



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**LABORATORIO EN GENÉTICA Y ECOFISIOLOGÍA**



**FENOLOGÍA, FISIOLOGÍA, CITOLOGÍA Y EFECTOS DE LA  
RADIACIÓN (UV) SOBRE LA SOBREVIVENCIA, ESTRUCTURA  
INTRACELULAR Y EXTRACELULAR DE GERMINADOS  
TEMPRANOS DEL TOMATILLO SILVESTRE**

*Solanum lycopersicum* L.

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

**LIC. EN BIOL. WILBERT HERNÁNDEZ SÁNCHEZ**  
**»W. H. S«**

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. LENIN ARIAS RODRIGUEZ

CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO, AGOSTO, 2024

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**LABORATORIO EN GENÉTICA Y ECOFISIOLOGÍA**



**FENOLOGÍA, FISIOLOGÍA, CITOLOGÍA Y EFECTOS DE LA  
RADIACIÓN (UV) SOBRE LA SOBREVIVENCIA, ESTRUCTURA  
INTRACELULAR Y EXTRACELULAR DE GERMINADOS  
TEMPRANOS DEL TOMATILLO SILVESTRE**

*Solanum lycopersicum L.*

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

**LIC. EN BIOL. WILBERT HERNÁNDEZ SÁNCHEZ**

»W. H. S«

DIRECTOR DE TESIS:

**LENIN ARIAS RODRIGUEZ**

**CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO, AGOSTO DEL 2024.**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, el día 04 del mes de Julio del año 2024, el que suscribe Wilbert Hernández Sanchez alumno del Programa de la Maestría en Ciencias Ambientales con número de matrícula 172G15003, adscrito a la División Académica de Ciencias Biológicas, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autor(a) (es) de la Tesis presentada para la obtención del grado y titulada: **FENOLOGÍA, FISIOLOGÍA, CITOLOGÍA Y EFECTOS DE LA RADIACIÓN (UV) SOBRE LA SOBREVIVENCIA, ESTRUCTURA INTRACELULAR Y EXTRACELULAR DE GERMINADOS TEMPRANOS DEL TOMATILLO SILVESTRE *Solanum lycopersicum* L.** dirigida por Lenin Arias Rodriguez.

### DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a 04 de Julio del 2024.

Atentamente

Wilbert Hernández Sánchez





**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2024  
**Felipe Carrillo  
PUERTO**

GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO  
GOBIERNO FEDERAL  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN  
PÚBLICA

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

Villahermosa, Tab., a 07 de Febrero de 2024

**ASUNTO:** Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON  
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION  
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES  
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. WILBERT HERNÁNDEZ SÁNCHEZ** egresado de la Maestría en **CIENCIAS AMBIENTALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"FENOLOGÍA, FISIOLOGÍA, CITOLOGÍA Y EFECTOS DE LA RADIACIÓN (UV) SOBRE LA SOBREVIVENCIA, ESTRUCTURA INTRACELULAR Y EXTRACELULAR DE GERMINADOS TEMPRANOS DEL TOMATILLO SILVESTRE *Solanum lycopersicum* L."**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

  
DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

UJAT  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECCIÓN

C.c.p. - Expediente Alumno de la División Académica  
C.c.p.- Interesado



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

FEBRERO 07 DE 2024

**C. WILBERT HERNÁNDEZ SÁNCHEZ**  
**PAS. DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES**  
**PRESENTE**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: **"FENOLOGÍA, FISIOLOGÍA, CITOLOGÍA Y EFECTOS DE LA RADIACIÓN (UV) SOBRE LA SOBREVIVENCIA, ESTRUCTURA INTRACELULAR Y EXTRACELULAR DE GERMINADOS TEMPRANOS DEL TOMATILLO SILVESTRE *Solanum lycopersicum* L."**, asesorado por el Dr. Lenin Arias Rodríguez, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por Dr. Magdiel Torres de la Cruz, M. en C. Marcela Alejandra Cid Martínez, Dr. Lenin Arias Rodríguez, Dr. Manuel Pérez de la Cruz y MCA. Alejandro Mcdonal Vera.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

**DR. ARTURO GARRIDO MORA**  
**DIRECTOR**

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
C.c.p.- Archivo



## Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 04 de Julio del 2024.

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTORES en la producción, creación y/o realización de la obra denominada: **FENOLOGÍA, FISIOLOGÍA, CITOLOGÍA Y EFECTOS DE LA RADIACIÓN (UV) SOBRE LA SOBREVIVENCIA, ESTRUCTURA INTRACELULAR Y EXTRACELULAR DE GERMINADOS TEMPRANOS DEL TOMATILLO SILVESTRE *Solanum lycopersicum* L.**

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

### COLABORADORES

WILBERT HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

LENIN ARIAS RODRIGUEZ

ALUMNO(A) O EGRESADA(O)

DIRECTOR(A) Y COORDINADOR(A)

### TESTIGOS

JOSE LUIS JUNCO IGLESIAS

DANIELA LOPEZ GARCIA

## CARTA AUTORIZACIÓN

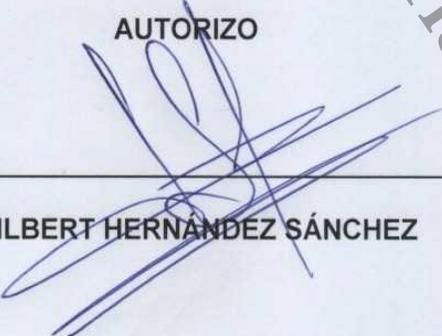
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: "**FENOLOGÍA, FISIOLOGÍA, CITOLOGÍA Y EFECTOS DE LA RADIACIÓN (UV) SOBRE LA SOBREVIVENCIA, ESTRUCTURA INTRACELULAR Y EXTRACELULAR DE GERMINADOS TEMPRANOS DEL TOMATILLO SILVESTRE *Solanum lycopersicum* L.**", de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 07 de febrero del dos mil veinticuatro.

AUTORIZO

  
\_\_\_\_\_  
WILBERT HERNÁNDEZ SÁNCHEZ



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA ACCIÓN EN LA FE"



División Académica  
de Ciencias Biológicas.

Jefatura de Posgrado.



Villahermosa, Tabasco a 27 de noviembre de 2023

### C. WILBERT HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

EGRESADO DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados en el SNP-CONAHCyT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento de tesis. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, el responsable del programa realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: **'Fenología, fisiología, citología y efectos de la radiación (UV) sobre la sobrevivencia, estructura intracelular y extracelular de germinados tempranos del tomatillo silvestre *Solanum lycopersicum* L.'**

#### OBSERVACIONES:

1. **El índice de similitud obtenido fue de 05%**, el cual se ubica dentro del estándar de tolerancia de acuerdo a las Políticas y Lineamientos para el uso y manejo del Software Antiplagio de la UJAT. Se demuestra el nivel de originalidad del documento y de la investigación.

C.c.p. ARCHIVO



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: [posgrado.dacbiol@ujat.mx](mailto:posgrado.dacbiol@ujat.mx)



Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División Académica  
de Ciencias Biológicas.

Jefatura de Posgrado.



2. **Se adjunta el informe de originalidad de la tesis** obtenido a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
3. Finalmente, se le solicita al C. Wilbert Hernández Sánchez, integrar en la versión final de tesis, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR DACBIOL



C.C.P. Dr. Lenin Arias Rodríguez. Director de Tesis.

C.c.p. ARCHIVO

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: [posgrado.dacbiol@ujat.mx](mailto:posgrado.dacbiol@ujat.mx)

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

Consortio de  
Universidades  
Mexicanas  
UNA ALIANZA DE CALIDAD PARA LA EDUCACIÓN SUPERIOR

[www.ujat.mx](http://www.ujat.mx)

# Fenología, fisiología, citología y efectos de l...

By: Wilbert Hernández Sánchez

As of: Nov 24, 2023 10:24:32 AM  
41,146 words - 63 matches - 45 sources

Similarity Index

5%

Mode: Summary Report

## sources:

123 words / < 1% match - from 06-Nov-2023 12:00AM  
[www.scielo.org.mx](http://www.scielo.org.mx)

50 words / < 1% match - Internet from 13-Dec-2022 12:00AM  
[www.scielo.org.mx](http://www.scielo.org.mx)

31 words / < 1% match - Internet from 12-Dec-2022 12:00AM  
[www.scielo.org.mx](http://www.scielo.org.mx)

85 words / < 1% match - Internet from 28-Oct-2017 12:00AM  
[www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)

53 words / < 1% match - Internet from 27-Oct-2017 12:00AM  
[www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)

16 words / < 1% match - Internet from 27-Oct-2017 12:00AM  
[www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)

130 words / < 1% match - Internet from 14-Oct-2022 12:00AM  
[www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr](http://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr)

111 words / < 1% match - Internet from 21-Feb-2023 12:00AM  
[repositorio.unicach.mx](http://repositorio.unicach.mx)

98 words / < 1% match - Internet from 27-Dec-2010 12:00AM  
[www.fantasytoys.it](http://www.fantasytoys.it)

44 words / < 1% match - Internet from 14-Jan-2023 12:00AM  
[repositorio.uaaan.mx](http://repositorio.uaaan.mx)

20 words / < 1% match - Internet from 14-Jan-2023 12:00AM  
[repositorio.uaaan.mx](http://repositorio.uaaan.mx)

60 words / < 1% match - Internet from 27-Oct-2022 12:00AM  
[www.msmsu.ru](http://www.msmsu.ru)

*Esta investigación está dedicada...*

*A Dios*

*A mis padres y*

*A las mujeres y hombres que han perdido sus vidas por defender la vida de la flora y la fauna en este país.*

*Agradezco a...*

*Mis compañeros y amigos del Laboratorio en Genética Y Ecofisiología...*

*Ana Karen, Adriana, Ángel, Josué, Mauricio & Jairo por su respaldo durante esta compleja investigación; De igual manera a mis amigos Germán y Jesús que aún en la distancia, estuvieron presentes.*

*Al doctor Lenin Arias Rodríguez, director y asesor de esta investigación.*

**CONTENIDO**  
**ÍNDICE GENERAL**

ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XX
RESUMEN.....	XXVI
PALABRAS CLAVES.....	XXVII
ABSTRAC.....	XXVII

**CAPÍTULO I**

1. INTRODUCCIÓN.....	1
----------------------	---

**CAPÍTULO II**

2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. La Familia Solanácea.....	3
2.2. Origen, Biología y Ecología del Tomatillo Silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....	4
2.3. Taxonomía y Clasificación del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....	7
2.4. Estudios Fenológicos en las Plantas de Tomates.....	10
2.5. Estudios Citológicos en los tomates.....	11
2.6. El Espectro de Luz y la Radiación Ultravioleta (UV).....	14
2.6.1. Funciones y Efectos de la Luz UV.....	14
2.6.2. Efectos de la Radiación UV Sobre las Plantas.....	14
2.6.3. Mecanismos de las Plantas como Respuestas a la Radiación UV.....	17
2.6.3.1. La Fotorreactivación.....	17
2.6.3.2. La Reparación por Escisión de Bases (REB).....	17
2.6.3.3. La Reparación por Escisión de Nucleótidos (REN).....	18
2.7. Estudios con Radiación UV.....	18
2.8. Estudios con Radiación UV en plantas de Tomate.....	23

**CAPÍTULO III**

3. JUSTIFICACIÓN.....	24
-----------------------	----

## CAPÍTULO IV

<b>1. OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1. Objetivo General.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>26</b>

## CAPÍTULO V

<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>5.0. Análisis Fenológico del tomatillo silvestre <i>Solanum Lycopersicum</i> L.....</b>	<b>27</b>
<b>5. 1. Recolecta de Frutos en Poblaciones Silvestres.....</b>	<b>27</b>
<b>5. 2. Biometrías de los Frutos y Conservación de Semillas.....</b>	<b>30</b>
<b>5. 3. Estudio Fenológico del Tomatillo Silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....</b>	<b>30</b>
5.3.1. Capacidad de Germinación de las Semillas.....	30
5.3.2. Capacidad de Germinación Empleando Diferentes Sustratos en Condiciones de Laboratorio.....	31
5.3.3. Trasplante de Plántulas y Cultivo.....	31
<b>5.4. Análisis Fisiológico y Biométrico.....</b>	<b>32</b>
<b>5. 5. Análisis Citológico del Ciclo Celular en el Tomatillo Silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....</b>	<b>32</b>
5.5.1. Determinación del Tamaño del Genoma y Contenido de ADN.....	34
<b>5. 6. Experimentos con Luz Ultravioleta UV Sobre el Tomatillo Silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....</b>	<b>35</b>
5.6.1. Dispositivo para Radiación UV.....	35
5.6.2. Efectos de la radiación UV, Sobre las Semillas.....	38
5.6.3. Efectos de la radiación UV, Sobre la Frecuencia de Germinación.....	38
5.6.4. Efectos de la radiación UV, Sobre las Radículas de Semillas Germinadas.....	39
5.6.5. Efectos de la Radiación UV, Sobre la Supervivencia y Crecimiento de Germinados Tempranos.....	39

5.6.6. Análisis Microscópico a Nivel Extracelular e Intracelular.....	40
5.6.7. Viabilidad Celular por Tinción con Azul de tripano.....	40
5.6.8. Valoración de los Efectos de la Radiación UV, Sobre la Concentración y Cuantificación de Clorofila (a), Clorofila (b) y Carotenoides.....	40
<b>5.7. Análisis de Datos y Estadísticos.....</b>	<b>42</b>

## CAPÍTULO VI

### 6.0. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>6.1. Caracterización Fenológica y en Cultivo de los Frutos del Tomatillo Silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....</b>	<b>43</b>
6.1.1. Resultados .....	43
6.1.2. Discusión.....	60

## CAPÍTULO VII

### 7.0. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>7.1. Caracterización citológica del Ciclo Celular en Mitosis de Germinados Tempranos del Tomatillo Silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....</b>	<b>62</b>
7.1.1. Resultados.....	62
7.1.2. Discusión.....	69

## CAPÍTULO VIII

### 8.0. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>8.1. Efectos de la Radiación UV sobre el tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....</b>	<b>71</b>
---	-----------

8. 1. 1. Resultados.....	71
8. 1. 2. La Radiación UV, Sobre Semillas.....	71
8. 1. 3. La Radiación UV, Sobre la Frecuencia de Germinación.....	75
8. 1. 4. La Radiación UV, Sobre las Radículas de Semillas Germinadas.....	76
8. 1. 5. La Radiación UV, Sobre la Sobrevivencia de Germinados Tempranos.....	78
8. 1. 6. La Radiación UV, Sobre el Crecimiento de Germinados Tempranos.....	81
8. 1.7. La Radiación UV, Sobre la Estructura Intracelular y Extracelular del Tejido Radicular y Foliar de Germinados, Mediante Técnicas de Citología y Microscopia Óptica.....	85
8.1. 8. Caracterización de los Efectos de la Radiación UV, Sobre sobre la Concentración de Clorofila <i>a</i> , Clorofila <i>b</i> y los Carotenoides de Germinados Tempranos.....	92
8. 2. Discusión.....	95

## CAPÍTULO IX

<b>9.0-CONCLUSIONES.....</b>	<b>101</b>
------------------------------	------------

## CAPÍTULO X

<b>10.0-REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>105</b>
---	------------

## CAPÍTULO XI

<b>11.0-ANEXOS.....</b>	<b>121</b>
<b>11.1-FORMATO DE ALOJAMIENTO DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCINAL.....</b>	<b>122</b>
<b>11.2-ANEXO FOTOGRÁFICO.....</b>	<b>124</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO:	Pagina:
<b>Tabla 1.</b> Estudios citológicos realizados en tomate <i>S. lycopersicum</i> L., donde los estudios reportan variedades con 12, 24, 36 y hasta 48 estructuras cromosómicas. Cabe mencionar que estos análisis, se han realizado con tejidos gametófiticos y esporófiticos.....	12
<b>Tabla 2.</b> Sitios de recolección en seis localidades del estado de Tabasco, México del tomatillo tropical <i>S. lycopersicum</i> L., en condiciones silvestres.....	27
<b>Tabla 3.</b> Tratamientos control, con luz UV, Julios/cm <sup>2</sup> y tiempos de exposición en segundos de los germinados.....	36
<b>Tabla 4.</b> Promedios de Número de frutos, pesos, ancho del fruto y número de semillas de frutos maduros del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., recolectados en cinco localidades del estado de Tabasco.....	45
<b>Tabla 5.</b> Porcentajes de viabilidad en condiciones de invernadero de semillas del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....	49
<b>Tabla 6.</b> Evaluación del efecto de diferentes sustratos sobre la frecuencia de germinación del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., en condiciones de laboratorio.....	50
<b>Tabla 7.</b> Número de frutos, pesos promedio, ancho promedio del fruto y número promedio de semillas de frutos maduros del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., recolectados de plantas mantenidas bajo condiciones de invernadero desde semilla y hasta la producción de frutos.....	57
<b>Tabla 8.</b> Biometrías promedio en micrómetros (µm) de estructuras extracelulares e intracelulares en la mitosis del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....	63
<b>Tabla 9.</b> Longitud promedio en micrómetros (µm), longitud relativa, parámetros citogenéticos y clasificación de cada par de cromosomas del cariotipo (2N= 14) del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....	67
<b>Tabla 10.</b> Porcentajes de germinación promedio en el tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., por efecto de diferentes dosis de radiación ultravioleta (UV).....	75
<b>Tabla 11.</b> Relación de los porcentajes de células afectadas por la radiación UV, durante las fases del ciclo celular del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.....	76
<b>Tabla 12.</b> Relación de los porcentajes de sobrevivencia promedio de plántulas del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., expuestas a luz UV, a través de once dosis de radiación ultravioleta UV.....	79

