdo con Damjanovic *et al.* (2002) obedece a la alta heredabilidad que tienen estas dos variables, por ser poco afectadas por el ambiente. Se puede indicar que el incremento en el nivel de ploidía afecta la redistribución de fotosintatos que se refleja, en mayor número de frutos y de pesos promedios de fruto probablemente como consecuencia de diámetros ecuatoriales mayores, aunque como sucedió en los diploides, también en los tetraploides el diámetro polar no tiene influencia sobre el rendimiento de frutos.

Las diferencias estadísticas observadas entre ambientes permiten deducir que los genotipos estudiados tienen una adaptación específica a uno u otro de los ambientes estudiados, en este sentido Blum (1988) indica, que los factores responsables del rendimiento a través de ambientes contrastantes, y la fracción de esos factores específicos es muy relevante para entender la naturaleza de la estabilidad del rendimiento y puede abrir camino para el desarrollo de criterios adicionales de selección para rendimiento de fruto. Dadas las diferencias estadísticas observadas entre las poblaciones bajo estudio es posible concluir que existe amplia diversidad tanto entre las poblaciones diploides, como entre las tetraploides, como consecuencia de la diversidad

genética considerada en los diploides utilizados en ésta investigación y la variabilidad generada en la formación de los tetraploides, además de que la autoincompatibilidad que existe en la especie, induce la polinización cruzada de acuerdo a lo reportado por Pandey (1957). Por otro lado Cubero (2003) menciona que la poliploidia incrementa de forma importante la variabilidad ya que en un diploide los dos alelos de un gen pueden formar tres combinaciones, pero en un tetraploide, con estos mismos alelos es posible formar cinco combinaciones, ahora si se consideran todos los genes que existen en 24 cromosomas que posee el tomate de cáscara, la variabilidad se incrementa de forma importante, además el origen geográficamente distante, de los materiales utilizados en el presente trabajo de investigación, es otra fuente de variabilidad, ya que los factores bióticos y abióticos de cada región son específicos de cada región e inducen adaptación genética del genotipo respectivo.

En esta investigación el cultivar rendidora (diploide 19 el cual se tomo 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 gametofítico 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 poliploidía. Miller y Venable (2000), proponen que la poliploidía 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) e Inzunza *et al.* (1999).

De acuerdo con el análisis de los conteos cromosómicos en diacinesis de la meiosis I, de las diez cruzas 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 ploidías 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 tetraivalentes. 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 DeWet (1980). Dado que el

estudio meiótico solo se realizó con la finalidad de determinar los niveles de plodía solo se contó el número de cromosomas por célula, se hicieron observaciones visuales de las asociaciones cromosómicas, sin embargo falta por realizar un estudio detallado para aseverar con precisión las asociaciones cromosómicas de los poliploides.

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.*, (2009b); Maynard *et al.*, (1992); Nugent y Adelberg, (1995); Estrada, (1990) al formar híbridos triploides en especies como sandía, melón, mandarina, limón y papa.

Las diferencias altamente significativas entre los valores medios de todas las variables estudiadas en los progenitores diploides, tetraploides y sus cruzas, 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 cruzas la 2x13 y 11x21 y 16x1 superaron el rendimiento encontrado en los mejores híbridos de las cruzas 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 craza 20 x1 que presento un gran número de frutos pero tuvo bajos rendimientos, esto se explica, dado que esta craza tuvo plantas quiméricas menos desarrolladas, que dieron frutos pequeños exhibiendo bajo PPF y bajos valores de DEF y DPF. Por el contrario la craza 11x21 presento 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.*, 2009a; Rhodes y Zhang, 2000).

En general la firmeza de fruto, tanto en híbridos como progenitores tetraploides fue baja en comparación con la reportada por Santiaguillo *et al.* (2004), sin embargo, dos de las cruzas más rendidoras fueron las que presentaron los valores más altos, similares a sus progenitores diploides. De acuerdo con Aleza *et al.*, (2009b); Nugent y Adelberg, (1995); Rhodes y Zhang, (2000), los híbridos triploides generalmente presentan esterilidad, debido tal vez a la formación de gametos desbalanceados estériles originando frutos sin semilla (Jackson y Casey, 1980). Una de las causas de baja firmeza en *Solanum lycopersicum* es debido a que las semillas no se han desarrollado completamente en el lóculo y como resultado no han liberado hormonas que estimulen la producción de la sustancia amniótica gelatinosa que proporciona firmeza al fruto (Marlow, 2010). Para mejorar esta característica negativa en los híbridos, deberán buscarse nuevas alternativas como las utilizadas por Qiu *et al.* (1995) quienes retrasaron el ablandamiento de los tejidos aumentando los niveles de calcio en frutos de papaya, manteniendo así la calidad de los mismos. Dos de los híbridos triploides de tomate de cáscara presentaron valores de SST más altos que sus progenitores diploides y tetraploides, estos resultados coinciden con Nugent y Adelberg (1995) quienes encontraron que los híbridos triploides de melón presentaron niveles de azúcar más altos que sus progenitores diploides.