<b>Tabla 13.</b> Relación del efecto de la Radiación UV, sobre el crecimiento en (mm) de plántulas del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., antes de ser expuestas a la luz UV y a las 24, 48 y 72 horas después de la exposición de los ejemplares.....	82
<b>Tabla 14.</b> Clorosis promedio en porcentajes (%) y plantas con quemaduras, sobre el área foliar de plántulas del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., irradiadas a diferentes dosis de radiación UV.....	86
<b>Tabla 15.</b> Promedio de los niveles de clorofila a $\mu\text{g/ml}$ , clorofila b ( $\mu\text{g/ml}$ ) y carotenoides $\mu\text{g/ml}$ de plántulas del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., irradiados a diferentes dosis de luz UV e intervalos de tiempo.....	93

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO:	Pagina:
<b>Figura. 1.</b> Semillas dentro de frutos maduros del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., (A) y semillas deshidratadas para su conservación (B). Fotos originales por el autor W. H. S.....	5
<b>Figura. 2.</b> Distribución geográfica del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., en varios estados de México marcados con rojo. Esta especie se distribuye en los estados del Sur; en Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán, Quintana Roo y Oaxaca, en el Centro en los estados de Puebla, Guerrero, Michoacán Morelos, Tlaxcala y en el Norte en Colima, Jalisco, Nayarit y Sinaloa. Mapa coloreado por el Autor y tomando como referencia el mapa de la página oficial del Instituto Nacional de Estadística.....	6
<b>Figura. 3.</b> Frutos maduros del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., cultivados en condiciones de invernadero rustico. Fotografía Original por el autor W. H. S, tomado con Cámara Sony Alfa 3500.....	8
<b>Figura. 4.</b> Planta adulta del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., con 60 días de crecimiento, en condiciones de invernadero, en el que se observa la presencia de los primeras flores y frutos. Fotografía Original por el autor W. H. S, tomado con Cámara Sony Alfa 3500.....	9
<b>Figura. 5.</b> Representación de las etapas del ciclo de vida del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., plántula con cotiledones (A), ramas, hojas en crecimiento (B), inflorescencia (C), fruto en estadio inmaduro (D), frutos verdes (E) frutos maduros (F), todo en condiciones de invernadero. Fotografías Originales por el autor W. H. S., tomadas con Cámara Sony Alfa 3500.....	13
<b>Figura. 6.</b> Mapa del estado de Tabasco, México donde se representan los municipios de recolección de frutos maduros del tomatillo silvestre <i>S.lycopersicum</i> L., en plantaciones silvestres. De acuerdo a los colores Nacajuca (amarillo), Centro (rojo), Cunduacán (verde), Cárdenas (morado) y Comalcalco (azul). Mapa original por el Autor W. H. S.....	28
<b>Figura. 7.</b> Frutos maduros del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., recolectados en Tabasco; en las localidades de Ixtacomitán, 1era. Sección, Centro (A), Cucuyulapa, Cunduacán (B), Cupilco, Comalcalco (C), Macayo, Cárdenas (D), Taxco, Nacajuca (E) y Corregidora, 1era. Sección, Centro (F). Fotos originales por la autor W. H. S, tomada con Cámara Sony Alfa 3500.....	29
<b>Figura. 8.</b> Representación fotográfica de la cámara de radiación UV y los accesorios descritos en el Apartado 5.6.1 (A), la siguiente imagen representa el mismo dispositivo cerrado, ejemplificando la manera en que se empleó durante la presente investigación; de acuerdo a las dosis y tiempos representados en la Tabla 3 (B) y en la última imagen se observan plántulas sembradas en una charola justo antes de aplicar la radiación (C).....	37
<b>Figura. 9.</b> Análisis de discriminantes con las variables peso del fruto en gramos (g), ancho del fruto en milímetros (mm) y número de semillas de frutos maduros del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., de seis localidades del estado de Tabasco, México (A, B y C). Comparación de las variables discriminatorias peso en g vs ancho en mm (A), ancho en mm vs número de semillas (B) y de las tres variables en estudio (C).....	46

<b>Figura. 10.</b> Dendogramas de árbol de seis localidades de recolecta del tomatillo tropical <i>S. lycopersicum</i> L., en el estado de Tabasco; donde se comparó las distancias Euclidianas y empleando como ligamiento único el peso (A) y el número de semillas (B) de frutos maduros.....	47
<b>Figura. 11.</b> Germinación de semillas durante el ciclo de vida del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., semilla en conservación (A), semilla (B), germinación en agarosa (C), radícula de semilla germinada (D), plántulas con un día germinación (E) y plántula con tres días de germinación (F). Fotografía Originales por el autor W. H. S., tomadas con cámara Sony Alfa 3500.....	52
<b>Figura 12.</b> Crecimiento, desarrollo y floración del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., plántula con cinco días (A), plántula con siete días (B), planta con 15 días y altura de 15 cm (B), planta con 30 días y altura de 40 cm (C), ejemplar con 45 días y altura de 60 cm (D) y plantas adultas con 60 días y altura promedio de 1.10 metros y en donde se aprecia el inicio de la floración (E y F). Fotografías originales por el autor W. H. S., tomadas con cámara Sony Alfa 3500.....	53
<b>Figura 13.</b> Desarrollo de los primeros frutos del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., en planta con flores (A), frutos en crecimiento (B), frutos adultos en proceso de maduración (C y D) y frutos maduros con su característica coloración rojo intenso brillante (E y F). Fotografías originales por el autor W. H. S., tomadas con cámara Sony Alfa 3500.....	54
<b>Figura 14.</b> Análisis de discriminantes con las variables peso del fruto en gramos (g), ancho del fruto en milímetros (mm) y número de semillas de frutos maduros del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., de 16 plantas en condición de invernadero en el estado de Tabasco, México (A, B y C). Comparación de las variables discriminatorias peso en g vs altura en mm (A), peso en gr vs ancho en mm (B) y de las tres variables en estudio (C).....	58
<b>Figura 15.</b> Dendogramas de árbol de 16 plantas del tomatillo tropical <i>S. lycopersicum</i> L., en condición de invernadero en el estado de Tabasco; donde se comparó las distancias Euclidianas y empleando como ligamiento único el peso (A), altura (B) y ancho (C) de los frutos maduros cosechados.....	59
<b>Figura 16.</b> Descripción microfotográfica de las etapas del ciclo celular en mitosis del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., interfase media con núcleo en crecimiento (A), interfase tardía con un núcleo grande con su respectivo nucléolo en posición central (B), profase media con formación de cromáticas en específicas zonas del espacio celular (C); profase tardía, en la que se observa mayor rompimiento de la membrana nuclear (D); metafase media en donde se observan cromosomas alineándose (E); en la metafase tardía se muestra una célula con los cromosomas completamente alineados en el centro de la misma (F);. Imágenes tomadas a 40x +1.25x del Optovar.....	64
<b>Figura 17.</b> Descripción fotográfica del ciclo celular en mitosis del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., la microfotografía muestra a la anafase media con la migración de las dotaciones cromosómicas en sentidos opuestos (A); en la anafase tardía se observó la migración y separación de los cuerpos cromosómicos que darán origen a núcleos independientes (B); en la telofase media se observa crecimiento progresivo de la placa media, del centro hacia afuera de	

la célula (C); en la telofase tardía es notable la presencia de membrana nuclear en cada polo de la célula en desarrollo (D); la citocinesis media se caracterizó por continuar con la formación de la membrana nuclear, mientras las moléculas de cromatina continúan descondensándose (E y F); en la citocinesis tardía, se observó núcleos desarrollados. Imágenes tomadas a 40x + 1.25x del Optovar..... 65

**Figura 18.** Gráfica representando las fases de la mitosis en el tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., y sus respectivos porcentajes de frecuencias en que se presentaron durante este proceso, en donde la tendencia en el ciclo celular es de tipo exponencial de acuerdo al valor de  $R^2=0.9262$ , representado en la línea de tendencia..... 66

**Figura 19.** Representación fotográfica de dos cariotipos típicos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., ambos de  $2n=14$  cromosomas metacéntricos (A) y (B), de acuerdo a lo establecido por Levan et al. (1964)..... 67

**Figura 20.** Representación microfotográfica de células mitóticas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., con de  $2n=14$  cromosomas) y en donde, en la metafase temprana los cromosomas aparecen prealineadas en la región metafásica (A), en la metafase media, se muestra una célula con los cromosomas en la región metafásica (B y C), en la metafase tardía se muestra células, con los cromosomas alineándose en los centros de las mismas (D), Anafase temprana, con dos conjuntos diploides de cromosomas que inician la separación, pero aún están en contacto (E) y en la telofase media, se observa la migración de las dotaciones cromosómicas en sentidos opuestos (F)..... 68

**Figura 21.** Fotoradiografías de las semillas analizadas de los tratamientos control (A),  $0.1 \text{ J/cm}^2$  (B),  $0.3 \text{ J/cm}^2$  (C),  $0.5 \text{ J/cm}^2$  (D),  $0.7 \text{ J/cm}^2$  (E),  $0.9 \text{ J/cm}^2$  (F)..... 73

**Figura 22.** Fotoradiografías de las semillas analizadas de los tratamiento  $1.1 \text{ J/cm}^2$  (G),  $1.3 \text{ J/cm}^2$  (H),  $1.5 \text{ J/cm}^2$  (I),  $1.7 \text{ J/cm}^2$  (J),  $1.9 \text{ J/cm}^2$  (K) y  $2.1 \text{ J/cm}^2$  (L)..... 74

**Figura 23.** Células en las diferentes fases del ciclo celular en mitosis de radículas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., afectadas por la radiación UV, en la interfase se observa el núcleo en el extremo (A), en la profase el núcleo se observa en el extremo (B), en la metafase se observa distribución cromosómica atípica (C), los mismo se observa en la anafase, con distribución anormal de los cuerpos cromosómicos (D), en la telofase se aprecia distribución atípica de los paquetes cromosómicos semisólidos en movimiento hacia ambos polos (E) y en la citocinesis se aprecian la cromatina que estaba dispersa de manera atípica hacia los extremos de las células (F)..... 77

**Figura 24.** Gráfica que representa la sobrevivencia por tratamiento de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con 11 dosis de luz UV a diferentes intervalos de tiempo; en la gráfica se aprecian los siete días del experimento más el promedio final de sobrevivencia por cada experimento realizado, se observa que el mayor porcentaje de mortandad se presentó a las 24 horas posteriores a la irradiación en las dosis  $1.7 \text{ J/cm}^2$ ,  $1.9 \text{ J/cm}^2$  y  $2.1 \text{ J/cm}^2$ ..... 80

**Figura 25.** Crecimiento en mm por tratamiento, de plántulas irradiadas con luz UV, antes y después de la irradiación, durante 24, 48 y 72 horas; el decremento mayor se presentó a las 24

horas a la irradiación en los tratamientos 2.1 J/cm<sup>2</sup>, 1.9 J/cm<sup>2</sup> y 1.7 J/cm<sup>2</sup>, en relación con el control, estos mismos tratamientos mostraron el crecimiento más bajo a las 72 horas; los tratamientos con menos alteraciones en esta variable fueron el 0.1 J/cm<sup>2</sup> y 0.3 J/cm<sup>2</sup>, en relación con el tratamiento control..... 83

**Figura 26.** Crecimiento en mm por experimento de plántulas, irradiadas con luz UV; en general; en el experimento 2 se observó el menor crecimiento con un promedio de 0.70 mm, en los tratamientos 1.7 y 1.9 J/cm<sup>2</sup>; en el resto de los experimentos, el tratamiento 1.5 J/cm<sup>2</sup> mostró el menor valor en el experimento 1; en el experimento 3 el menor crecimiento, se prestó en el tratamiento 1.9 J/cm<sup>2</sup>; en el experimento 4 el menor valor de observó en el tratamiento 1.7 J/cm<sup>2</sup> y en el experimento 5 el crecimiento menor se observó en el tratamiento 2.1 J/cm<sup>2</sup> respectivamente en comparación con los tratamientos restantes y los tratamientos controles..... 84

**Figura 27.** Porcentajes de clorosis, sobre el área foliar de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con diferentes dosis de radiación UV. La gráfica representa los 11 dosis de radiación UV, más un tratamiento control. Se representan los cinco experimentos realizados para este fin y también se grafican los promedios totales por cada experimento. En todos los experimentos, los mayores efectos se observaron en las dosis 1.7 J/cm<sup>2</sup>, 1.9 J/cm<sup>2</sup> y 2.1 J/cm<sup>2</sup> en comparación con los tratamientos control..... 87

**Figura 28.** Porcentajes de quemaduras necróticas sobre el área foliar en plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con 11 diferentes dosis de radiación UV, representadas en la gráfica, más un tratamiento control; se representan los cinco experimentos y se grafican los promedios totales por cada experimento. En todos los experimentos, los mayores efectos se observaron en las dosis 1.7 J/cm<sup>2</sup>, 1.9 J/cm<sup>2</sup> y 2.1 J/cm<sup>2</sup> en comparación con los tratamientos control..... 88

**Figura 29.** Microfotografías de hojas de tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con luz UV y posteriormente teñidas con el colorante azul de tripano, con el objetivo de conocer el daño causado por la luz, a nivel extracelular e intracelular; la primer imagen corresponde al tratamiento control (A), las imágenes (B, C y D), correspondientes a los tratamientos 0.1, 0.3 y 0.5, J/cm<sup>2</sup> respectivamente, en ellas no hay daño aparente. En los tratamientos 0.7 y 0.9 J/cm<sup>2</sup>, (E y F), se observan la presencia de tejido celular muerto (partes teñidas de color azul y señalado por las flechas), de acuerdo a la diferenciación del tejido, el efecto negativo de la UV, se observó con mayor incidencia en los ápices y sobre el lado adaxial de las hojas de los ejemplares irradiados. El resto de los tratamientos se ilustran en la siguiente página (Figura 30)..... 90

**Figura 30.** Segunda parte de microfotografías de hojas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con luz UV y teñidas con azul de tripano para conocer el daño sobre el material celular a nivel extracelular e intracelular. En el tratamiento 1.1 J/cm<sup>2</sup>, el daño sobre las hojas, incrementó el área afectada a como se observa en la imagen (G), en los tratamientos 1.3 (H), 1.5 (I), 1.7 (J), 1.9 (K), y 2.1 J/cm<sup>2</sup> (L), se presentó el mayor daño por la luz UV, ya que las hojas además de presentar tejido celular muerto, presentaron colapso de la membrana de epidermis en el lado adaxial a la altura del envés, limbo y nervios, lo que se señala con las flechas de color amarillo..... 91

<b>Figura 31.</b> Efectos de la Radiación UV sobre la clorofila a, clorofila b y carotenoides en plántulas del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L., irradiadas con diferentes dosis de radiación UV y las líneas de tendencia del coeficiente de determinación R <sup>2</sup> .....	94
<b>Figura 32.</b> Fotografías que representan la germinación de semillas del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L, en condición de laboratorio y empleando cuatro diferentes sustratos; Algodón (A), Arena (B), Tierra (C); el sustrato Agarosa se representa en la figura 32 y en donde se continúa con las imágenes que representan el resto de los análisis de germinación. Fotografías Original por el Autor W. H. S., tomada con cámara Sony Alfa 3500.....	122
<b>Figura 33.</b> Fotografías que representan la germinación de semillas del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L, en condición de laboratorio y empleando cuatro diferentes sustratos y en donde la primer imagen corresponde a la Agarosa (D), sustrato en el que se observaron los mayores niveles de germinación. Las siguientes imágenes representan el análisis de germinación en condición de invernadero (E) y en la última imagen (F) se aprecia el sustrato orgánico empleado para este análisis y el crecimiento de las plántulas en este material. Fotografías Originales por el autor W. H. S., tomado con Cámara Sony Alfa 3500.....	123
<b>Figura 34.</b> Ciclo Fenológico en condición de invernadero de una planta del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L, desde semilla (A), germinación durante la primer semana; un día, altura de 0.5 cm (B), Dos días, altura de 1.2 cm (C), tres días, altura de 2 cm (D), siete días, altura de 5 cm (E), planta de 15 días de crecimiento (F), planta con crecimiento de 30 días (G), planta con crecimiento de 45 días ( y planta con crecimiento de 60 días, con flores y primeros frutos (I). Fotografías Originales por el autor W. H. S., tomado con Cámara Sony Alfa 3500.....	124
<b>Figura 35.</b> Fotografías que representan etapas del proceso fenológico del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L, desde plántula (A), floración (B), cuajado de los primeros frutos (C), crecimiento de frutos, hasta alcanzar la talla de madurez ( D, E y F),el resto del proceso fenológico continua en la siguiente página. Fotografías Originales por el autor W. H. S., tomado con Cámara Sony Alfa 3500.....	125
<b>Figura 36.</b> Imágenes que dan continuidad al proceso fenológico representado en la figura 30, inicio de la etapa de maduración (G y H), etapa de maduración de los frutos en donde sobresale un color rojo intenso (I, J y K) y en la última fase del proceso fenológico, está la cosecha y aprovechamiento de los frutos maduros del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L (L), Fotografías Originales por el autor W. H. S., tomado con Cámara Sony Alfa 3500.....	126
<b>Figura 37.</b> Etapas del ciclo celular en mitosis del ciclo celular del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L, Interfase con núcleo central (A, B), en la profase media se observan núcleos con presencia de una par de nucléolos semitransparentes fusionándose en el núcleo en crecimiento (C, D), en la metafase temprana, se observa el alineamiento de los cromosomas, aun no se han separado por completo, cada uno de ellos establecidos temporalmente en regiones propias (E y F). El resto de las fases del ciclo celular del tomatillo silvestre continúa en la Figura 38.....	127
<b>Figura 38.</b> Continuación del ciclo celular del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L, en la que se observan la Anafase temprana en la que se puede apreciar dos conjuntos diploides de cromosomas que inician la separación, pero aún se mantienen en contacto (G), en la Anafase	

media se observa la migración de las dotaciones cromosómicas en sentidos opuestos (H), en la Telofase se puede apreciar la configuración típica de dos paquetes cromosómicos semisólidos en movimiento, ambos ocupan polos opuestos a lo largo del citoplasma celular ( I y J), por último en la Citocinesis se puede apreciar la cromatina altamente dispersa en varias regiones y puntos más densos ( K y L)..... 128

**Figura 39.** Imágenes que muestran, los efectos de la Radiación UV, sobre plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L, irradiadas con la dosis 2.1 J/cm<sup>2</sup>; el efecto a que representado es a nivel foliar; estos efectos se documentaron cada 24 horas. En la primer imagen se aprecian plántulas antes de ser irradiadas (A), en la siguiente imagen se aprecian las mismas plántulas estresadas, 24 horas posteriores de ser irradiadas (B), 48 horas después, había ejemplares muertos y con daños de clorosis y quemaduras en las hojas (C). El análisis continúa en la siguiente página, Figura 40..... 129

**Figura 40.** En la imagen (D), se muestran los efectos de la radiación UV, en plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L, 72 horas posteriores a la irradiación, se aprecian ejemplares muertos y con quemaduras en hojas, en la imagen (D), se aprecia que de 30 ejemplares irradiados, solo nueve están aún vivos, pero con severo daño en hojas y tallos, 21 plántulas han muerto, al cuarto día del experimento; en la imagen (F), corresponde al quinto día de análisis y en el que prácticamente todos los irradiados han muerto, cabe mencionar que estas imágenes corresponden a una réplica de la dosis 2.1J/cm..... 130

**Figura 41.** Fotografías de algunos insectos plaga, localizados en plantas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L, que causaron daños en hojas y frutos durante el ciclo de vida de las plantas, empleadas en esta investigación; Gusano soldado *Spodoptera exigua* (A), Gusano alfiler *Keiferia lycopersicella* (B), Mosca blanca *Bemisia tabaco* (C), Gusano falso medidor *Trichoplusia ni* (D), piojo harinoso *Planococcus citri* (E) y palomillero dorso de diamante *Plutella xylostella* (F). Fotografías Original por el autor W. H. S, tomado con Cámara Sony Alfa 3500..... 131

**Fenología, fisiología, citología y efectos de la radiación (UV) sobre la sobrevivencia, estructura intracelular y extracelular de germinados tempranos del tomatillo silvestre *Solanum lycopersicum* L.**

**RESUMEN**

El tomate es una planta nativa de América, la cual cuenta con una amplia diversidad de parientes silvestres, tales como el tomatillo silvestre *Solanum lycopersicum* L. La planta, es común en las regiones tropicales de México y considerado el ancestro del tomate domesticado con importancia económica y cultural. Es por ello, que en la presente investigación se evaluó la diversidad merística, morfométrica y fenológica de frutos recolectados en seis municipios del estado de Tabasco en México, se determinó la capacidad de germinación y el establecimiento de las mejores condiciones de sustrato para la germinación en condiciones de laboratorio, para la producción y estudios en plántulas cultivadas “*in vitro*”. También, se estudió el ciclo de vida del tomatillo tabasqueño en condiciones de invernadero desde la germinación, la producción de frutos y hasta la senescencia de las plantas. Por otro lado, mediante técnicas de citología de alto contraste, se determinó el ciclo celular en mitosis y se estableció un nuevo citotipo de esta especie de  $2N=14$  cromosomas. Por último, se evaluó los efectos de once dosis de radiación ultravioleta (UV) sobre germinados tempranos, todo ello con el fin de desarrollar un modelo biológico de origen nativo para su empleo en condiciones naturales de cultivo en sistemas tradicionales del trópico mexicano. Todo lo anterior, ha contribuido de manera significativa, en la generación de valiosa información de una variedad de tomate silvestre con valor histórico, cultural, económico y agronómico; y con ello generar estrategias que garanticen su permanencia en su medio silvestre y que permanezca como patrimonio de valor incalculable dentro de la diversidad de las riquezas vegetales de México.

**Palabras clave:** Tomatillo Silvestre, Sustrato, Germinación, Plantulas, Ciclo celular, Cromosomas, Radiación Ultravioleta.

**Phenology, physiology, cytology and effects of radiation (UV) on the survival, intracellular and extracellular structure of early sprouts of the wild tomatillo *Solanum lycopersicum* L.**

**ABSTRACT**

The tomato is a plant native to America, which has a wide diversity of wild relatives, such as the wild tomatillo *Solanum lycopersicum* L. The plant is common in the tropical regions of Mexico and considered the ancestor of the economically and cultural important domesticated tomato. Therefore, in the present investigation, the meristic, morphometric and phenological diversity of fruits collected in six municipalities of the state of Tabasco in Mexico was evaluated. The sprouting capacity and the establishment of the best substrate conditions for germination in laboratory conditions, for production and studies on seedlings grown “*in vitro*” were evaluated. Also, the life cycle of the tomatillo tabasqueño was studied under greenhouse conditions from germination, fruit production and until plant senescence. On the other hand, by using high contrast cytology techniques, the cell cycle at mitotic stage was determined and a new cytotype of this species with  $2N=14$  chromosomes was established. Finally, the effects of eleven doses of ultraviolet (UV) radiation on early sprouts were evaluated, all with the aim of developing a biological model of native origin for use in natural growing conditions in traditional systems of the Mexican tropics. All of the above has contributed significantly to the generation of valuable information on a variety of wild tomato with historical, cultural, economic and agronomic value; and thereby generate strategies that guarantee its permanence in the wild environment and that it remains as a heritage of incalculable value within the diversity of Mexico's plant riches.

**Keywords:** Wild Tomatillo, Substrate, Germination, Seedlings, Cell cycle, Chromosomes, Ultraviolet Radiation.

# CAPÍTULO I

---

## 1.-INTRODUCCIÓN

México ha realizado una extraordinaria aportación alimenticia para el mundo y con ello, las técnicas para cultivarlos y prepararlos, desde la época prehispánica, lo que ha sido de gran trascendencia en la gastronomía de muchos países en los diferentes continentes, entre los que sobresalen por su demanda comercial el maíz (*Zea mays*), el chile (*Capsicum annun*), el aguacate (*Persea americana*), el cacao (*Theobroma cacao* L), la papaya (*Carica papaya*) y desde luego el tomate (*Solanum lycopersicum*) (Vargas, 2015), de este último nuestro país es considerado su centro de origen y domesticación (Carrillo & Chávez, 2010). Se cree que el tomate es originario de América del Sur, específicamente de la región andina, particularmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile. Sin embargo, su domesticación fue llevada a cabo en México (Rick & Holle, 1990; Pérez *et al.* 1997). El tomate es una de las hortalizas más cultivadas a nivel mundial (Vásquez *et al.* 2010), encontrándose la mayor diversidad de tomates en las variedades silvestres, que presentan variabilidad en las características de calidad del fruto como: sabor, aroma, coloración y textura (Agudelo *et al.* 2011). Como planta nativa de América, el tomate cuenta con amplia diversidad de parientes silvestres (Álvarez *et al.* 2009); dentro de las que se encuentra el tomatillo silvestre *Solanum lycopersicum* L., muy común de las regiones tropicales de México; considerado el ancestro del tomate domesticado, su distribución abarca desde México a Sudamérica (Gleason & Cronquist, 1991; D'Arcy, 2001). La especie pertenece a la familia Solanácea, es una planta herbácea, de tallo piloso, frutos pequeños, ricos en vitaminas C, E y Lycopeno, con ciclo de vida anual, aunque potencialmente perenne, florece a lo largo del año (Crisanto *et al.* 2010). En México es la única especie que se encuentra naturalizada o cultivada (Nee, 1986) y se le observa como espontánea entre otros cultivos y en la vecindad de habitaciones humanas (Rzedowski & Rzedowski, 2004).

Considerando diversos factores, como la importancia del tomatillo tropical *S. lycopersicum* L., en México, la pérdida de biodiversidad, el desconocimiento de muchas de las especies con potencial alimenticio que existen en el país, la demanda cada vez mayor de alimentos en el mundo, sobre todo los efectos del cambio climático en el planeta y los daños que este está provocando en todos los seres vivos como animales y plantas a través de la radiación, como lo son la radiación ultravioleta (UV), gamma y beta  $\beta$  sobre los organismos que integran la biosfera, principalmente de aquellos como las plantas, que no tienen capacidad de desplazamiento como mecanismo de evasión y protección y al igual que todas las plantas terrestres, el tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., está expuesto a sequías, inundaciones, temperaturas extremas y

radiaciones, que pueden afectar su desarrollo, crecimiento y la producción de alimentos (León *et al.* 2017). También, está sujeto a patógenos, hongos, bacterias, virus e insectos causantes de estrés biótico, factores que limitan su productividad; siendo este último la causa principal de la pérdida de cosechas en todo el mundo, reduciendo la productividad hasta en 50% (Tuteja *et al.* 2009).

En la presente investigación se evaluó la diversidad merística y fenológica de los frutos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., de seis municipios de la planicie del estado de Tabasco. Así mismo, se determinó la capacidad de germinación y el establecimiento de las mejores condiciones de sustrato para la germinación en condiciones de laboratorio, para la producción de plántulas y su empleo en estudios de laboratorio, como es el caso de los tratamientos con luz ultravioleta. También se estudió el ciclo de vida del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., en condiciones de invernadero rustico desde la germinación, la producción de frutos y muerte de plántulas en dos ciclos de cultivo, en los años 2018 y 2019. La determinación del ciclo celular en mitosis del tejido radicular, fue también necesario de establecerse mediante técnicas de citología que permitió la observación a nivel intracelular y extracelular. Por otro lado se evaluó los efectos de varias dosis de radiación ultravioleta (UV) sobre germinados tempranos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., todo ello con el fin de desarrollar un modelo biológico de origen nativo para su empleo en condiciones naturales de cultivo en sistemas tradicionales del trópico mexicano.

## CAPÍTULO II

---

### 2. ANTECEDENTES

#### 2.1. La Familia Solanácea

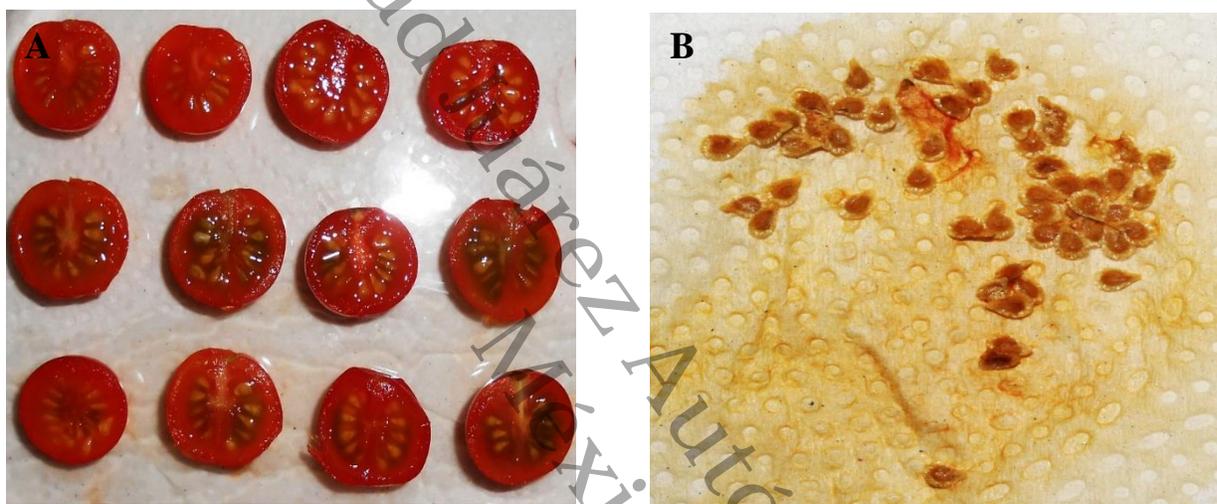
Solanácea, es una de las familias de plantas más importante en el mundo desde el punto de vista económico (Särkinen *et al.* 2013); y es ampliamente distribuida en México, englobando a 96 géneros y 2300 especies (Long, 2001 & Sierra-Muñoz *et al.* 2015), distribuidas de forma cosmopolita, en regiones desérticas (Bedoya & Berrero, 2009), tropicales, subtropicales, templadas y con altitudes de cero a 400 msnm; se conocen varios centros de diversificación; entre los que se encuentran Australia, los Himalaya (Sierra-Muñoz *et al.* 2015), una parte de Norte América, Centro y Sudamérica (Martínez *et al.* 2017); de donde se cree que en promedio 40 géneros son endémicos de las regiones tropicales donde se cultivan o crecen de modo silvestre (Stevens, 2001). La citada familia Solanaceae, ha contribuido culturalmente, socialmente, económicamente y políticamente en la vida del hombre a lo largo de su historia (Long, 2001). En particular México, es uno de los mayores centros de diversificación y endemismo de esta familia, ya que el país posee 135 variedades endémicas (Martínez *et al.* 2017). La importancia de esta familia radica en el sector alimenticio, económico y actualmente farmacológico por sus propiedades analgésicas, antineoplásicas, hipoglucemiantes, antimicrobianas, antifúngicas y antiparasitarias (Torres-Najera *et al.* 2013). Esta familia incluye plantas comestibles como la papa (*Solanum tuberosum*) L., la berenjena (*S. melongena*) L., el pimiento (*Capsicum annum* L.), ají del monte (*C. chacoense* Hunz) y el tomate (*Lycopersicum esculentum*). También la familia incluye plantas nocivas como el tabaco (*Nicotina tabacum* L.), el toloache (*Datura innoxia* Mill), la belladona (*Belladonna* Mill) e incluye ejemplares de ornato como la petunia (*Petunia* Juss) (Long, 2001; Wu & Tanksley, 2010), el tomate *L. esculentum*, es el principal producto agroalimentario de exportación de origen mexicano, cuyo nombre procede del náhuatl xictli, ombligo y tomatl, tomate, que significa tomate de ombligo (SAGARPA, 2016). Actualmente es el segundo cultivo hortícola más importante en el mundo (Karsburg *et al.* 2009 & Álvarez *et al.* 2009).