Los valores de heterosis en rendimiento total de fruto de las cruzas 2x13 y 11x21 fueron superiores a los encontrados por (Santiaguillo *et al.*, 2004; Peña *et al.*, 1998), en híbridos en tomate de cáscara, sin embargo, aunque los híbridos triploides provenientes de la craza 2 x13 y 11 x 21 superaron al mejor progenitor los valores de heterobeltiosis fueron menores a los encontrada en los híbridos planta a planta formados por Santiaguillo *et al.* (2004), pero si fueron superiores a los valores de heterobeltiosis encontrada en los híbridos desarrollados por Peña *et al.* (1998). Por lo que los diploides 13 y 21, y los tetraploides 2 y 11 podrían ser la base de un programa de mejoramiento por hibridación, dado el patrón heterótico detectado. La posibilidad de tener altos valores de heterobeltiosis en los híbridos triploides es debido a que se incrementa la posibilidad de combinaciones alélicas para una determinada característica. Por otro lado el control de caracteres cuantitativos está en gran parte afectada por múltiples loci que exhiben un efecto de la dosis alélica (Tanksley, 1993).

Dado que el número de frutos por planta y peso promedio de fruto son componentes estrechamente relacionados con el rendimiento, las mismas cruzas 2x13 y 11x21 también presentaron heterosis, pero únicamente en número de frutos por planta los híbridos triploides superaron al mejor progenitor heterobeltiosis, sin embargo en lo que se refiere al peso promedio de fruto los híbridos triploides no pudieron superar al mejor progenitor debido a que estos presentaron una gran cantidad de frutos pequeños de menor peso.

De acuerdo a los resultados de DPF y DEF las cruzas 2x13 y 11x21 presentaron heterosis y superaron al mejor progenitor en dichas variables, sin embargo, los valores de heterosis y heterobeltiosis fueron más altos en DEF para la los híbridos triploides de la craza 11x21, indicando que la poliploidía influye en la forma del fruto de los triploides tendiendo a dar frutos mas redondos y achatados como se vio en los tetraploides de tomate de cáscara, esto coincide con lo encontrado por Nugent y Adelberg (1995) en híbridos triploides de melón, y por Aleza *et al.* (2009b) en híbridos triploides de mandarina.

Cuatro cruzas o triploides presentaron heterosis para firmeza de fruto, sin embargo ninguna craza presentó heterobeltiosis, una de las causas de baja firmeza puede ser

debido a que no se desarrollan suficientes semillas o bien tienen un desarrollo anormal y como resultado no han liberado hormonas que estimulen la producción de la sustancia amniótica gelatinosa que proporciona firmeza al fruto (Marlow, 2010).

En lo que se refiere a SST tres cruzas presentaron heterobeltiosis, lo cual sugiere que esta característica podría presentar un aumento en la expresión de este carácter en algunas cruzas de diploides con tetraploides para la formación de híbridos triploides. Dado que los valores de SST de estos híbridos superan a los encontrados por Santiagullo *et al.* (2004) en los genotipos CHF1-Chapingo y Verde Puebla de *Physalis ixocarpa* y además los resultados son muy similares a los reportados por González *et al.* (2011) en genotipos de *Physalis ixocarpa* morado.

## 8. CONCLUSIONES

Los autotetraploides estudiados presentaron estabilidad cromosómica, lo cual fue demostrado mediante estudio citogenético y por citometría de flujo.

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

En los autotetraploides de tomate de cáscara se modificó la densidad y el tamaño de estomas, características importantes en procesos fisiológicos de las plantas, además se generaron plantas con caracteres morfológicos más vigorosos, variables de gran importancia en el mejoramiento de esta especie.

La duplicación del genoma en *Physalis ixocarpa* redujo o evitó 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.

La formación de autopoliploides en esta especie, permite incrementar los contenidos de metabolitos secundarios entre ellos la vitamina C y modificar otras características relacionadas con la calidad del fruto.

De acuerdo a los mejores rendimientos y calidad de fruto se identificaron poblaciones diploides y autotetraploides de alto rendimiento y calidad de fruto, que podrán utilizarse como progenitores en la formación de híbridos triploides.

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 heterosis en rendimiento (2x13, 5x19, 11x21, 16x1) y dos de estas cruzas (2x13 y 11x21) presentaron heterobeltiosis y altos valores de heterosis 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.

La diversidad que existe en las poblaciones diploides de tomate de cáscara puede ser incrementada de manera importante con la formación de autotetraploides, y ésta variabilidad puede ser aprovechada para realizar un proceso de selección y desarrollar poblaciones con mayores rendimientos.

## 9. ANEXO I

Tabla XXIV

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	NFP	PPF	DPF	DEF	FIR	SST	pH
	Kg	Nº	g.	mm	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	°Brix	
<b>HIBRIDOS TRIPLOIDES</b>								
5 X 13	2.280 <sup>bcde</sup> *	96 <sup>abc</sup>	23.650 <sup>bcde</sup>	21.761 <sup>ab</sup>	36.532 <sup>abcdef</sup>	0.702 <sup>fgh</sup>	7.088 <sup>a</sup>	3.545 <sup>abc</sup>
20 X 1	2.587 <sup>abcde</sup>	134 <sup>ab</sup>	19.869 <sup>de</sup>	29.353 <sup>ab</sup>	42.080 <sup>abcde</sup>	1.400 <sup>abcdef</sup>	6.332 <sup>abc</sup>	4.135 <sup>a</sup>
2 X 13	4.264 <sup>a</sup>	149 <sup>a</sup>	30.070 <sup>abcd</sup>	39.055 <sup>a</sup>	48.862 <sup>ab</sup>	1.558 <sup>abcde</sup>	5.644 <sup>abcd</sup>	4.178 <sup>a</sup>
5 X 19	2.111 <sup>bcde</sup>	114 <sup>abc</sup>	18.896 <sup>de</sup>	21.544 <sup>ab</sup>	32.991 <sup>abcdef</sup>	0.976 <sup>bcdefgh</sup>	4.799 <sup>abcd</sup>	3.341 <sup>abc</sup>
11 X 21	3.072 <sup>abc</sup>	84 <sup>abc</sup>	37.153 <sup>ab</sup>	37.214 <sup>ab</sup>	51.661 <sup>a</sup>	1.585 <sup>abcd</sup>	6.730 <sup>ab</sup>	4.197 <sup>a</sup>
20 X 19	1.376 <sup>cde</sup>	86 <sup>abc</sup>	22.516 <sup>bcde</sup>	18.094 <sup>ab</sup>	27.016 <sup>ef</sup>	0.732 <sup>fgh</sup>	4.136 <sup>abcd</sup>	2.605 <sup>abc</sup>
2 X 1	0.915 <sup>e</sup>	59 <sup>bc</sup>	19.864 <sup>de</sup>	15.014 <sup>b</sup>	20.273 <sup>f</sup>	0.549 <sup>gh</sup>	2.882 <sup>d</sup>	2.152 <sup>bc</sup>
20 X 13	1.104 <sup>e</sup>	45 <sup>c</sup>	23.902 <sup>bcde</sup>	23.154 <sup>ab</sup>	29.714 <sup>bcdef</sup>	1.226 <sup>bcdefgh</sup>	4.368 <sup>abcd</sup>	3.168 <sup>abc</sup>
16 X 1	2.934 <sup>abcd</sup>	110 <sup>abc</sup>	25.969 <sup>abcde</sup>	19.271 <sup>ab</sup>	30.214 <sup>bcdef</sup>	0.970 <sup>cdefgh</sup>	4.835 <sup>abcd</sup>	3.079 <sup>abc</sup>
16 X 21	1.875 <sup>bcde</sup>	66 <sup>b</sup>	28.838 <sup>abcde</sup>	25.822 <sup>ab</sup>	34.136 <sup>abcdef</sup>	0.861 <sup>defgh</sup>	2.964 <sup>d</sup>	2.131 <sup>bc</sup>
<b>PROGENITORES DIPLOIDES</b>								
1D	3.415 <sup>ab</sup>	99 <sup>abc</sup>	35.763 <sup>abc</sup>	38.751 <sup>a</sup>	47.736 <sup>abc</sup>	1.553 <sup>abcde</sup>	5.462 <sup>abcd</sup>	3.646 <sup>abc</sup>
13D	3.560 <sup>ab</sup>	124 <sup>abc</sup>	33.445 <sup>abcd</sup>	36.697 <sup>ab</sup>	47.246 <sup>abcd</sup>	1.716 <sup>ab</sup>	6.016 <sup>abcd</sup>	4.029 <sup>a</sup>
18D	1.801 <sup>bcde</sup>	121 <sup>abc</sup>	14.899 <sup>e</sup>	30.139 <sup>ab</sup>	36.710 <sup>abcdef</sup>	2.014 <sup>a</sup>	6.039 <sup>abcd</sup>	4.193 <sup>a</sup>
19D	2.254 <sup>bcde</sup>	85 <sup>abc</sup>	26.535 <sup>abcde</sup>	30.799 <sup>ab</sup>	39.159 <sup>abcdef</sup>	1.580 <sup>abcd</sup>	5.746 <sup>abcd</sup>	3.864 <sup>a</sup>
21D	3.006 <sup>abc</sup>	77 <sup>abc</sup>	39.603 <sup>a</sup>	34.033 <sup>ab</sup>	44.000 <sup>abcde</sup>	1.642 <sup>abc</sup>	5.553 <sup>abcd</sup>	3.742 <sup>ab</sup>
<b>PROGENITORES TETRAPLOIDES</b>								
2T	1.531 <sup>cde</sup>	104 <sup>abc</sup>	14.975 <sup>e</sup>	20.057 <sup>ab</sup>	33.299 <sup>abcdef</sup>	0.772 <sup>fgh</sup>	6.527 <sup>abc</sup>	3.461 <sup>abc</sup>
5T	1.480 <sup>cde</sup>	72 <sup>abc</sup>	21.428 <sup>cde</sup>	18.002 <sup>ab</sup>	28.556 <sup>cdef</sup>	1.262 <sup>bcdefg</sup>	4.553 <sup>abcd</sup>	3.156 <sup>abc</sup>
11T	1.255 <sup>de</sup>	64 <sup>bc</sup>	19.866 <sup>de</sup>	27.745 <sup>ab</sup>	21.512 <sup>f</sup>	0.841 <sup>efgh</sup>	3.684 <sup>bcd</sup>	2.163 <sup>bc</sup>
16T	1.558 <sup>cde</sup>	81 <sup>abc</sup>	19.645 <sup>de</sup>	18.275 <sup>ab</sup>	27.478 <sup>def</sup>	0.865 <sup>defgh</sup>	6.317 <sup>abc</sup>	3.276 <sup>abc</sup>
20T	1.805 <sup>bcde</sup>	77 <sup>abc</sup>	23.968 <sup>bcde</sup>	20.627 <sup>ab</sup>	33.494 <sup>abcdef</sup>	0.491 <sup>gh</sup>	3.439 <sup>cd</sup>	2.221 <sup>bc</sup>
DMS	0.57	4.10	1.50	2.10	1.87	0.74	3.24	1.60

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; FIR= Firmeza de fruto; SST = °Brix; pH = Acidez. \*Letras diferentes indican diferencias significativas a nivel (P ≤ 0.05) según Zar, (2010). DMS = Diferencia mínima significativa.

## 10. LITERATURA CITADA

Aleza P, Juárez J, Ollitrault P, Navarro L. 2009a. Production of tetraploid plants of non apomictic citrus genotypes. *Plant Cell Reports* 28(12):1837-1846.