## 2.2. Origen, Biología y Ecología del Tomatillo Silvestre *S. lycopersicum* L.

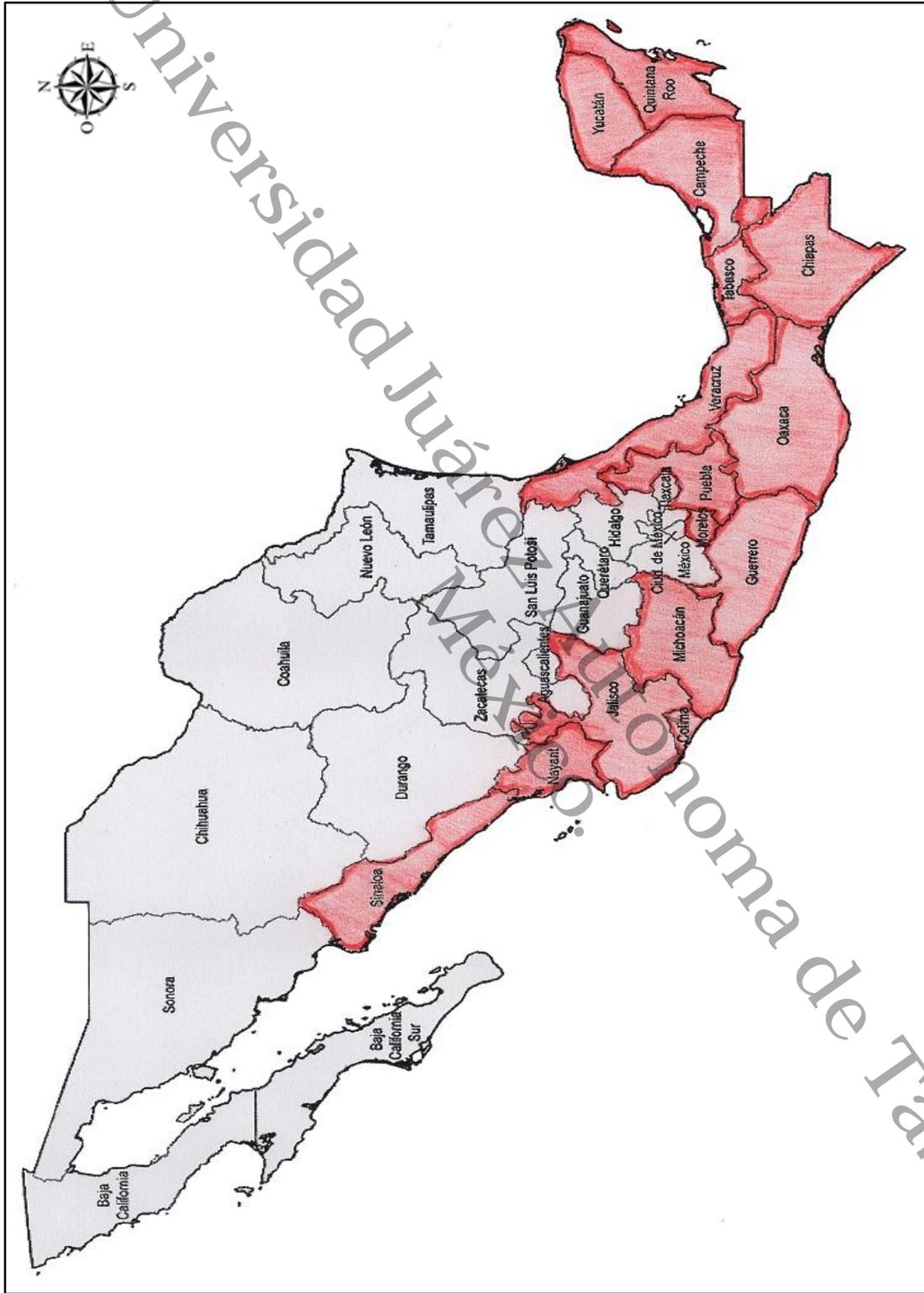
El tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., es catalogado el ancestro del tomate domesticado (CONABIO, 2017), se cree que es originario de las planicies de América del Sur (Bonilla *et al.* 2014) entre Ecuador y Perú (Álvarez *et al.* 2009; Crisanto-Juárez *et al.* 2010). Sin embargo, existen dos teorías sobre la domesticación del tomate: la primera sugiere que la especie fue domesticada en Perú, esta teoría, fue propuesta por Candolle (1886), a través de una revisión botánica, lingüística e histórica y ha sido respaldada por autores como Moore (1935), Müller (1940<sup>a, b</sup>) y Luckwill (1943<sup>a, b</sup>). La segunda hipótesis, fue propuesta por Jenkins (1948) y sugiere que el centro de domesticación fue en México, pues existe una mayor diversidad de variedades silvestres, en comparación con Perú (Peralta & Spooner, 2006). En la actualidad, México es considerado el centro de domesticación (Flores-Hernández *et al.* 2017) y en el país existen grandes reservas genéticas de *S. lycopersicum*, de manera silvestre y cultivada, poco estudiadas y aprovechadas; lo que se comprueba en el jitomate domesticado que posee pobre representación de las reservas de las especies nativas (Vásquez-Ortiz *et al.* 2010), dado a conocer por Miller & Tanksley (1990), cuando estimaron que los genomas del tomate cultivado contienen menos del 5% de la variación genética de sus parientes silvestres.

Como planta oriunda de América, el tomate cuenta con extensa variedad de parientes silvestres entre los que se encuentran: *S. pimpinellifolium*, *S. chmielewskii*, *S. neorickii*, *S. habrochaites*, *S. chilense*, *S. peruvianum* L. y *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* (Álvarez-Hernández *et al.* 2009) y *S. lycopersicum* L. (D'Arcy, 2001). Esta especie, es común observarla en lugares perturbados de las regiones tropicales de México, crece en gran variedad de hábitats que van desde cero hasta 3300 msnm, con distribución en zonas de climas tropicales (Álvarez-Hernández *et al.* 2009); aunque ciertas variedades poseen la capacidad de aclimatarse adecuadamente a espacios o invernaderos con clima frío (Córdova *et al.* 2018) y resistencia a plagas como las que se muestran en el **Anexo Fotográfico XI** de este documento. También se le observa como espontánea en medio de otros cultivos como las milpas, es una especie de vida corta, alcanzando tamaño de hasta 1 metro de altura, tallos erectos o recargados sobre orquetas de madera, hojas alternas de ápices puntiagudos, flores en racimos y a veces ramificadas, cáliz de cinco sépalos, frutos carnosos, jugosos de color rojo al madurar, con numerosas semillas de forma aplanada y circular de coloración amarillenta, lo que se puede apreciar en la **Figura 1**, con ciclo de vida anual (Gleason & Cronquist, 1991; D'Arcy, 2000; Rzedowski & Rzedowski, 2004). La información disponible sobre la biología de la especie, potencial nutricional y características pos cosechas, es mínima; en comparación con otras variedades de tomates comercializados (Crisanto-Juárez *et al.* 2010).

Por otro lado, las diferentes acciones antropogénicas, comprometen o amenazan la supervivencia del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., geográficamente, se distribuye desde México a Sudamérica. En México su distribución abarca los estados del centro del país como Guerrero, Jalisco, Morelos, Puebla, Nayarit, Sinaloa y los estados del sur como Oaxaca, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Campeche y Yucatán; lo cual se puede apreciar en la **Figura 2**, siendo su estatus migratorio en el país como nativo (Villaseñor & Espinosa, 1988; Lépiz & Rodríguez, 2006; Crisanto-Juárez *et al.* 2010).



**Figura. 1.** Semillas dentro de frutos maduros del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., (A) y semillas deshidratadas para su conservación (B). Fotos originales por el autor W. H. S.



**Figura. 2.** Distribución geográfica del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., en varios estados de México marcados con rojo. Esta especie se distribuye en los estados del Sur; en Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán, Quintana Roo y Oaxaca, en el Centro en los estados de Puebla, Guerrero, Michoacán Morelos, Tlaxcala y en el Norte en Colima, Jalisco, Nayarit y Sinaloa. Mapa coloreado por el Autor y tomando como referencia el mapa de la página oficial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2019). (INEGI, 2019).

### 2.3. Taxonomía y Clasificación del Tomatillo Silvestre *S. lycopersicum* L.

La taxonomía, y la clasificación considerada fue la basada en la clasificación taxonómica de Corral & Johnston (1970); Martínez (1979); Nee (1986); Gleason & Cronquist (1991); D' Arcy (2001); Rzedowski & Rzedowski (2004). Con ello el tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., representado en las Figuras 3 y 4, se clasifica a como se muestra a continuación.

Reino: Plantae

Superdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: Solanum

Especie: *Solanum lycopersicum* L.

Nombre común: Tomatillo silvestre



**Figura. 3.** Frutos maduros del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., cultivados en condiciones de invernadero rustico. Fotografía Original por el autor W. H. S, tomado con Cámara Sony Alfa 3500.



**Figura. 4.** Planta adulta del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., con 60 días de crecimiento, en condiciones de invernadero, en el que se observa la presencia de los primeras flores y frutos. Fotografía Original por el autor W. H. S, tomado con Cámara Sony Alfa 3500.

## 2.4. Estudios Fenológicos en las Plantas de Tomates

En México son dispersos los estudios realizados en este aspecto, siendo uno de los más recientes, el que realizaron Salgado-Meráz *et al.* (2018), en el que evaluaron 14 muestras representativas de materiales genéticos, en los que cuatro poblaciones fueron nativas de tipo cherry, nueve poblaciones de la especie *S. pimpinellifolium* y una muestra del híbrido comercial “sweet heart” tipo cherry. El estudio, se realizó en condiciones de invernadero evaluándose 13 variables: altura de la planta en cm, días para la maduración del fruto del primer racimo, número de flores del tercer racimo, número total de racimos por planta, número total de frutos, peso total de frutos, peso promedio forma, firmeza y acidez de los frutos (Cordova *et al.* 2018), en condiciones de invernadero, evaluaron el rendimiento y la fenología de tres genotipos de tomate cherry (*S. lycopersicum* L.), ante la falta de información en cuanto a esta variedad, se emplearon los genotipos de híbridos Tangerino, cherry tropical y una variedad red cherry evaluándose la fenología y variables cuantitativas como: número de flores por inflorescencia, diámetro y peso promedio de los frutos, número de frutos y rendimiento por planta. En las tres variedades estudiadas, al inicio de los estadios fenológicos, sucedió en el mismo lapso de tiempo y los frutos evaluados no presentaron diferencias significativas con respecto al diámetro promedio. Por otro lado Flores-Hernández *et al.* (2017), realizaron el estudio en parientes silvestres en el que describieron la diversidad genética de especies silvestres emparentadas con el tomate cultivado, con potencial para mejoramiento genético. El material genético, constó de 46 muestras provenientes de nueve especies de tomates silvestres, proporcionados por el Tomato Genetics Resource Center (TGRC) de la Universidad de California, Davis, USA; Estudiaron variables como: días de floración y madurez, longitud de la hoja en cm, diámetro del tallo en cm, número de flores por racimo, peso, longitud, ancho y número de semillas de los frutos y tipo de inflorescencia. En variables cualitativas se estudió la posición del estilo, forma predominante del fruto, rayas verdes y pubescencia en frutos y concluyeron que todas las variedades estudiadas poseen potenciales características para mejoramiento genético en el tomate cultivado; Bonilla *et al.* (2014), estudiaron en condición de invernadero, la diversidad agronómica y morfológica de materiales de tomate nativo de uso local en los estados de Puebla y Oaxaca; con la visión a futuro en su empleo en el aprovechamiento en programas nacionales de mejoramiento de corto a largo plazo. Para ello realizaron 40 recolectas de variedades nativas, 18 de las cuales fueron de la variedad pimiento, 15 fueron de la variedad tipo riñón, 5 de ojo de venado y dos de cherry, de los cuales 35 recolectadas en Puebla y cinco en Oaxaca y una variedad testigo del híbrido comercial SUN7705 de tipo saladette. Se estudiaron variables como: altura de la planta, número de hojas y pétalos, distancia entre racimos, días de maduración, número total de frutos, diámetro,

longitud, peso promedio y peso total de los frutos de una muestra representativa de cinco frutos. En este estudio, las variedades de tipo pimiento sobresalieron en tamaño de frutos, sólidos solubles y firmeza, lo que los hizo similares a la variedad testigo SUN7705, teniendo fuerte potencial para ser empleados como fuentes de germoplasma y se sugiere darle mayor importancia en estudios posteriores de caracterizaciones de germoplasma endémico de México. Asimismo, Crisanto-Juárez *et al.* (2010), en condición de invernadero, evaluaron la calidad física del color, la composición química y nutricional en sólidos solubles de jugo y pulpa de frutos de tomates de origen silvestre recolectados en regiones del estado de Oaxaca, México. Se obtuvieron 17 muestras representativas de tomate de plantas localizadas en parcelas de agricultores y en la vegetación cercana a los asentamientos humanos y plantaciones de maíz (*Zea mays* L.), bajo un diseño de bloques al zar triplicado. Los resultados en los contenidos de licopeno, sólidos solubles, pH, azúcares reductores, acidez y los parámetros de color, permitieron describir y clasificar en tres grupos a las variedades estudiadas de tomate “Cherry” de Oaxaca, observándose diferencias arriba de ( $P \leq 0.05$ ) entre grupos y entre recolectas para todas las variables.

## 2.5. Estudios Citológicos en los Tomates

La información relacionada al número de cromosomas y la citología mitótica/meiótica en el tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., es relevante en el número de estudios realizados. Sin embargo, en estos análisis sólo se ha empleado tejido de gametofitos y esporofitos. Existe discrepancia respecto al número de estructuras cromosómicas reportada. Los resultados indican que el número de cromosomas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., oscilan entre 12, 24, 36 y 48 elementos cromosómicos; a como se observa en la **Tabla 1** y en donde se mencionan algunos estudios, como los de Gottschalk (1956), Titu (1966), Baquar (1967), Bir *et al.* (1978), Cawood (1980), Ugborogho (1985), quienes reportan 12 cromosomas observados en tejido gametofítico. Por otro lado Májovský *et al.* (1978), Govindarajan & Vijayakumar (1986); Huan *et al.* (1989); Calvalheira *et al.* (1991); Zhang *et al.* (1996); Matsumoyo *et al.* (1997) & Yang (2005) reportan 24 cromosomas observados en tejidos de esporofitos. Mientras que Upcott (1935), reportó 36 estructuras; y Jorgensen (1928), reportó 48 cromosomas observados en esporofitos de *S. lycopersicum* L., en estos análisis, no se ha empleado tejido foliar ni radicular como en el presente estudio que se utilizó radículas de semillas germinadas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

**Tabla 1:** Estudios citológicos realizados en tomate *S. lycopersicum* L., donde los estudios reportan variedades con 12, 24, 36 y hasta 48 estructuras cromosómicas. Cabe mencionar que estos análisis, se han realizado con tejidos gametófiticos y esporófiticos.

Fuente	Especie	Número de cromosomas	Año
Gottschalk, W.	<i>S. lycopersicum</i> L.	1N=12	1954
Titu, H.	<i>S. lycopersicum</i> L.	1N=12	1966
Baquar S.H.	<i>S. lycopersicum</i> L.	1N=12	1967
Bir S.S., S. Kumari, S. P. Shoree & M.S. Sagoo	<i>S. lycopersicum</i> L.	1N=12	1978
Cawood, A.H. & J. K. Jones	<i>S. lycopersicum</i> L.	1N=12	1980
Ugborogho, R. E. & E. O. Sodipo	<i>S. lycopersicum</i> L.	1N=12	1985
Májovský J.	<i>S. lycopersicum</i> L.	2N=24	1978
Govindarajan, T. & N. Vijayakumar	<i>S. lycopersicum</i> L.	2N=24	1986
Huang, S. F., Z. F. Zhao, Z. Y. Chen, S. J. Chen & X.X. Huang	<i>S. lycopersicum</i> L.	2N=24	1989
Carvalho <i>et al.</i> (1996)	<i>S. lycopersicum</i> L.	2N=24	1991
Zhang, Z. P., L. H. Wu & X. G. Hou	<i>S. lycopersicum</i> L.	2N=24	1996
Matsumoyo <i>et al.</i> (1997).	<i>S. lycopersicum</i> L.	2N=24	1997
Yanh, T.J.	<i>S. lycopersicum</i> L.	2N=24	2005
Upcott, M.	<i>S. lycopersicum</i> L.	3N=36	1935
Jorgensen, C.A.	<i>S. lycopersicum</i> L.	4N=48	1928



**Figura. 5.** Representación de las etapas del ciclo de vida del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., plántula con cotiledones (A), ramas, hojas en crecimiento (B), inflorescencia (C), fruto en estadio inmaduro (D), frutos verdes (E) frutos maduros (F), todo en condiciones de invernadero. Fotografías Originales por el autor W. H. S., tomadas con Cámara Sony Alfa 3500.

## 2.6. El Espectro de Luz y la Radiación Ultravioleta (UV)

### 2.6.1. Funciones y Efectos de la Luz UV

La radiación ultravioleta UV, es un factor ambiental importante, en la vida de las plantas (Morales *et al.* 2010) y de las diferentes especies sobre la superficie de la Tierra (Sandoval & Edding, 2015), debido a que inicia diversas respuestas en ellas; afectando potencialmente la distribución. Además regula diversos procesos fisiológicos, ecológicos, producción de biomasa y semillas (Morales *et al.* 2010); y procesos fotobiológicos como la fotosíntesis; actuando sobre factores ambientales como la temperatura y los ciclos naturales en los ecosistemas (Ulm & Jenkins, 2015). Sin embargo, poco se ha investigado sobre los efectos que causa en las plantas (Václavík *et al.* 2017). La radiación UV, es una compleja mezcla de luz visible y longitudes de ondas infrarrojas (Verdaguer *et al.* 2017), que comprende entre el 8% al 9% de la radiación solar total de la región no ionizante del espectro electromagnético (Sarghein *et al.* 2011), siendo una porción del espectro electromagnético entre los rayos X y convencionalmente se le ha dividido en tres categorías UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV -C (100 a 280 nm), la UV-C, es absorbida por el ozono estratosférico (O<sup>2</sup>), (Ulm & Jenkins, 2015) y el oxígeno (O<sup>2</sup>) de la estratosfera; siendo esta la más letal y dañina para el material genético de los organismos expuestos (Carrasco, 2009). Mientras que las UV-A y la UV-B, llegan a la superficie de la Tierra y pueden causar efectos en la biosfera, siendo la UV-B la forma más dañina de las radiaciones provenientes del sol (Ulm & Jenkins, 2015). La UV-B, es la que tiene interés particular debido a que estas longitudes de ondas representan aproximadamente el 1.5% del total del espectro electromagnético y por qué pueden causar efectos dañinos de manera particular en las plantas (Zlatev *et al.* 2012; Tesema *et al.* 2014).