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

Alfonsi C, Cequea H. 2000. Cytogenetic analysis of the artificial tetraploid *Lycopersicon esculentum* var cerasiforme. *Ciencia* 8(2): 119-126.

AOAC, 2000. Official methods of analysis, 17<sup>th</sup>ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.

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

Aryavand A, Ehdaie B, Tran B, Waines JG. 2003. Stomatal frequency and size differentiate ploidy levels in *Aegilops neglecta*. *Genetic Resources and Crop Evolution* 50: 175-182.

Arroyo PJ. 1999. Fertilización del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) con base en el análisis de suelo. Tesis profesional Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 76p.

Ayala PJP, Peña LA, Mulato BJ. 1992. Caracterización de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Chapingo, México. *Revista Chapingo* 79/80:128-137.

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

Barcelos CM, Kaltchuk SE, Mundstock EC, Bodanese ZMH. 2004. Initial segmentation patterns of microspores and pollen viability in soybean cultured anthers: indication of chromosome doubling. *Braz. Arch. Biol. Techn.* 47:703-712.

Batra S. 1952. Induced tetraploidy in melons. *J. Hered.* 43:141-148.

Bethke PC, Drew M. 1992. Stomatal and nonstomatal competens to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity. *Plant Physiology* 99: 219-226.

Blum A. 1988. Plant breeding for stress environments. Boca Raton, Fla.: CRC press. sites. 18-28. 223p.

Bock MA, Sanchez PJ, McKee LJ, Ortiz M. 1995. Selected nutritional and quality analyses of tomatillo (*Physalis ixocarpa*). *Plant Foods Hum.Nutr.*48: 127-133.

Borges OL. 1971. Tamaño y densidad de estomas en clones cultivados y especies silvestres de Musa. *Agronomía Tropical* 21(2): 139 - 143.

Bukasov SM. 1963. Las plantas cultivadas en México, Guatemala y Colombia. Lima. IICA. Publicación Especial 20: 2440 p.

Bünger KS, Bangerth F. 1982. Relationship between cell number, cell size and fruit size of seeded fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), and those induced parthenocarpically by the application of plant growth regulators. *Plant Growth Regulation* 1(3):143-154.

Caceres A, Alvarez AV, Ovando AE, Samayoa BE. 1991. Plants used in Guatemala for the treatment of respiratory diseases. 1. Screening of 68 plants against gram-positive bacteria. *Journal of Ethnopharmacology* 31:193–208.

Cameron JW, Burnett RH. 1978. Use of sexual tetraploid seed parents for production of triploid citrus hybrids. *Hort. Science* 13:167–169.

Cantwell M, Flores J, Trejo A. 1992. Developmental changes and postharvest physiology of tomatillo fruits (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Sci. Hortic-Amsterdam*. 50: 59-70.

Cañizares A, Sanabria ME, Rodríguez DA, Perozo Y. 2003. Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de lima Tahití (*Citruslatifolia Tanaka*) injertada sobre ocho patrones cítricos. *Revista Científica UDO Agrícola* 3 (1): 59-64.

Carr AC, Frei B. 1999. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 69(6): 1086-1107.

Cartujano EF, Jankiewicz VL, Fernández OM, Mulato BJ. 1985. The development of the husk tomato plant (*Physalis ixocarpa* Brot.). Aerial vegetative parts. *Acta Soc. Bot. Poloniae*. 54:327-338.

Castro BR, Galvis SA, Sánchez JP, Peña LA, Sandoval VM, Alcántara GG. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 10: 147-152.

Cequera AC. 2000. Cytogenetic analysis of the artificial tetraploid *Lycopersicon esculentum* var *cerasiforme*. *Ciencia* 8(2): 119-126.

Chen Ch, Hou X, Zhang H, Wang G, Tian L. 2011. Induction of *Anthurium andraeanum* “Arizona” tetraploid by colchicine in vitro. *Euphytica* 181(2): 137-14.

Choi KJ, Murillo G, Su BN, Pezzuto MJ, Kinghorn AD, Mehta GR. 2006. Ixocarpalactone A isolated from the Mexican tomatillo shows potent antiproliferative and apoptotic activity in colon cancer cells. *FEBS Journal* 273:5714-5723.

Chopra VL, Swaminathan MS. 1960. Induction of polyploidy in watermelon. *Plant Sciences* 51( 2): 57-65

Cubero JJ. 2003. Introducción a la mejora genética vegetal (2 ed.). Mundi-Prensa. España. 365 p.

Damnjanovic J, Zecevic B, Stevanovic D, Prodanovic S. 2002. Inheritance of yield components in diallel crossing of divergent genotypes (*Solanum melongena* L.). *Acta horticulturae (ISHS)* 579:197-201.

D'Arcy WG. 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.

DeWet JMJ. 1980. Origin of polyploids. In *Polyploidy*. Plenum, Lewis HW (eds). Nueva York, EEUU. pp. 3-15.

Doležel J. 1997. Applications of flow cytometry for the study of plant genomes. *Journal of Applied Genetics* 38:285-302.

Dumas de VR. 1974. Étude des possibilités d'utilisation de la polyploidie dans l'amélioration du melon (*Cucumis melo* L.). *Annales.Amelior Plantes* 24:389-403.

Doyle JJ, Flagel EL, Paterson HA, Rapp AR, Soltis ED, Soltis SP, Wendel FJ. 2008. Evolutionary genetics of genome merger and doubling in plants. *Annu. Rev. Genet.* 42: 443-461.