### 2.6.2. Efectos de la Radiación UV Sobre las Plantas

Las plantas, son organismos sésiles fotosintéticos en los que la luz solar influye por completo en su ciclo de vida (Rizzini *et al.* 2011), empleándose para obtener energía, la cual capturan a través de fotorreceptores, presentando desarrollo fotomorfogénico. Además de estar expuestas a la radiación fotosintéticamente activa (RFA, 400-700 nm), están expuestas a luz ultravioleta, que oscila hasta los 400 nm (Nawkar *et al.* 2013); dañando el ADN de plantas, animales y los humanos (Reboredo & Lidon, 2012). Afectando estas biomoléculas de los organismos expuestos a diferentes dosis, especialmente de las áreas

expuestas al sol; generando dímeros de pirimidina ciclobutano (DPC) y 6-4 fotoproductos (6-4) PP (Carvalho *et al.* 2008).

Los efectos causados en las plantas pueden ser directos e indirectos, y se han detectado daños en diferentes estructuras celulares, como las membranas, proteínas, ADN, alteraciones en el crecimiento de la planta, morfología, fisiológico y procesos bioquímicos (Kravets *et al.* 2012). Además de provocar daño macroscópico como la clorosis (Csepregi *et al.* 2017). En ese sentido (Hollósy, 2002); (Ulm & Jenkins, 2015), establecen que las plantas, no pueden escapar de la radiación UV-B, mediante respuestas de comportamiento, por ejemplo: no pueden pasar a la sombra, debido a que son organismos sésiles que dependen de la luz solar como fuente de energía para la fotosíntesis. Por lo que deben lograr equilibrio en la captura de luz óptima. Sin embargo, esta problemática ha sido poco estudiada en especies de plantas (Salter *et al.*, 2017), sobretodo de aquellas de origen tropical.

La luz penetra las hojas y es absorbida por moléculas llamadas cromóforos (Carrasco, 2009), componentes fenólicos, flavonoides y ésteres de hidroxycinamato en la hojas, susceptibles al efecto dañino de la radiación UV (Zlatev *et al.* 2012); siendo el triptófano y la tirosina los principales aminoácidos absorbentes, además de otras biomoléculas como las quinonas, flavinas, porfirinas, el ácido urocánico, la melanina, la hemoglobina y carotenos (Gonzalez-Pumariaga *et al.* 2009). También, es absorbida por lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y vitaminas; causando en estas moléculas la oxidación de sus estructuras, alteraciones en los fotosistemas de clorofila-proteína y daños en el aparato fotosintético (Krelavski *et al.* 2013). Además las plantas, pueden percibir directamente los fotones UV-B, a través de un grupo de genes fotorreceptores (Nawkar *et al.* 2013); siendo el de mayor actividad; el locus 8 de resistencia al UV (UVR8), que es un fotorreceptor que controla la activación (Findlay & Jenkins, 2016) y la expresión de numerosos genes implicados en la aclimatación y protección de las plantas a la radiación UV-B (Rizzini *et al.* 2011); el cual puede percibir la luz UV-B, sin la ayuda de cofactores externos (Jin & Zhu, 2019). Después de la absorción de la UV-B, el UVR8, se convierte en monómeros que inician una cascada de señalización que conducen a la regulación transcripcional de los genes blanco, lo que induce la aclimatación, tolerancia y respuestas fotomorfogénicas a la UV-B; relacionadas con la síntesis de metabolitos, reparación del ADN y defensas antioxidantes contra la UV-B (Ulm & Jenkins, 2015; Suchar & Roberech, 2017). Además su función, está estrechamente coordinada con otras vías fotorreceptoras para regular la actividad de las auxinas y el crecimiento de la planta con luz solar (Hayes *et al.* 2014), se localiza en el citoplasma y en el núcleo (Heijde & Ulm, 2012).

La integridad del ADN genómico, es fundamental para el funcionamiento normal de las células y de esta manera cumplir los diferentes procesos que desempeñan en los seres vivos (Sanz-Murillo *et al.* 2018). Sin

embargo, la radiación UV-B además de afectar el ADN de plantas, animales y humanos (Reboredo & Lidon, 2012); ha sido reconocido, como causa de estrés abiótico responsable de la muerte celular programada o apoptosis (Wilians & Dickman, 2008).

También como factor potencialmente dañino para los organismos vivos, siendo por varios años y en diversos informes; el estrés y sus efectos como retraso en el crecimiento, lesiones macroscópicas y el daño oxidativo como la problemática que más se ha descrito (Jansen *et al.* 2012).

En el caso del daño al ADN, se producen diversos efectos fisiológicos, como la reducción de la síntesis de proteínas, la destrucción de la membrana celular y el daño de las proteínas fotosintéticas, lo que afecta el crecimiento y el desarrollo de todo el organismo (Tuteja *et al.* 2009). En acuerdo con Hader & Sinha (2005), la radiación UV, induce dos lesiones, la mutagénicas y citotóxicas de ADN como son: los dímeros de pirimidina ciclobutano (DPC), los fotoproductos de pirimidina pirimidona (6-4PP) y sus isómeros de valencia Dewar que se forman vía fotoisomerización frente a longitudes de ondas de 280 a 360 nm (Gonzalez-Pumariiega *et al.* 2009). En la fotosíntesis, se manifiestan con el deterioro del fotosistema II (PSII) y I (PSI) responsables de la conversión de la luz en energía, reducción en peso seco, almidón y contenido de clorofílico, disminución de la emisión de dióxido de carbono, la evolución del oxígeno y disminución de la actividad de la enzima Rubisco (ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa oxigenasa), localizada en los cloroplastos e indirectamente, la fotosíntesis es afectada por la inducción del cierre estomático reduciendo la eficacia del intercambio de gases, cambios en el grosor de las hojas y la anatomía, cambios en la morfología del dosel, entre otros aspectos (Hollósy, 2002). El fotosistema II (PSII), se ha percibido como vulnerable al daño por UV-B, considerándose un objetivo clave para determinar los posibles efectos del agotamiento de la capa de ozono y sus efectos sobre la producción de cultivos (Piri, 2011). También, las afectaciones al ciclo de Calvin, suceden mediante la pérdida de actividades enzimáticas, en especial con la disminución de la enzima ribulosa 1,5 difosfato carboxilasa o Rubisco, la cual cataliza la incorporación de CO<sup>2</sup> en este ciclo (Carrasco, 2009).

La reproducción sexual de las plantas, es afectada por la radiación UV-B debido a que la mayoría de las flores son protegidas contra la UV-B gracias a la acumulación de compuestos absorbentes de UV-B, como los flavonoides. Sin embargo, las partes menos protegidas, como el polen, son sensibles a las altas dosis de UV-B, que puede afectar de forma directa e indirecta la polinización, disminuyendo la duración de las visitas florales de los polinizadores, debido a los efectos de estas sobre los polinizadores; tal es el caso de las especies anuales, que a medida que aumentan las dosis de UV-B, hay tendencia a retrasar el inicio de la floración y disminuir la producción de frutos y/o semillas (Llorens *et al.* 2015). Como organismos fotoautotrofos sésiles (Heijde & Ulm, 2012). Las plantas, pueden responder a los cambios simultáneos

o secuenciales en las condiciones abióticas, mediante la variación fisiológica y la composición química. Estas respuestas de adaptación a factores externos, durante la etapa de crecimiento, pueden ejercer efecto profundo en respuestas a factores como el estrés abiótico (Escobar *et al.* 2017). Por todo ello, las plantas han desarrollado mecanismos como la fotorreactivación, la reparación por escisión de nucleótidos y la reparación por escisión de bases (Nawkar *et al.* 2013), eficientes sistemas de respuesta, desarrollados a lo largo de su evolución, en el que intervienen diversas proteínas, enzimas y genes, los cuales desempeñan diversas funciones para que estos sistemas de reparación puedan llevar a cabo la función de reparar los daños causados por las radiaciones (Piri *et al.* 2011).

### **2.6.3. Mecanismos de las Plantas como Respuestas a la Radiación UV**

#### **2.6.3.1. La Fotorreactivación**

La fotorreactivación, es el mecanismo más conocido para reparar los daños ocasionados por la luz UV y es realizado por la enzima fotoliasa, que utiliza energía para monomerizar los dímeros de pirimidina ciclobutano (CPD) o lesiones en el ADN (Hollósy, 2002; Christine *et al.* 2002); este mecanismo sucede cuando la radiación UV, causa alteraciones químicas en las bases del ADN, originando los dímeros de pirimidina ciclobutano (CPD), pirimidina 6,4 y pirimidona 6,4 PP, responsables de efectos deletéreos como la inhibición de la replicación, la transcripción, mutaciones y apoptosis (Tafur & Martin, 2014), lo que hace que las fotoliasas, se unen específicamente a las lesiones de ADN y las eliminan directamente mediante la absorción de luz, rompiendo las uniones covalentes que conectan las pirimidinas en un dímero (Christine *et al.* 2002; Thonsom & Sancar, 2002), en un rango de 300 a 600 nm (Tuteja *et al.* 2009).

#### **2.6.3.2. La Reparación por Escisión de Bases (REB)**

Este mecanismo se caracteriza por que elimina una base o secuencia que contiene la base dañada (Díaz & Domínguez, 2010) y la reemplaza con nucleótidos nuevos, según la información en la cadena de ADN complementaria. Las enzimas clave implicadas en este proceso, son las glucosilasas de ADN, que eliminan diferentes tipos de bases modificadas mediante la escisión del enlace N-glucosídico entre la base y la cantidad de 2-desoxirribosa de los residuos de nucleótidos, dependiendo de la modificación bioquímica, existen diferentes tipos de glicosilasas de ADN altamente específicas (Hader & Sinha, 2005).

### 2.6.3.3. La Reparación por Escisión de Nucleótidos (REN)

Es el proceso por excelencia (Sanz-Murillo *et al.* 2018), para la reparación de los dímeros de pirimidina y en el que participan enzimas como las helicasas, endonucleasas, polimerasas y ligasas (González-Pumariega *et al.* 2009). Este mecanismo, puede eliminar una cadena sencilla de ADN dañado con una longitud de 24 a 30 pares de bases (Díaz & Domínguez, 2010). Reparando una amplia gama de lesiones en el ADN, que incluye los CPD y 6-4PP, este mecanismo está presente en la mayoría de los organismos y solo requiere tres proteínas, UVrA, UVrB y UVrC (Hader & Sinha, 2005), actuando como endonucleasa localizando la lesión y removiendo los nucleótidos dañados. El proceso, inicia con la proteína UVrA cuando se une y reconoce el daño en el ADN, a continuación la UVrB se adhiere al sitio del daño, generando dos escisiones de la misma, por último la UVrD remueve el segmento de oligonucleótidos dañados y la ADN polimerasa I sintetiza los correctos, que al final son unidos por la ligasa (Tafurt & Marín, 2014).

## 2.7. Estudios con Radiación UV

La radiación UV y sus efectos, han sido estudiados en diferentes grupos de organismos vivos, ejemplos de estos estudios tenemos los realizados en especies acuáticas como las algas diatomeas y flageladas (Durif *et al.* 2015), organismos terrestres como los hongos entomopatógenos, tomando como especie modelo a *Metarhizium acridum mycelium* (Brancini *et al.* 2016) e insectos como la *Diaphorina citri* (Miranda *et al.* 2015). Siendo las plantas el grupo de organismos que más resulta afectado por la radiación solar UV (Vanhaelewyn *et al.* 2016). Así también, Escobar-Bravo *et al.* (2017), estudiaron los efectos interactivos de la luz UV-B con factores abióticos sobre el crecimiento, la química de las plantas y las consecuencias para la defensa artrópodos herbívoros; en los que la luz ultravioleta-B (UV-B) desempeña un papel crucial. El resultado de estos, estudios ha arrojado la forma de cómo estas interacciones podría tener influencia sobre la interacción contra enemigos; por ejemplo, los artrópodos herbívoros.

En el caso de las plantas, la mayoría de los estudios se han realizado en plantas alimenticias, medicinales o de algún interés económico, por los desafíos que se enfrentan a nivel mundial en las problemática alimenticia, aumento de la población mundial y aumento de la temperatura, este último como consecuencia de las actividades antropogénicas y que han dado como resultado el deterioro de la capa de ozono de nuestro planeta. Dichos estudios en su mayoría se han realizado en países tropicales, como Brasil y en países como Alemania, Canadá, Inglaterra, Estados Unidos, Japón, etc. Ejemplos de esos estudios,

son como el realizado en la especie de *Phaseolus vulgaris* por Raghuvanshi & Sharma (2016), en el que irradiaron con diferentes dosis ejemplares de esta especie y comprobaron que la radiación UV-B causa reducción en el tamaño de las hojas, reducción en el número de nódulos de la raíz, reducción en la longitud total de las plantas en comparación con las plantas control. Mientras que Csepregia *et al.* (2017), utilizaron la especie *Arabidopsis leaves*, en la que emplearon hojas de esta especie, expuestas a radiación durante siete días. Observaron que las hojas expuestas a UV-B; contenían niveles consistentemente más altos de pigmentos que absorben UV, en comparación con los controles no expuestos, los niveles de absorbancia de UV aumentaron en 67% en algunas hojas, hubo un efecto significativo en el contenido de pigmento absorbente de UV respecto a las edades de las hojas y se observó mayor nivel de actividad antioxidante en comparación con las hojas control.

En la misma dirección León-Chan *et al.* (2017), estudiaron el mecanismo de contenido de clorofila e inducción de la acumulación de compuestos antioxidantes y absorbentes de UV-B en plantas de *C. annuum*; en este estudio, se demostró el efecto negativo de la radiación UV-B en las concentraciones de clorofila, las cuales disminuyeron 39% y se registró el aumento de varios compuestos de defensa tales como carotenoides y flavonoides, se extrajeron muestras de carotenoides, compuestos fenólicos y flavonoides para el análisis en laboratorio. Se comprobó, el aumento de estos compuestos en comparación con los ejemplares control, que mantuvieron sus niveles sin alteración alguna. El estrés producido por la radiación UV-B, indujo mayores acumulaciones de ácido clorogénico, A-7-G y L-7-G en las hojas de pimiento en comparación con las que se utilizaron bajo condición de estrés por separado. Machado *et al.* (2017), utilizaron como planta modelo a la especie forestal *Eucalyptus globulus*, se evaluó el rendimiento fotosintético y perfil de compuestos orgánicos volátiles. Después de la radiación UVB, sobre el rendimiento fisiológico y el perfil metabólico de las hojas de las plantas juveniles. Se observó que los niveles de clorofila a y b, y los carotenoides muestran tendencia a disminuir con el tiempo, alcanzando los valores mínimos 11 días después del estrés, causado por el efecto de las radiaciones UV-B.

Asimismo, Fonini *et al.* (2017), realizaron el estudio sobre la anatomía de las hojas y la eficiencia fotosintética en *Acrostichum danaeifolium*, después de la exposición a la radiación UV se observaron hojas expandidas, con coloración homogénea; en el mismo ejercicio se expusieron ejemplares durante seis semanas a UVA + UVB mostrando hojas arrugadas y necróticas en las áreas más afectadas por UVB; además de mostrar estomas anormales, las hojas de los esporofitos jóvenes de *A. danaeifolium* mostraron anatomía peculiar que aún no se ha descrito para esta especie, grandes parénquimas y cloroplastos en las células epidérmicas de ambas caras, mitocondrias alteradas e irregulares entre otros cambios observados.

En otra investigación Ruhland & Eatweel (2017), utilizando ejemplares de plantas mutantes de dos diferentes especies: *Z. mays* y *S. bicolor*, las plantas mutantes mostraron resistencia a los efectos de la radiación UV-B, lo que indica que las plantas expuestas a altas dosis de esta radiación han desarrollado eficientes mecanismos de defensas para contrarrestar los efectos negativos de la radiación, sus hojas y tallos; no mostraron alteraciones en su morfología y anatomía, el crecimiento fue normal en las especies irradiadas y los niveles de clorofila se mantuvieron estables en los mutantes irradiados en ese estudio.

Por otro lado León-Chan *et al.* (2017), utilizando niveles bajos de temperatura y radiación ultravioleta-B, estudiaron el efecto que estas variables causaron de manera separadas y juntas en el contenido de clorofila y componentes antioxidantes en ejemplares del chile campana o morron (*C. annuum*), observaron que las concentraciones de clorofila y carotenoides, resultaron inversamente afectados después de ser expuestos a las variables de estudio. Cuando las plantas fueron expuestas a bajas temperaturas junto con UV-B, el contenido total de clorofila fue menor, las concentraciones de carotenoides incrementaron cuando las plantas fueron expuestas a bajas temperaturas y a UV-B por separado y cuando fueron expuestas a bajas temperaturas con UV-B, las concentraciones de carotenoides en las hojas aumentaron y la concentración de flavonoides cuando las plantas de chile campana o morrón (*C. annuum*), fueron expuestas a UV-B. Este estudio demostró una fuerte relación entre la degradación de la clorofila y la consecuente producción de componentes de defensa cuando los ejemplares fueron expuestos a estas condiciones de estrés. Por otro lado, Tesema-Terfa *et al.* (2014), estudiaron los efectos de la radiación UV, en el crecimiento y postcosecha en cultivos de rosas a diferentes altitudes y empleando la luz natural; comprobaron que la radiación UV afectó la morfología y el desarrollo de las plantas empleadas en su investigación, en donde el número de días para la apertura de las rosas se vio significativamente afectado por la mayor altitud y la radiación ultravioleta, ya que el proceso concluyó de dos a tres semanas, en comparación con los ejemplares, empleados a baja altitud en donde los ejemplares florecieron de 7 a 10 días, además de causar ennegrecimiento y manchas marrones en los pétalos de las flores. Por otro lado, la morfología del tallo, el brote, la longitud y el número de hojas se vieron afectados por ambos factores en todos los cultivos.