Esen A, Soost RK, Geraci G. 1978. Seed set, size and development after 4x-2x and 4x-4x crosses in Citrus. *Euphytica* 27:283-293.

Estrada RN. 1990. Híbridos triploides derivados de *Solanum stolonifenun* y su valor en el mejoramiento de la papa. *Revista Latinoamericana de la Papa* 3:80-87.

Estrada TV, Peña LA, Contreras ME. 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.

Fisher G, Buitrago MT, Ludders P. 1990. [*Physalis peruviana* L.-cultivation and investigation in Colombia.]. *Physalis peruviana* L.-Anbau and Forschung in Kolombien. *Erverbs-Obstbau* 32(8):228-232.



Gantait S, Mandal N, Bhattacharyya S, Das PK. 2011. Induction and identification of tetraploids using in vitro colchicine treatment of *Gerbera jamesonii* Bolus cv. Sciella. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 106 (3):485-493.

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

González MD, Ascencio MD, Hau PA, Mendez TV, Grimaldo JO, Santiaguillo HJF, Cervantes DL, Aviles MSM. 2011. Phenolic compounds and physiochemical analysis of *Physalis ixocarpa* genotypes. *Scientific Research and Essays* 6(17):3808-3814.

González ME, Estévez A, Rodríguez T. Álvarez M. 1992. Estudio de la fertilidad del polen en especies de papa. *Cultivos Tropicales* 13(1):70-73.

González ME, Estévez A, Castillo J, Salomón J, Moré O, Hernández MM. 2002. La calidad del polen: Requisito indispensable del mejoramiento tradicional de la papa en Cuba. *Revista Latinoamericana de la Papa* 13:75-94.

Grimaldo JO, García VA, Peña LA. 1999. Morfología Cromosómica y comportamiento meiótico en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1) 31-35.

Hagiwara JC, Kato CA, García LEA, Mori M, Greppi J. 2002. Obtención de poliploides en *Calibrachoa pygmaea* mediante el uso de colchicina *in vitro*. In: 1er. Congreso Argentino de Floricultura y Plantas Ornamentales y 4tas. Jornadas Nacionales de Floricultura Bs. As. p 90.

He YC, Wei Q, Ge J, Jiang AM, Gan L, Song ZJ, Cai DT. 2010. Genome duplication effects on pollen development and the interrelated physiological substances in tetraploid rice with polyploid meiosis stability. *Planta*. 232(5):1219-1228.

He YC, Ge J, Wei Q, Jiang AM, Gan L, Song ZJ, Cai DT. 2011. Using a polyploid meiosis stability (PMES) line as a parent improves embryo development and the seed set rate of a tetraploid rice hybrid. *Can. J. Plant Sci.* 91:325-335.

Hudson DW. 1986. Relationships of domesticated and wild *Physalis philadelphica*. En: D'Arcy W. G. (Ed.) *Solanaceae Biology and Systematics*. Columbia University Press. New York, U.S.A. pp.416-432.

Imery J, Cequea H. 2001. Colchicine-induce autotetraploid in *Aloe vera* L. *Cytologia* 66:409-413.

Inzunza CJF, García VA, Carballo CA, Peña LA. 1999. Viability, pollen and seed size in husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Agricultura Técnica en México* 25(1):69-77.

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

Jewell DC, Islam FN. 1994. A technique for somatic chromosome preparation and c-banding of maize in walbot M. Freeling V. *The maize handbook*. Spring-Vorlang, NY. USA. p. 484-493.

Kaensaksiri T, Soontornchainaksaeng P, Soonthornchareonnon N, Prathanturarug S. 2011. In vitro induction of polyploidy in *Centella asiatica* (L.) Urban. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 107(2):187-194.

Kruiteva L. 1985. Correlation in eggplant. Italia. *Capsicum News*. 4:82

Kulkarni M, Borse T. 2010. Induced polyploidy with gigas expression for root traits in *Capsicum annuum* (L.). *Plant Breeding*. 129(4):461-464.

Lee LS. 1988. Citrus polyploidy. Origins and potential for cultivar improvement. *Aust. J. Agric. Res.* 39:735-747.

Leitch AR, Leitch IJ. 2008. Genomic plasticity and the diversity of polyploid plants. *Science* 320:481-483.

Liu G, Li Z, Bao M. 2007. Colchicine-induced chromosome doubling in *Platanus acerifolia* and its effect on plant morphology. *Euphytica* 157(1-2): 145-154.

Macias RF. 1995. Propiedades Físicas de fruto de tomate de cáscara y cambio por daño mecánico cosecha y almacenamiento. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. p 120.

Magaña BW, Colinas LMT. 1997. Manejo postcosecha en tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.): Efecto de cortes y empaques. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. Universidad Autónoma Chapingo. 3(2): 25-29.

Marlow D. 2010. Firmeza de frutos. *Productores de Hortalizas* 11:14-15.

Martinez DML. 1998. Revision of *Physalis* Section *Epeteiorhiza* (Solanaceae). *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México. *Serie Botanica* 69(2):71-117.

Martínez SJ, Peña LA, Montalvo HD. 2004. Producción y Tecnología de semilla de tomate de cáscara. Universidad Autónoma de Chapingo, México. p 36.

Maynard DN, Elmstrom GW. 1992. Triploid watermelon production practices and varieties. *Acta Hort*. 318:169-173.

Menzel YM. 1951 The cytotaxonomy and genetics of *Physalis*. *Proc. Amer. Philos. Soc.* 95(2):132-183.

Miller JS, Venable DL. 2000. Polyploidy and the evolution of gender dimorphism in plants. *Science* 289:2335–2338.

Molero PT, Matos A. 2008. Efectos de la inducción artificial de la poliploidía en plantas de *Aloe vera* (L.). ReviCy HLUZ. Boletín Centro de Investigaciones Biológicas Venezuela 42(1):111-133.

Molina GJD. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa (algunas implicaciones en genotecnia). AGT Editor. México, D. F. p 349.

Montalvo HL. 1998. Caracterización molecular y morfológica de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p 92.

Montes HS, Aguirre RJR. 1994. Tomatillo, husk-tomato (*Physalis philadelphica*). Neglected Crops: 1492 from a Different Perspective. FAO Plant Production and Protection Series No. 26, 117-122.

Moreno MM, Peña LA, Sahágún J, Rodríguez JE, Mora R. 2002. Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-Fitotécnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(3):231-237.

Morton JF. 1987. Mexican husk tomato. In: Fruits of Warm Climates. Morton J. F. (ed) Creative Resource Systems. Inc. Miami Florida. pp. 434-437.

Mulato BJ, Peña LA, Sahagún CJ, Villanueva VC, López RJJ. 2007. Self-compatibility inheritance in tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Journal Vegetable Crops Research Bulletin* 67:17-24.

Navarro L, Juárez J, Aleza P, Pina JA. 2002. Recovery of triploid seedless mandarin hybrids from  $2n \times 2n$  and  $2n \times 4n$  crosses by embryo rescue and flow cytometry. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> IAPTC&B Congress, plant biotechnology and beyond. Orlando. pp 541–544.

Nicotra A. 2001. Híbridos de mandarina de reciente interés para el consumo como fruta fresca, problemas y formas de control. China/FAO Simposio Sobre Cítricos. pp 13-24.

Nugent EP, Ray TD. 1992. Spontaneous tetraploid melons. *HortScience* 27(1):47-50.

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

Ollitrault P, Dambier D, Luro F, Froelicher Y. 2008. Ploidy manipulation for breeding seedless triploid citrus. *Plant Breed. Rev.* 20:323–354.

Omran A. Mohammad BN. 2008. Polyploidization effect in two diploid cotton (*Gossypium herpaeum* L. and *G. arboreum* L.) species by colchicines treatments. *African Journal Biotechnology* 7(2):102-108.

Ortuño OL, Manzo GA, Peña LA. 1998. Cultivo de anteras en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(1):39-43.

Ospina MDM, Velásquez CHJ, Tórres AID. 2007 Determinación de la fuerza de la fractura superficial y Fuerza de firmeza en frutas de lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 60(2):4163-4178.

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

Parisod C, Holderegger R, Brochmann C. 2010. Evolutionary consequences of autopolyploidy. *New Phytol.* 186:5-17.

Peña LA, Márquez SF. 1990. Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo* 71/72:85-88.

Peña LA, Ramírez PF, Cruz GRA. 1991. Edad de trasplante de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo* 73:57-60.

Peña LA, Mulato BJ, Ayala PJP, Montalvo HD. 1992. Caracterización de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). In: Memoria del XIV Congreso Nacional de Fitogenética. 4-9 de octubre. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. p. 511.

Peña LA. 1994. Hibridación en Tomate de Cáscara. (*Physalis ixocarpa* Brot.). In: Memoria de la XL Reunión Anual. Interamerican Society for Tropical Horticulture. 13 al 19 de noviembre. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. p. 67.

Peña LA, Santiaguillo HJF, Montalvo HD, Pérez GM. 1997. Intervalos de cosecha en la variedad CHF1-Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 3(1):31-38.

Peña LA. 1998. Parámetros genéticos, respuesta a la selección y heterosis en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Doctorado en Ciencias en Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo Edo. de México. p 151.

Peña LA, Molina GJD, Cervantes ST, Márquez SF, Sahagún CJ, Ortíz CJ. 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(1):45-49.

Peña LA, Santiaguillo HJF. 1999. Variabilidad genética de tomate de cáscara en México. Boletín Técnico #2. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 26 p.

Peña LA. 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 LA, Molina GJD, Márquez SF, Sahagún CJ, Ortiz CJ, Cervantes ST. 2002. Respuestas estimadas y observadas de tres métodos de selección en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:171-178.

Peña LA, Contreras MG, Rodríguez PJE, Carballo CA, Rodríguez PJE, Maldonado MM. 2004. Parámetros Genéticos de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Variedad Verde Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27 (1):1 – 7.

Peña LA, Molina GJD, Sahagún CJ, Ortiz CJ, Márquez SF, Cervantes ST, Santiaguillo HJF. 2008. Parámetros genéticos en la variedad ChF1 chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(1):5-11.

Pérez GM, Marquez SF, Peña LA. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Departamento de Fitotecnia. 1ª Ed. Universidad Autónoma de Chapingo, México 380 p.

Poehlman JM, Allen SD. 2005. Mejoramiento genético de las cosechas. Segunda edición. Limusa. México, 511 p.

Poliploidía. Consecuencias de la poliploidía. Fecha: 9/ diciembre/ 2009. Disponible en: <http://biogenetica-imaroca.blogspot.mx/2009/12/poliploidia.html> (Revisado el 9 de Abril del 2012)

Qiu Y, Nishina MS, Paull RS. 1995. Papaya fruit growth, calcium uptake, and fruit ripening. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 120:246-253.

Quarin CL, Espinoza F, Martinez EJ, Pessino SC, Bovo OA. 2001. A rise of ploidy level induces the expression of apomixis in *Paspalum notatum*. *Sex. Plant Reprod.* 13:243–249.

Ramos LC, Alcántara GG, Galvis SA, Peña LA, Martínez GA. 2002. Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra Latinoamericana* 20:465-469.