Así mismo, Vera *et al.* (2014), emplearon dos cultivares de acelga (*B. Vulgaris L. var. Cicla*), para estudiar los efectos de la radiación UV-B sobre los pigmentos y compuestos funcionales en estos cultivos. Aplicando tres dosis de radiación UV-B sobre los cultivos, más un cultivo control sin irradiación. Este proceso en el estadio de la tercera hoja, en ciclos de tres horas diarias por 8 días en dosis de 0, 11, 19 y 29 kg/m<sup>2</sup>. En el primer cultivo, los resultados observados sobre la concentración de clorofila *a* y *b* y carotenoides, no presentaron diferencias significativas. En el segundo cultivo, se observó aumento significativo de la clorofila *b* con las mayores dosis de radiación, lo que puede responder al aumento de

en la producción de metabolitos secundarios que permiten disminuir la penetración de la radiación UV-B, y proteger a las proteínas asociadas al aparato fotosintético. En ambos cultivares, presentaron concentraciones de polifenoles superiores al tratamiento control, lo que demuestra una respuesta rápida de protección que emplea la planta para protegerse de condiciones ambientales adversas, como la presencia de mayores niveles de radiación UV-B. La fotosíntesis, es de los procesos que sufren alteraciones por causa de esta problemática y en ese contexto Sandoval & Eddin (2015), evaluaron el efecto de la radiación UV sobre la fotosíntesis de *Z. chilensis*, para determinar el daño al fotosistema II (PS II), se utilizó el rendimiento cuántico máximo (Fv/Fm) como parámetro de fluorescencia de la clorofila a, utilizando un fluorómetro portátil. En esta investigación los resultados obtenidos evidenciaron, que esta especie es poco sensible a la radiación UV en las condiciones en las que se realizó este estudio. No se detectó efecto de la radiación UV sobre la eficiencia fotosintética.

Dos Santos *et al.* (2015), estudiaron el desarrollo del tejido similar a peridermo en *K. pinnata* (Lam.) Pers. (Crassulaceae) como respuesta de defensa a los altos niveles de radiación UV-B, las plantas fueron tratadas con el mismo fotoperiodo, fotosintéticamente activo de radiación, temperatura y sistema de riego diario para evitar deshidratación después de ser sometidas a las dosis de radiación UV-B; observaron la formación de áreas marrones en las hojas, estas áreas con el paso de los días se convirtieron en tejido protector en el lado adaxial de las hojas, pero solo en las regiones directamente expuestas a la radiación. En el mismo estudio, se pudo constatar que este nuevo tejido protector es similar a una periderma con paredes celulares de la capa externa impregnadas con suberina y lignina. En la lámina de la hoja, similar al pecíolo, hubo pérdida y colapso de la epidermis en el lado adaxial a las divisiones de las células periclinales, las divisiones en las capas de células sub-epidérmicas adaxiales ocurrieron a partir del quinto día del experimento, la pérdida de cloroplastos en el lado adaxial y pérdida de la epidermis papilar. A partir del sexto día del experimento, las divisiones anticlinales y periclinal ocuparon las regiones más continuas y, a partir del décimo día, comenzó a formarse la periderma-herida. Este ha sido el primer trabajo de investigación, que informa sobre la formación de peridermis herida en las hojas en respuesta a la radiación UV-B. Lo que indica, que este tejido protector podría ser importante para la supervivencia de las plantas en regiones desérticas bajo alto niveles de estrés causado por la radiación UV-B.

En el caso la radiación UV-A Zheng *et al.* (2016), estudiaron los mecanismos de respuesta y defensa de las hojas de *T. chinensis*, bajo este tipo de radiación, utilizando análisis comparativos de proteómica y metabolómica y observaron a través de microscopía electrónica de transmisión, daños en los cloroplastos expuestos a radiación UV-A. Los análisis proteómicos, realizados en hojas y cloroplastos mostraron que los sistemas relacionados con la fotosíntesis, la glucólisis, el metabolismo secundario, la síntesis de

proteínas, la degradación y la activación, se modificaron principalmente con radiación UV-A. Estos resultados, revelaron que alta dosis a corto plazo de radiación UV-A, podrían estimular el sistema de defensa contra el estrés de esta especie de planta medicinal.

También Giordano *et al.* (2004), estudiaron en condiciones de invernadero, la correlación entre los efectos inhibitorios de la radiación UV-B, sobre el crecimiento de *Gunnera magellanica* con mayor daño en el ADN, pero sin daño oxidativo en los lípidos. El daño al ADN y la interrupción de la integridad de la membrana celular, por la peroxidación de los lípidos, son dos procesos propuestos por la inhibición el crecimiento, causadas por la UV-B, en plantas. En este estudio, se observó que la expansión de las hojas disminuyó y la densidad de las lesiones o dímeros aumentó, conforme aumentaron las dosis de UV-B, el grado de peroxidación de lípidos no se vio afectado. La dosis más alta de UV-B, indujo estrés oxidativo transitorio. Los ejemplos mencionados anteriormente, son solo algunos de la gran cantidad de estudios que se han realizado en el mundo, principalmente en laboratorios e invernaderos en condiciones controladas y la variedad de los diferentes mecanismos de respuestas que las plantas han desarrollado a través de años de evolución, cuando se exponen a la radiación UV. La comprensión de las complejas interacciones entre UV y biota, es un binomio que siempre estará limitado por la incapacidad de reproducir las condiciones naturales de los organismos en sus hábitats, incluso cuando las plantas están expuestas a los efectos conjugados de UV-B más CO<sub>2</sub>, por ejemplo, lo que se ve es una respuesta parcial a pesar de la importancia de los datos y la relevancia de las conclusiones (Reboredo & Lidon, 2012). Otros estudios, deben de realizarse en poblaciones de montañas y desiertos ya que estas especies tienen mecanismos adaptativos naturales para tolerar niveles más altos de radiación UV, sobre todo en los climas desérticos en donde las temperaturas son extremas durante el día y durante la noche y por el agua que en esos ecosistemas existe. Los datos de plantas del mismo género o familia, que viven en diferentes altitudes o plantas de la misma especie a lo largo de un gradiente de altitud, serán extremadamente útiles en comparación con los datos de laboratorio, para conocer de forma más a profunda los efectos de las radiaciones UV en estos organismos (Reboredo & Lidon, 2012).

## 2.8. Estudios con Radiación UV en Plantas de Tomate

En el caso particular del tomate Díaz & Domínguez (2017), sometieron a irradiación UV-B y UV-C semillas de tomate, para conocer los efectos provocados sobre este material biológico. Las semillas irradiadas con luz UV-B, mostraron diferencias en la tasa de germinación, crecimiento normal y peso de los organismos en comparación con las muestras testigos. En los ejemplares irradiados con luz UV-C, los efectos fueron mayores en comparación con las primeras como consecuencia del daño oxidativo causado por la exposición a las dosis, incluyendo las más bajas. Por otro lado Hao *et al.* (2000) expusieron plántulas de *L. esculentum* cv. New Yorker a dosis de radiación UV-B, con el objetivo de estudiar los cambios que causan los niveles de esta radiación sobre ejemplares de esta variedad; los resultados obtenidos arrojaron inhibición en el crecimiento de los ejemplares irradiados, aumentos en los compuestos absorbentes de UV, en la concentración de la clorofila, disminución en el área foliar y en la relación raíz/brote en comparación con la temperatura ambiente y los ejemplares control. Los trabajos mencionados anteriormente, son solo algunos ejemplos que sirven como antecedentes para la presente investigación, ya que estudios de los efectos de la radiación UV, sobre la variedad silvestre de *S. lycopersicum* L., no se han realizado en Tabasco, México.

## CAPÍTULO III

### 3.-JUSTIFICACIÓN

En años recientes, los reportes meteorológicos del clima a nivel mundial y regional, indican cambios preocupantes en la temperatura, los niveles de radiación solar y la precipitación en sus diferentes estados de la materia. La radiación solar no solo contribuye con el incremento o decremento de la temperatura, sino que además con efectos poco estimados de los espectros que está emite, como son radiación ultravioleta (UV), gamma y beta  $\beta$ , sobre los organismos que integran la biosfera; principalmente de aquellos como las plantas, que no tienen capacidad de desplazamiento como mecanismo de evasión y protección. La radiación UV del sol, siempre ha desempeñado un papel importante en nuestro ambiente, y afecta a casi todos los organismos vivos, de acuerdo a un informe de la Administración Nacional para la Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos, (NASA, 2008).

En México y particularmente en Tabasco, existe inminente carencia de modelos biológicos nativos que permitan su empleo como organismos para evaluar y monitorear el ambiente (biosfera) afectado por diversos agentes químicos y físicos. En nuestro país, los estudios realizados sobre los efectos de la radiación (UV), son escasos; aunque el país es agrícola en gran parte de su territorio, los estudios en su mayoría se han centrado hacia el mejoramiento genético en acuerdo con Flores *et al.* (2017).

Por otro lado, los parientes silvestres de los cultivos domesticados como el tomate, son la principal fuente de germoplasma para el mejoramiento de cultivos. Tales variedades a lo largo de su historia, han desarrollado propiedades que les han permitido adaptarse y sobrevivir en condiciones extremas de climas y desarrollar resistencia frente a enfermedades y plagas (Bonilla *et al.* 2014). Es así como, las variedades silvestres producen mayor número de flores, característica que indica el potencial que poseen para producir frutos (Vázquez-Ortiz *et al.* 2010). En México, no existen investigaciones realizadas en estas variedades y en condiciones de invernadero (Flores *et al.* 2017). Una problemática más compleja, es que la mayoría de semillas de tomate que se cultiva comercialmente en el país, son provenientes de empresas y universidades del extranjero, las cuales venden semillas híbridas a muy altos costos, elevando los costos de producción (Hernández-Leal *et al.* 2013; Scott ,2008). Por lo que es de vital importancia estudiar y documentar, el valor de los acervos genéticos locales e implementar estrategias para su conservación y aprovechamiento (Vázquez-Ortiz *et al.* 2010).

Es por ello que basado en todos los aspectos anteriormente mencionados y otros factores como la pérdida de la biodiversidad en el país, el desconocimiento de muchas de las especies con potencial alimenticio por

parte de los consumidores, la demanda cada vez mayor de alimentos en el mundo, los efectos del cambio climático en el planeta, frente a la necesidad de conocer más sobre los daños que las plantas están padeciendo en la región, como consecuencia del incremento de la radiación UV y de manera particular en las especies endémicas con potencial alimenticio. En dicho sentido, en la presente investigación se utilizó como modelo biológico de origen vegetal, germinados tempranos de la planta conocida localmente como tomatillo tropical *S. lycopersicum* L., en el que fue necesario estudiar la fenología, la fisiología de los frutos, el ciclo celular en mitosis y los efectos de la radiación UV, la función de la fotosíntesis, la estructura celular y sobrevivencia de las plantas.

México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

## CAPÍTULO IV

### 4. OBJETIVOS

#### 4.1. Objetivo General

Caracterización fenológica, fisiológica, citológica y efectos de la radiación UV (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.9 y 2.1  $J/cm^2$ ) sobre la sobrevivencia, estructura intracelular y extracelular de germinados tempranos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

#### 4.2. Objetivos específicos

4.2.1. Caracterización fenológica y en cultivo de los frutos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

4.2.2. Caracterización citológica del ciclo celular en mitosis de germinados tempranos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

4.2.3. Descripción de los efectos sobre las semillas, frecuencia de germinación y radículas de semillas germinadas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., tratadas con 11 dosis ( $J/cm^2$ ) de radiación UV.

4.2.4. Evaluar la sobrevivencia de los germinados tempranos del tomatillo tropical *S. lycopersicum* L., tratados con 11 dosis ( $J/cm^2$ ) de radiación UV.

4.2.5. Valoración del crecimiento temprano de los germinados tempranos del tomatillo silvestre tropical *S. lycopersicum* L., tratados con 11 dosis ( $J/cm^2$ ) de radiación UV.

4.2.6. Descripción de los efectos sobre la estructura intracelular y extracelular del tejido radicular y foliar de los germinados del tomatillo tropical *S. lycopersicum* L., tratados con 11 dosis ( $J/cm^2$ ) de radiación UV, mediante técnicas de citología y microscopía óptica.

4.2.7. Caracterizar los efectos de 11 dosis ( $J/cm^2$ ) de radiación UV, sobre la concentración de clorofila *a*, clorofila *b* y los carotenoides de germinados tempranos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

## CAPÍTULO V

### 5. MATERIALES Y MÉTODOS

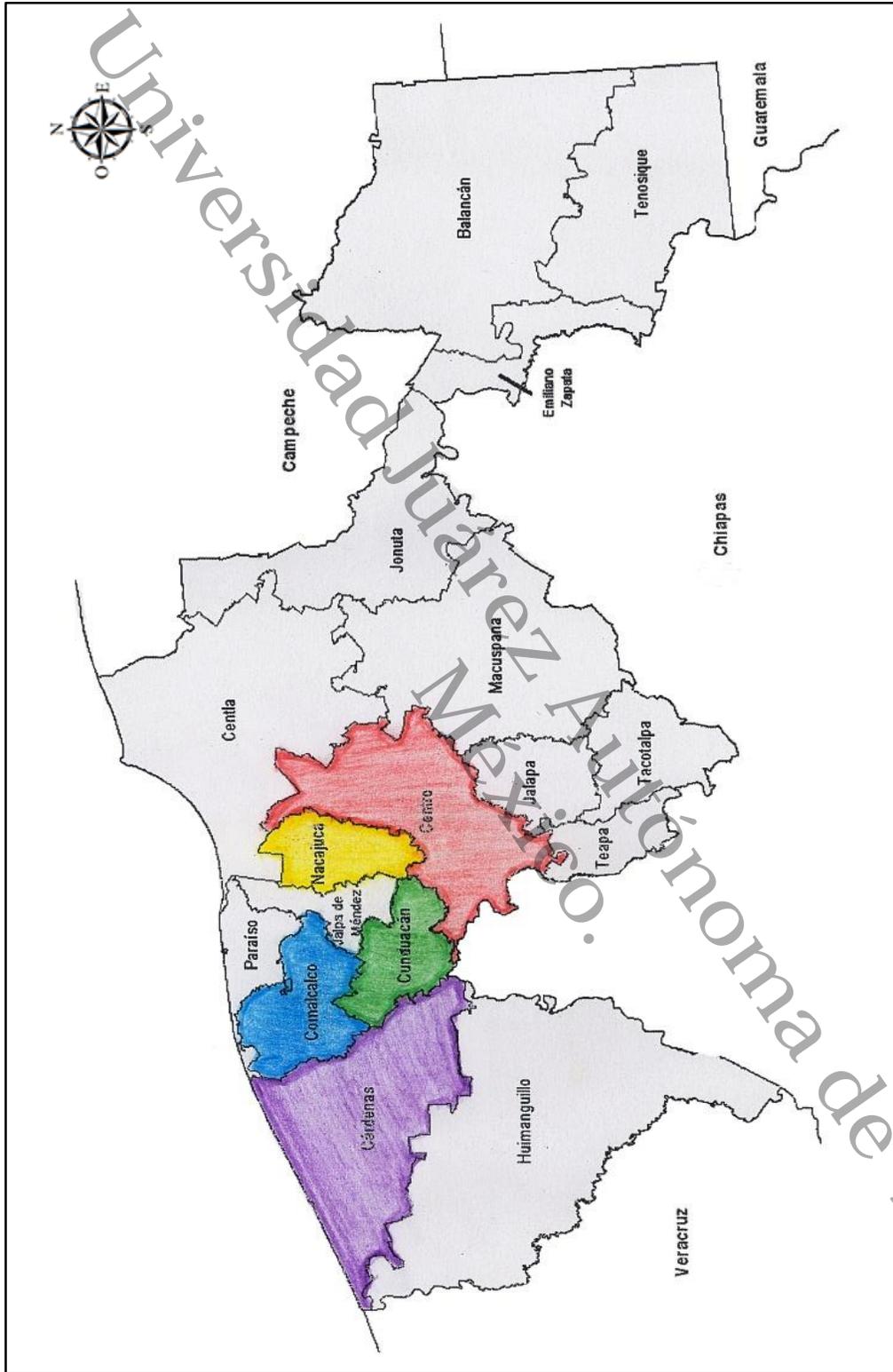
Este proyecto de investigación fue sometido a la Comisión Institucional de Ética en Investigación (CIEI), a través de la subcomisión de Biología, Química, Biotecnología y Ciencias Agropecuarias; en donde fue Aprobado con el Folio Número: 0988.