Ramsey J, Schemske DW. 2002. Neopolyploidy in flowering plants. *Annu. Rev. Ecol. and Syst.* 33:589-639.

Rasuli VOL, Sotudeh R. 2007. Autotetraploid Induction in Grape (*Vitis vinifera* var. Bidaneh) by using Colchicine. *Seed and Plant Improvement Institute*. Report Number 28691. 19 p.

Rêgo MM, Rêgo ER, Bruckner CH, Finger FL, Otoni W. C. 2011. In vitro induction of autotetraploids from diploid yellow passion fruit mediated by colchicine and oryzalin. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 107 (3):451-459.

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

Robledo TV, Hernández DJ, Benavides MA, Ramírez GF, Maiti RK. 2004. Importance of agronomic characteristics in the grain yield of maize under irrigated and rainfed conditions. *Crop Research* 27(2-3):169-176

Robledo TV, Ramírez GF, Foroughbakhck PR, Benavides MA, Hernández GG, Reyes VMH. 2011. Development of tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) autotetraploids and their chromosome and phenotypic characterization. *Breeding Science* 61:288-293.

Rose JB, Kubba J, Tobutt KR. 2001. Induction of tetraploids for breeding hardy ornamentals. IV International Symposium on In Vitro Culture and Horticultural Breeding. *Acta Horticulturae* 560:109-112.

Sahagún CJ, Gómez RF, Peña LA. 1999. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 5(1):23-27.

Salazar PA. 2002. Producción de semilla de tomate de cáscara variedad rendidora en el Estado de Morelos. Tecnologías llave en mano. Publicación especial Núm 31. SAGARPA. INIFAP. pp 68-69.

Sanabria ME. 2003. Efecto de la irradiación sobre la morfología, la anatomía, el crecimiento y el desarrollo de las estructuras vegetativas de *Heliconia latispatha* Benth. Red Yellow-Gyro (Heliconiaceae). Trabajo de Ascenso presentado para optar a la categoría de Profesor Titular. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Tarabana. Edo Lara. 72 p.

Sánchez CF, Ortíz CJ, Mendoza CMC, González HVA, Colinas LMT. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33:21-29.

Santiaguillo HJF, Cervantes ST, Peña LA. 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 HJF, Cervantes ST, Peña LA, Molina GJD, Sahagún CJ. 2005. Polinización controlada en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo. Serie horticultura* 11(1):67-71

Santiaguillo HJF, Blas YS. 2009. Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola* 43:81-86.

Santiaguillo HJF, Vargas PO, Grimaldo JO, Sanchez MJ, Magaña LN. 2009. Aprovechamiento tradicional y moderno de tomate (*Physalis*) en México. Publicaciones de la Red de tomate de cáscara. Folleto Técnico Número 2. 31 p.

Santiaguillo HJF, Cedillo PE, Cuevas SJA. 2010. Distribución Geográfica de *Physalis spp.* En México. Publicaciones de la Red de tomate de cáscara. SINAREFI. Primera Edición Octubre de 2010. pp 245.

Saray MCR, Loya JL. 1977. El cultivo de Tomate de Cáscara. Inf. Rep. 57. INIA-CIAMEC. Zacatepec, Morelos, Chapingo México. p 24.

Sartor M, Espinoza F, Quarín C. 2004. Inducción de autoploidía en *Paspalum plicatulum*. Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE-CONICET), Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE. pp 1-5.

SAS, 2008. Statistical analysis system, versión 9.2. SAS Institute, Cary.

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

Soares TL, Oliveira SS, Pereira CCMA, Almeida SSJ, Silva SA, Morais LLS, Hilo SE, Nunes JO. 2008. In vitro germination and viability of pollen grains of banana diploids. *Crop. Breed. Appl. Biot.* 8:111-118.

Stebbins GL. 1947. Types of polyploids: Their classification and significance. *Advances in Genetics* 1:403-429.

Stone JL, Thomson JD, Dent ASJ. 1995. Assessment of pollen viability in Hang-pollination experiments: A Review. *American Journal of Botany* 82(9): 1186-1197.

Tang ZQ, Chen DL, Song ZJ, He YC, Cai DT. 2010. In vitro induction and identification of tetraploid plants of *Paulownia tomentosa*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 102(2):213-220.

Tanksley SD. 1993. Mapping polygenes. *Annu. Rev. Genet.* 27:205-233.

Tomekpe K, Jenny C, Escalant JV. 2004. Mejoramiento genético, análisis de las estrategias de mejoramiento convencional de Musa. *InfoMusa* 13 (2):1-6.

Vargas PO, Martínez DM, Dávila AP. 2003. La Familia Solanaceae en Jalisco, el género *Physalis*. Universidad de Guadalajara, Jalisco. México. 127 p.

Valerio R, Lindorf H, García GE. 2002. Anatomía foliar comparada de ocho cultivares de banano con relación a la resistencia o susceptibilidad a la Sigatoka (Amarilla y Negra). *Agronomía Tropical* 52(4):507-521.

Vandenhout H, Ortiz R, Vuylsteke D, Swennem RR, Bai KV. 1995. Effect of ploidy on stomatal and other quantitative traits in plantain and banana hybrids. *Euphytica* 83:117-122.

Viehmánová I, Trávníčková M, Špatenková E, Černá M, Trávníček P. 2012. Induced polyploidization and its influence on yield, morphological, and qualitative characteristics of microtubers in *Ullucus tuberosus*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 109 (1) 83-90.