#### 5.0. Análisis Fenológico del tomatillo silvestre *Solanum Lycopersicum L*

##### 5.1. Recolecta de Frutos en Poblaciones Silvestres

Los frutos maduros del tomatillo tropical *S. lycopersicum L.*, fueron recolectados cuidadosamente de plantas adultas y con buenas condiciones fisiológicas durante los meses de maduración de marzo a julio del año 2017, en varias localidades del estado de Tabasco descritas en la **Tabla 2** y representadas en la **Figura 6**. Posteriormente fueron empacados, luego transportados apropiadamente en bolsas de plástico y colocados en contenedores, hacia las instalaciones del Laboratorio en Genética y Ecofisiología, ubicado en las instalaciones de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (**Figura 7**).

Municipio	Localidad	Coordenadas geográficas	Número de frutos
Cunduacán	Cucuyulapa 1era. Sección	N: 17° 59' 21" O: 93° 15' 54"	100
Comalcalco	Cupilco	N: 18°14'18.00" O: 93°07'39.00"	100
Cárdenas	Macayo	N: 17°59'18.86" O: 93°22' 27.67"	100
Centro	Ixtacomitán 1era. Sección	N: 17°57'27.01" O: 92°57'48.67"	100
Centro	Corregidora 1era. sección	N: 17°57'16.90" O: 93°07'07"	538
Nacajuca	Taxco	N: 18°07'21.19" O: 92°58'18.21"	100



**Figura. 6.** Mapa del estado de Tabasco, México donde se representan los municipios donde se recolección de frutos maduros del tomatillo silvestre *S. lycopersitum* L., en plantaciones silvestres. De acuerdo a los colores Nacajuca (amarillo), Centro (rojo), Cunduacán (verde), Cárdenas (morado) y Comalcalco (azul). Mapa original por el Autor W. H. S.



**Figura. 7.** Frutos maduros del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., recolectados en Tabasco; en las localidades de Ixtacomitán, 1era. Sección, Centro (A), Cucuyulapa, Cunduacán (B), Cupilco, Comalcalco (C), Macayo, Cárdenas (D), Taxco, Nacajuca (E) y Corregidora, 1era. Sección, Centro (F). Fotos originales por la autor W. H. S., tomada con Cámara Sony Alfa 3500.

## 5.2. Biometrías de los Frutos y Conservación de Semillas

Los frutos individuales y que fueron recolectados de acuerdo con lo señalado en la **Tabla 2**, fueron pesados en gramos (AWSM-100 American weigh scales inc.) y medidos en milímetros con un vernier electrónico de cinco dígitos (Truper®, Modelo CALDI-6MP). Los frutos maduros, fueron lavados en la solución elaborada a base de agua purificada y el bactericida Microdyn®, diluyendo ocho gotas del bactericida en un litro de agua purificada y dejándolos en esta solución durante 10 minutos. Subsiguientemente, los frutos individuales fueron cortados por la mitad con un bisturí, evitando contaminación de las semillas, que se esparcieron sobre servilletas estériles (para absorber el exceso de jugos) y realizar el conteo del número de semillas contenidas en cada fruto estudiado. Posteriormente, se colocaron bajo la sombra por un día para favorecer el secado de las semillas, por último fueron colocadas las semillas correspondientes a cada fruto y por localidad en frascos herméticos de plástico, siendo almacenadas a  $20.0 \pm 1.0$  °C, hasta su empleo para el desarrollo del presente estudio.

## 5.3. Estudio Fenológico del Tomatillo Silvestre *S. lycopersicum* L

### 5.3.1. Capacidad de Germinación de las Semillas

Para evaluar la calidad de las semillas silvestres, se elaboró un sustrato mezclando tierra y materia arbórea en proporción de 60/40 respectivamente, depositando 10 kg de este sustrato en un contenedor térmico, con dimensiones de 84 cm de largo, 47 cm de ancho y 08 cm de altura, en el que se abrieron 10 canales de 2 cm de profundidad y distancia de 8 cm L, sembrando 100 semillas en cada canal y con el total de 1000 semillas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., se regaron con 500 ml de agua, cada tercer día. El contenedor se mantuvo en condiciones de invernadero, con iluminación natural controlada con malla sombra, con solo transmisión de luz y temperatura de  $37.4 \pm 1.3$  °C. El experimento se realizó dos veces, en condiciones similares.

### 5.3.2. Capacidad de Germinación Empleando Diferentes Sustratos en Condición de Laboratorio

Para evaluar la capacidad de germinación del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., empleando como sustratos: agarosa, arena, tierra y algodón, se emplearon 20 contenedores de plástico transparente de 7 cm de altura por 8 cm de diámetro, cinco para cada sustrato; en los primeros cinco se colocaron 50 ml de la solución con agua destilada y 1 g de agarosa (Fisher Scientific, BP1356-100) +50 ml de agua (H<sub>2</sub>O) destilada, que se calentó por 90 segundos en un microondas hasta que se disolvió en el agua y se depositó en los citados contenedores que se dejaron enfriar hasta que la agarosa se gelificó. En otros cinco contenedores se depositaron 200 g de arena y 200 g de tierra turba previamente tamizada y con 200 ml de agua destilada y para los últimos cinco contenedores se colocó una triple capa de tela de algodón humedecida con 400 ml de agua destilada. Se seleccionaron 600 semillas de *S. lycopersicum* L., sembrando 30 semillas en cada contenedor. El citado experimento se realizó en dos ocasiones, Representados en la **Tabla 6**, bajo condiciones de laboratorio, con 12 hrs luz/12 hrs oscuridad y 25 ± 0.1°C de temperatura.

### 5.3.3. Trasplante de Plántulas y Cultivo

Las plantas se mantuvieron en invernadero rustico de 15 x 4.5 m, con altura de 2.5 m, cerrado con malla galvanizada reforzada de 20 x 30 cm y cubierto con malla pajarera de 1 x 1 cm. El techo cubierto con malla sombra de 50% de protección. El suelo del invernadero se preparó mezclando arena con sustrato orgánico o composta con el fin de generar una capa nutricia de 20 cm y se dejó madurar por 15 días para el posterior trasplante de las plántulas. Fueron seleccionadas 16 plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., 30 días posteriores a la germinación, tomando en cuenta los criterios de altura y coloración de hojas y tallos, en acuerdo con las recomendaciones de la SAGARPA, (2016); este proceso se inició en la primera semana del mes de diciembre de 2017 y 2018, sembrándose cada plántula a un metro de distancia y con profundidad de 30 cm; cubriendo con un kilogramo de sustrato orgánico cada plántula, con el objetivo de favorecer el enraizamiento; las plántulas se irrigaron con ½ litro de agua diariamente, hasta que estas murieron a lo largo del ciclo de cultivo. Se registró el ciclo de vida del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., durante las temporadas 2018 y 2019; se evaluó el periodo de germinación, crecimiento, desarrollo, floración, producción de frutos, maduración y muerte de las plantas, de acuerdo con las recomendaciones establecidas por la SAGARPA (2016) y el INIFAP (2013).

#### 5.4. Análisis Fisiológico y Biométrico

Los frutos maduros de cada planta, fueron cortados empleando tijeras (Pelikan®), para no rasgar las plantas y se depositaron en contenedores individuales, posteriormente fueron sometidos a desinfección, en una solución similar a la mencionada en el **Apartado 5.2**, para los frutos de cada una de las 16 plantas. Posteriormente, se realizó el registro de las biometrías de número de frutos y el número de semillas, para cada fruto y planta y empleando las herramientas descritas en el apartado antes mencionado, las semillas obtenidas, se conservaron conforme al procedimiento descritos en el **Apartado 5.2**.

#### 5.5. Análisis Citológico del Ciclo Celular en el Tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L

Para el estudio citológico, se germinaron las semillas “*In vitro*”, empleando una placa sólida de agarosa (Fisher Scientific, BP1356-100), mezclando un gramo del reactivo en 100 ml de agua destilada, calentando la solución durante tres minutos en un horno de microondas (DAEWOO-DE); posteriormente se depositó 50 ml de la mezcla en contenedores de plástico transparente y se dejó solidificar, luego se depositaron 30 semillas secas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., en cada contenedor; colocándose en posición circular, con una pinza fina. La germinación, inició el segundo día, prolongándose hasta el quinto día. Las semillas germinadas, fueron cosechadas y extraídas del sustrato, siendo depositadas en tubos de 1.5 ml con el fijador 3:1, elaborado con 25 ml de ácido acético y 75 ml de metanol. Las semillas se conservaron en refrigeración a (4°C), hasta elaborar las muestras con tejido radicular. Para la preparación de las muestras citológicas, se lavaron los germinados con agua destilada, luego se hidrolizaron durante 5 minutos depositando en viales de 1.5 ml, con buffer de lisis (2 ml de 1 Mm de Tris-HCl [pH 7.5]+ 4.0 ml de 0.5 M EDTA+ 10 ml de 10% SDS+ 48 g urea [4M]+aforar a 200 ml con H<sub>2</sub>O bidestilada y estéril) hasta alcanzar 50°C (Arias-Rodriguez, 2007). El procedimiento anterior se dio el fin de incrementar la separación de las células somáticas individuales. Posteriormente, las radículas fueron lavadas con agua destilada y secadas sobre papel absorbente, para dar pasó a la disgregación del tejido, para lo cual la radícula fue colocada sobre un portaobjetos limpio y con el apoyo de agujas de disección y de un estereoscopio; la radícula se cortó por la mitad y a lo largo de su eje principal, con lo cual se favoreció la extensión del tejido vegetal a manera de una toalla abierta, con especial cuidado para no maltratar las células. Luego, fueron teñidas con aceto orceína acética FLP al 20% (ácido fórmico, ácido láctico, ácido propionico, 1:1:1) (Okoli, 1992), colocando de 25 a 30 µl del colorante sobre el tejido (dependiendo de la cantidad de tejido hasta cubrir completamente), dejando reposar por 15 min, a

temperatura ambiente (25°C). El material anterior, se destiñó con 25 µl de ácido acético (4°C) al 40% y se aplastó con un cubreobjetos, favoreciendo la separación de las células aplicando golpes suaves. Las preparaciones citológicas, fueron analizadas bajo el microscopio óptico Axio Scope.A1 (Carl Zeiss®) adaptado con una cámara AxioCam ERc5s (Carl Zeiss®) y con el empleo del programa SEN/2018 (Carl Zeiss® Microscopy GmbH, 2018). Los mejores campos mitóticos observados, fueron fotodigitalizados con el objetivo 40X+1.25X del Optovar. Todas las muestras citológicas, fueron conservadas temporalmente a -20°C, Para su posterior empleo. Los conteos de los estadios del ciclo celular y las medidas de los tamaños del núcleo y otras estructuras celulares, se realizaron con las herramientas del programa SEN/2018 (Carl Zeiss® Microscopy GmbH, 2018).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

### 5.5.1. Determinación del Tamaño del Genoma y Contenido de ADN

Para determinar el tamaño del genoma y el contenido de ADN del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., Se seleccionaron 966 campos celulares en los que con ayuda del programa SEN/2018 (Carl Zeiss® Microscopy GmbH, 2018), se midieron cada uno de los núcleos en su área, largo y ancho y se obtuvieron los promedios y las desviaciones estándar de cada variable. Con los valores obtenidos se elaboró una base de datos en Microsoft Excel (2016), en la que se calculó el valor promedio y la desviación estándar. Posteriormente se calculó el contenido total de nucleótidos (ADN total), siguiendo la fórmula ajustada de acuerdo a Hinegardner (1967); para determinar el *contenido 2C) de ADN nuclear* (picogramos=pg) del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., = (contenido control en diploide de ADN en picogramos de las células sanguíneas de *O. mykiss*) X (promedio en  $\mu\text{g}$  de los núcleos interfásicos de *S. lycopersicum* L., el valor de  $-2C$  de 5.5 picogramos de la trucha arcoíris *O. mykiss* se consideró, como el estándar para el presente estudio de acuerdo a las recomendaciones de Hardley y Horne, (1985). El tamaño del genoma o valor de (C) en picogramos (o masa de ADN en picogramos=pg.), que representa una copia de la información genética nuclear (equivalente a 1C), se determinó considerando que 1 pg de ADN es igual a  $0.978 \times 10^9$  pares de bases (pb) (Doležel *et al.* 2003) y a como sigue: Tamaño del genoma de *S. lycopersicum* L., en pares de bases (bp) –  $(0.978 \times 10^9) \cdot (\text{contenido de ADN en pg de } S. Lycopersicum \text{ L.})$ . Por otro lado, para el cálculo de núcleos 1n, 2n y 4n se realizaron los ajustes pertenecientes en la fórmula. Con la aplicación de las citadas fórmulas, se realizaron los siguientes cálculos:

#### Contenido de ADN:

$$1C = (5.5 \text{ PG}) (12.7 \mu\text{m}) = 69.85$$

$$(2N) \text{ pg} = 69.85 / 21.56 \mu\text{m} = 3.24 \text{ pg}$$

#### Tamaño del genoma:

$$\text{bp} = (0.978 \times 10^9) (3.24 \text{ pg}) = 3.16 \text{ bp}$$

$$\text{bp} = 3.16 \times 10^9$$

## 5.6. Experimentos con Luz Ultravioleta UV Sobre el Tomatillo Silvestre *S. lycopersicum* L.

### 5.6.1. Dispositivo para Radiación UV

Para irradiar semillas y los germinados tempranos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., se utilizó una cámara de radiación UV que se integra de una lámpara UV germicida de 15 watts (W) (General Electric, G15T8) ensamblado por Páramo-Delgado, (2011) y un agitador orbital (Orbit M60, Labnet), a como se aprecia en la **Figura 8-fotografías A, B y C**. Para calcular las dosis de radiación UV, se utilizó el modelo matemático sugerido por Christensen & Tiersch (1994) y a como sigue:

$$E=(n) (w) (t)/ (d^2) (\pi^2)$$

**En donde:**

E=Exposición total en Julios/cm<sup>2</sup>

n= Número total de lámparas (1)

W= Rendimiento de la lámpara a 254 nm (3.3 watts)

t= Duración de la exposición en segundos (X)

d<sup>2</sup>= Distancia de la muestra en relación con la lámpara (10 cm)

$\pi^2$ = 3.1416

**Por ejemplo,**

$$E= (1) (3.3)(60 \text{ seg})/ (6.5 \text{ cm})^2 (3.14)^2$$

$$E=198 \text{ W} \cdot \text{seg}/ (42.25 \text{ cm}^2) (9.859)$$

$$E= 198 \text{ w} \cdot \text{seg} /416.542 \text{ cm}^2$$

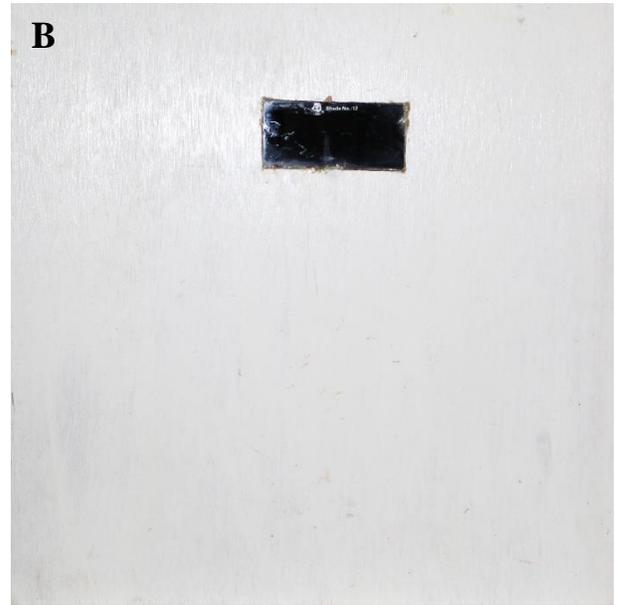
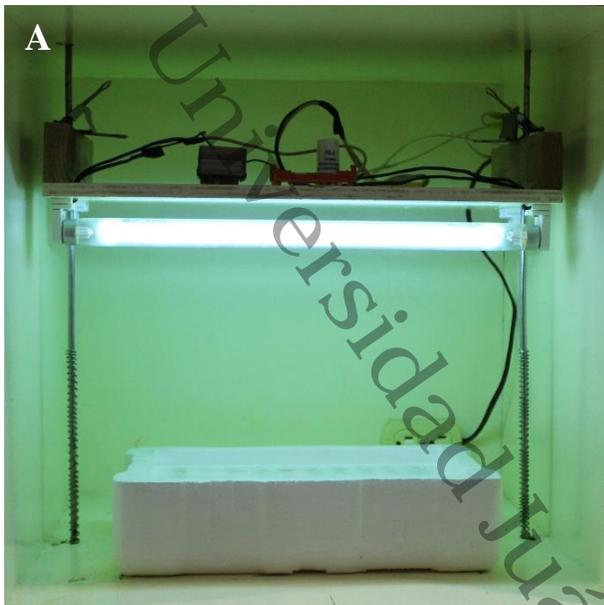
$$E= 2.1 \text{ J/cm}^2$$

Los tratamientos y las dosis de radiación calculadas, se muestran en la **Tabla 3**; dichos tratamientos/dosis se aplicaron sobre los germinados tempranos y por selección aleatoria de los contenedores.

**Tabla 3.** Tratamientos control, con luz UV, Julios/cm<sup>2</sup> y tiempos de exposición en segundos de los germinados.