Walters SA, Wehner TC. 2002. Incompatibility in diploid and tetraploid crosses of *Cucumis sativus* and *Cucumis metuliferus*. *Euphytica* 128 (3):371-374.

Wilkinson H. 1979. The plant surface (mainly leaf). In: Anatomy of Dicotyledons. C.R. Metclfe y Chalk (eds.). Oxford Clarendon Press. London. p. 97-165.

Zar JH. 2010. Biostatistical analysis. 6° Ed. Prentice-Hall. Inc. Upper Saddle River. New Jersey. 854 pp.



## 11. RESUMEN BIOGRÁFICO

### 1. Datos Generales

Nombre Completo: Francisca Ramírez Godina  
Domicilio Particular: Coral 423, Fraccionamiento Miravalle  
Correo Electrónico: framgod@uaaan.mx      Teléfono 4 17 22 43  
godramf@gmail.com

### 2. Adscripción

Institución: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro  
Departamento: Fitomejoramiento      Teléfono 4 11 02 97  
Nombramiento: Profesor Investigador Titular “B”  
Domicilio Laboral: Calzada Antonio Narro # 1923 Buenavista, Saltillo, Coahuila

### 3. Formación Académica

Licenciatura: Biología      Universidad Autónoma del Noreste  
Maestría: Fitomejoramiento      Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

### 4. Participación en Congresos como Ponente

XXI Semana Internacional de Agronomía de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, “Rendimiento y calidad de fruto en diploides y tetraploides en tomate de cascara” Noviembre del 2009

6° Jornada de Actividades Botánicas de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL “Caracterización citogenética y estomática de *Physalis ixocarpa*” Octubre del 2009

I Foro Nacional de la red de producción agrícola y la 7ª. Jornada de actividades botánicas UANL, cartel y resumen en extenso “Caracterización fenotípica y su relación con el rendimiento en diploides y tetraploides de tomate de cáscara”, Agosto del 2010.

XXIII Congreso Nacional y III Internacional de Fitogenética, cartel “Rendimiento de fruto y sus componentes en diploides y tetraploides de tomate de cáscara”, Octubre del 2010.

XXII Semana Internacional de Agronomía de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, cartel y resumen en extenso “Estudio de polen en diploides y tetraploides experimentales de tomate de cáscara” Noviembre del 2010.

II Congreso Internacional de Agronomía Tropical y III Simposio Nacional Agroalimentario, ponencia y resumen en extenso “Formación de híbridos triploides en tomate de cáscara” Agosto del 2011.

## 5. Publicaciones Memorias en Extenso

Rendimiento y calidad de fruto en diploides y tetraploides entomate de cascara. Francisca Ramírez Godina, Rahim Foroughbakhch P. Valentín Robledo Torres, Adalberto Benavides Mendoza, Marco Antonio Alvarado Vázquez. XXI Semana Internacional de Agronomía. Universidad Juárez del Estado de Durango. 2009. ISBN 978-968-9304-23-4.

Especies silvestres del norte de México con potencial ornamental. Valentín Robledo Torres, José Angel Villarreal Quintanilla, Francisca Ramírez Godina, Adalberto Benavides Mendoza. Foro Conservación y Uso de los Recursos Fitogenéticos en el Centro y Noreste de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. 2010. ISBN 978-607-8029-00-6

Determinación del nivel de poloidia, análisis morfológico y apareamiento cromosómico de zacate búfalo (*Buchloe dactyloides*). Juan Manuel Martínez Reyna, Rocio Edelmira Hernández Caldera, Francisca Ramírez Godina, M. Humberto Reyes Valdés. Foro Conservación y Uso de los Recursos Fitogenéticos en el Centro y Noreste de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. 2010. ISBN 978-607-8029-00-6

Estudio de polen en diploides y tetraploides experimentales de tomate de cascara. Francisca Ramírez Godina, Rahim Foroughbakhch P. Valentín Robledo Torres, Adalberto Benavides Mendoza, Manuel Humberto Reyes Valdes. XXII Semana Internacional de Agronomía. Universidad Juárez del Estado de Durango. 2010. ISBN 978-607-503-048-7.

Correlación entre variables agronómicas y climáticas con el rendimiento de pepino bajo cubiertas plasticas de colores. Valentín Robledo Torres, Adalberto Benavides Mendoza, Francisca Ramírez Godina, Karim de Alba Romenus, Rahim Foroughbakhch P. XXII Semana Internacional de Agronomía. Universidad Juárez del Estado de Durango. 2010. ISBN 978-607-503-048-7.

## 6. Artículos con Arbitraje

Development of tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) Autotetraploids and their chromosome and phenotypic characterization. Autores: Valentin Robledo Torres, Francisca Ramírez Godina, Rahim Foroughbakhch Pournavab, Adalberto Benavides Mendoza, Gustavo Hernández García, M. Humberto Reyes Valdes. **Breeding Science**. 2011. 61, 288-293.

Viabilidad de polen, densidad y tamaño de estomas en autotetraploides y diploides de *Physalis ixocarpa*. Autores: Francisca Ramírez Godina, Valentín Robledo Torres, Rahim Foroughbakhch Pournavab, Adalberto Benavides Mendoza, Marco Antonio Alvarado Vázquez. Aceptado para publicarse en **Botanical Sciences**.

Yield and fruit quality evaluation in husk tomato autotetraploids and diploids. Autores: Francisca Ramírez Godina, Valentín Robledo Torres, Rahim Foroughbakhch P. Adalberto Benavides Mendoza, Marco Antonio Alvarado Vázquez, Manuel Humberto Reyes Valdes. Enviado **Australian Journal of Crop Science**.