<i>Tratamientos o J/cm<sup>2</sup></i>	Control	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
<b>Tiempo en segundos</b>	0.0	12.58	37.74	62.90	88.06	113.22	138.38	163.54	188.70	213.86	239.02	264.18

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.



**Figura. 8.** Representación fotográfica de la cámara de radiación UV y los accesorios descritos en el **Apartado 5.6.1** (A), la siguiente imagen representa el mismo dispositivo cerrado, ejemplificando la manera en que se empleó durante la presente investigación; de acuerdo a las dosis y tiempos representados en la **Tabla 3** (B) y en la última imagen se observan plántulas sembradas en una charola justo antes de aplicar la radiación (C).

### 5.6.2. Efectos de la Radiación UV, Sobre las Semillas

Para este análisis se prepararon 12 lotes; cada uno con 30 semillas secas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., las semillas secas fueron colocadas sobre cuadros de corcho (Alfra®) de 10 cm x 10 cm en líneas recta y con 2 cm de distancia entre ellas. Se preparó un lote por cada tratamiento, más un tratamiento control; de acuerdo a las dosis descritas en la **Tabla 3**. A continuación los lotes de semillas secas fueron forrados papel Contac (Barrilito®). Posteriormente cada tratamiento fue irradiado de acuerdo a las dosis e intervalos de tiempo descritos en la **Tabla 3**. Luego los lotes con las semillas irradiadas, fueron enviadas al Laboratorio de Germoplasma de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), ubicado en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, en dicho laboratorio las semillas fueron analizadas y fotografiadas con un equipo de Rayos X (Faxitron Specimen Radiography System X-RAY, MX-20, EUA) nivel de rayos X 1:3. Por último se analizaron las imágenes con ayuda de los software Zen (2011).

### 5.6.3. Efectos de la Radiación UV, Sobre la Frecuencia de Germinación

Para este experimento, se prepararon tres porciones de semillas para cada uno de los 11 tratamientos más tres lotes control, cada una de las porciones con 30 semillas. Posteriormente los lotes fueron colocados en la cámara UV, a la distancia de 6.5 cm entre la lámpara UV y las semillas y seleccionando las dosis, aleatoriamente. La cámara fue sellada herméticamente, se programó el tiempo de exposición requerido y se activó el interruptor de encendido del dispositivo UV, de acuerdo a la dosis y tiempo establecido para cada tratamiento. Subsiguientemente las semillas fueron sembradas, de acuerdo al procedimiento descrito en el **Apartado 5.5**. Este análisis se realizó dos veces y cada uno durante una semana.

#### **5.6.4. Efectos de la Radiación UV, Sobre las Radículas de Semillas Germinadas**

Para conocer los efectos de la Radiación UV, sobre las radículas de semillas irradiadas; se realizaron tres análisis, para cada uno se prepararon 12 lotes de 30 semillas cada uno, colocándolos en cajas petri. Posteriormente fueron colocados en la cámara UV, a la distancia de 6.5 cm entre la lámpara UV y las semillas y seleccionando las dosis descritas en la **Tabla 3**, aleatoriamente. La cámara fue sellada herméticamente, se programó el tiempo de exposición requerido y se activó el interruptor de encendido del dispositivo UV, de acuerdo a la dosis y tiempo establecido para cada tratamiento, después las semillas fueron sembradas, de acuerdo al procedimiento descrito en el **Apartado 5.5**, más 50 ml de agua destilada, hasta que germinaron. Iniciado el proceso de germinación, las semillas fueron conservadas y trabajadas de acuerdo al análisis citológico descrito en el **Apartado 5.5**.

#### **5.6.5. Efectos de la Radiación UV, Sobre la Supervivencia y Crecimiento de Germinados Tempranos**

Las semillas, fueron preparadas para su germinación, en almácigos donde se mantuvieron durante siete días, posteriores a la germinación y ser trasplantadas en charolas diseñados para estos estudios, cada uno con 30 divisiones, plantándose un ejemplar en cada orificio e irrigándose con 50 ml de agua, dejándose durante tres días para su adaptación. Posteriormente, fueron empleadas para los experimentos de irradiación. Para irradiar las plántulas, los contenedores con los germinados, fueron colocados en la cámara UV, a la distancia de 6.5 cm entre la lámpara UV y los plántulas y seleccionando las dosis, aleatoriamente. La cámara fue sellada herméticamente, se programó el tiempo de exposición requerido y se activó el interruptor de encendido del dispositivo UV. Transcurrido el tiempo programado, los contenedores fueron colocados en una cámara oscura, durante tres días, con el propósito de prevenir la probable fotorreactivación por las enzimas fotoliasas e irrigándolas diariamente con 5ml de agua destilada y conocer la supervivencia, correspondiente a cada tratamiento y réplica, después de 72 horas posteriores a la irradiación, considerando como muerta toda aquella plántula que mostró deshidratación total o pérdida de vitalidad es decir que la plántula estuviera doblada o postrada, en acuerdo con las recomendaciones de Hernández-Sánchez *et al.* (2016). Para evaluar el efecto sobre el crecimiento, antes de ser irradiados cada uno de las plántulas, fue medida en (cm), desde la base del sustrato hasta el ápice de las hojas con ayuda de un vernier digital, cada 24 horas posteriores a la irradiación y durante siete días después de cada tratamiento. El efecto sobre el fenotípico de las hojas y tallos, se evaluó cada 24 horas, posteriores a la irradiación, durante siete días. Se consideró las quemaduras o necrosis en el envés de las hojas, cambios

de color de verde-amarillento (Clorosis) en hojas y tallos; apariencia, forma y tamaño de los cotiledones. Para este experimento se realizaron cinco repeticiones.

#### **5.6.6. Análisis Microscópico a Nivel Extracelular e Intracelular**

Los efectos sobre el tejido foliar (cotiledones y primordios foliares) y del tallo fueron seleccionadas cinco plántulas de cada replica de cada tratamiento. Una porción del tallo fue teñido con safranina, de acuerdo a lo recomendado por De la Cruz-Damián (2016); colocando 50µl del colorante sobre el tejido (en algunos casos las gotas necesarias y hasta que quedó completamente cubierto), dejándose reposar por 15 min, a temperatura ambiente. Posteriormente las muestras, fueron observadas en el microscopio óptico AxioScope, A1 (Carl Zeiss®) adaptado con una cámara AxioCam ERc5s (Carl Zeiss®) y con el empleo del programa SEN/2018 (Carl Zeiss®), para analizar el daño sobre la fisiología celular.

#### **5.6.7. Viabilidad Celular por Tinción con Azul de Tripano**

En este experimento, se irradiaron dos plántulas por cada tratamiento, de acuerdo a los tiempos establecidos, posterior a la irradiación; a cada plántula se le cortaron las hojas y estas fueron depositadas durante 30 minutos en tubos de 1.5 ml, con una solución de Azul de Tripano (SIGMA®), (10 ml de ácido láctico al 85% , 10 ml de fenol, equilibrado con buffer TE, ( Buffer Tris 10 mM-EDTA 1mM), PH 7.5-8.0, 10 ml de glicerol al 99%, 10 ml de agua destilada y 40 mg de azul de tripano en concentración final de 10 mg/ml), de acuerdo a Fernández-Bautista *et al.*( 2016). Posteriormente, la solución del azul de tripan fue removida con etanol al 98%, luego los tubos de 1.5 ml empleados fueron cubiertos con papel aluminio, para evitar el secado de las hojas, que posteriormente fueron sumergidas en una nueva solución de etanol durante toda la noche. Al día siguiente, el etanol fue sustituida por una nueva solución de etanol, durante varias veces hasta que el tejido foliar se tornó incoloro, por último, las hojas fueron sumergidas en una solución de glicerol  $\geq 99\%$  (SIGMA®), al 60%. Finalmente, las hojas fueron colocadas en portaobjetos y cubierto con cubreobjetos para su análisis microscópico, con el equipo descrito en el **Apartado 6.7** y un estereoscopio de la marca (Olympus SZ2-ILST), con una cámara microscópica y el software S-EYE Setup Microscope Camera, 2018 (Shenzhen, China).

### 5.6.8. Valoración de los Efectos de la Radiación UV, Sobre la Concentración y Cuantificación de Clorofila (a), Clorofila (b) y Carotenoides

Para la extracción y cuantificación de contenido del clorofila *a*, clorofila *b* y carotenoides de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., se utilizó la metodología empleada por Lichtenthaler & Wellburn (1955), León-Chan *et al.* (2017) y Pérez-Patricio *et al.* (2018). Para cada tratamiento, se irradiaron 10 plántulas de acuerdo a las dosis y tiempos establecidos, después de este paso a cada plántula se le cortaron las hojas y pesadas en gramos, en una balanza (ASW-100 American Weigh Scale Inc.). Luego el material foliar fue disgregado en un macerador y se le adicionó 5ml de acetona modo reactivo al 99% de pureza (J. T. Baker) y conservada a una temperatura de -20°C, posteriormente fue homogenizada por 40 segundos con microtubos (Squisher™-Single, Mca. Zymo Research) e incubados en oscuridad durante 30 minutos a -20°C; transcurrido este paso, la solución fue depurada con papel filtro (Whatman™, No. 41, HP7 9 NA, UK) y de este volumen final se obtuvieron las muestras para realizar las lecturas de contenidos de clorofila (a), (b) y carotenoides. Se tomaron cinco muestras de 100 µl de cada ejemplar irradiado de *S. lycopersicum* L., y se depositaron en cubetas de cuarzo y empleando como muestra testigo 100µl de la misma acetona empleado durante todo el proceso. Las lecturas se realizaron con un espectrofotómetro (BIO-RAD, SmartSpac™ Plus Spectrophotometer), tomándose cinco lecturas por cada muestra, haciendo un total de 50 lecturas por tratamiento. Las lecturas fueron tomadas en base a lo recomendado por León *et al.* (2017), que sugieren que los niveles de absorbancia deben oscilar entre 663, 645 y 470 nanómetros (nm) ya que estos valores son las bandas de onda en la absorbancia máxima en acetona para clorofila *a*, clorofila *b* y carotenoides. Para la cuantificación de los valores finales del contenido de clorofila y carotenoides de cada muestra, se emplearon las ecuaciones recomendadas por Wellburn (1994), Lichtenthaler & Buschmann (2001); León-Chan *et al.* (2017) y (Pérez-Patricio *et al.* 2018), en donde:

Clorofila (a):  $C_a$  (mg/g) = (12.7 \* A663) - (2.59 \* A645).

Clorofila (b):  $C_b$  (mg/g) = 22.9 \* A645) - (4.7 \* A663).

Contenido total de clorofila: (ctc): (mg/g) = (8.2 \* A663) + (20.2 \* A645).

Carotenoides:  $C(x+c)$  (µg/ML) = [1000A470-1.90Ca-63.14Cb/198.

Donde  $C_a$ ,  $C_b$  y  $C(x+c)$ , son las concentraciones de clorofila *a*, clorofila *b* y carotenoides. A645, A663 y A470, son las máximas lecturas de absorbancia, respectivamente.

## 5. 7. Análisis de Datos y Estadísticos

Los datos que se generaron de todas las variables estudiadas en esta investigación, se promediaron y se calculó la desviación estándar con las herramientas del programa Microsoft Excel 2018 ®. En alguno de los casos los valores se expresaron en porcentajes. Posteriormente, los datos que corresponden a cada variable, se arreglaron en base datos para ser explorados mediante pruebas de normalidad, homocedasticidad e independencia de los datos; aplicando estos parámetros primeramente en los frutos recolectados en las comunidades y municipios mencionados en el **Apartado 5.1**, representados en la **Tabla 2** y en las **Figuras 6** y **7**, subsiguientemente estos postulados fueron empleados para los valores de los frutos recolectados de las plantas en condición de invernadero y que se describen en el **Apartado 5.2** y representados en la **Tabla 7**.

Para los análisis de estos datos, se empleó estadística no paramétrica mediante la prueba de Kruskal-Willis y análisis de varianza (ANOVA) de una vía con el programa Sigmaplot12.3/ Systat software, Inc. y al haber diferencias significativas, se empleó la comparación múltiple de Tukey o Dunn's con  $P \leq 0.05$  de confianza. Con el programa Statgraphics Centurion 18 (Statistical Graphics Corp. 1982-2017 ©), se realizaron análisis de discriminantes para analizar y comparar la relación entre cada una de las variables estudiadas en la presente investigación y conocer cuáles fueron los parámetros que marcaron diferencias significativas, por último con el software Statistica™ Data miner1, se elaboraron dendogramas en donde se comparó las distancias Euclidianas y ligamiento único entre las variables juntas y por separado.

## CAPITULO VI

### 6.0.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 6.1. Caracterización Fenológica y en Cultivo de los Frutos del Tomatillo Silvestre *S. lycopersicum* L.

##### 6.1.1. RESULTADOS

En acuerdo a lo descrito en el Apartado 5.2, se documentaron el peso en gramos, ancho en mm y número de semillas por frutos; los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 4**, y en la que se observa que los frutos de mayor peso fueron los recolectados en la comunidad Corregidora, Centro, ya que presentaron el peso promedio de  $3.90 \pm 2.37$  g, seguido de Taxco, Nacajuca con valor de  $2.66 \pm 0.38$  g, mientras que los de menor peso fueron los frutos recolectados en el Macayo, Cárdenas con peso promedio de  $1.98 \pm 0.26$  g. Respecto a la circunferencia, los ejemplares de mayor tamaño fueron los de Taxco, Nacajuca con  $16.5 \pm 0.80$ , seguido de los frutos de Cucuyulapa, Cunduacán con tamaño de  $15.8 \pm 0.64$  mm, mientras que los de menor circunferencia fueron los frutos del Macayo, Cárdenas con  $14.2 \pm 0.96$  mm. En relación con el número de semillas; los frutos de Macayo, Cárdenas presentaron el mayor número con  $62.5 \pm 8.35$  semillas, en comparación con los ejemplares de Cupilco, Comalcalco que presentaron el menor número con  $41.6 \pm 6.60$  semillas.

Estadísticamente, de acuerdo al análisis de varianza de una vía (ANOVA), existen diferencias significativas entre las localidades de estudio ( $P = < 0.001$ ), formándose dos grupos estadísticos referente al peso de los frutos y en donde las comunidades de Cucuyulapa, 1era. Sección, Cunduacán, Cupilco, Comalcalco el Macayo, Cárdenas, Ixtacomitán, Centro y Taxco, Nacajuca formaron el primer grupo (**Grupo "a"**); mientras que la localidad de Corregidora, Centro formo el segundo grupo (**Grupo "b"**), como se puede observar en la **Tabla 4**. En relación al ancho de los frutos se obtuvieron cuatro grupos estadísticos, formando el primer grupo los ejemplares del Macayo, Cárdenas (**Grupo "a"**), el segundo grupo correspondió a los ejemplares de Corregidora, Centro (**Grupo "b"**), el tercer grupo a los frutos de las localidades de Cucuyulapa, 1era. Sección, Ixtacomitán, Centro y Cupilco, Comalcalco (**Grupo "c"**) y el último grupo corresponde a los frutos de Taco, Nacajuca (**Grupo "d"**); estos cuatro grupos, se representan en la **Tabla 4**. Por último en lo referente al número de semillas por fruto, se obtuvieron tres grupos estadísticos; en donde le primer grupo lo formaron los frutos recolectados en las localidades de Cupilco, Comalcalco y Taxco, Nacajuca (**Grupo "a"**), el segundo grupo lo formaron los frutos de

Cucuyulapa, 1era. Sección, Ixtacomitán, Centro y Corregidora, Centro (**Grupo “b”**) y el último grupo formado solo por los frutos recolectados en la localidad del Macayo, Cárdenas (**Grupo “c”**), representados en la **Tabla 4**, respectivamente.

Por otro lado de acuerdo a un análisis de discriminante representado en la **Figura 9**, se establecieron las relaciones discriminantes entre las variables de estudio (ancho en mm/peso en g), (No. de semillas/ancho en mm) y (peso en g/ancho en mm/No. de semillas) representados en tres diferentes gráficas. En la primera gráfica correspondiente a la relación (ancho en mm/peso en g), los frutos recolectados en la localidad de Corregidora, Centro marcaron una significativa diferencia discriminante; lo que se apreció en una mayor dispersión de los pesos de los frutos, seguido de los frutos de Ixtacomitán, Centro, Cupilco, Comalcalco, Cucuyulapa, 1era. Sección, Cunduacán, Taxco, Nacajuca y por último los frutos del Macayo, Cárdenas; dicha relación discriminante se representa en la **Figura 9-Gráfica “a”**. En la segunda relación correspondiente a: número de semillas/ancho en mm, los frutos de la localidad Corregidora, Centro marcaron de nuevo la mayor dispersión discriminante, seguido de los frutos de la localidad de Ixtacomitán, Centro, Cupilco, Comalcalco, Macayo, Cárdenas, Cucuyulapa, 1era. Sección, Cunduacán y por último los frutos recolectados en la localidad de Taxco, Nacajuca; esta segunda relación entre las variables estudiadas, se representa en la **Figura 9- Gráfica “b”**. Por último en el tercer grupo se relacionaron las tres variables de estudio, formando la relación discriminante (peso en g/ancho en mm/No. de semillas), de nuevo los frutos recolectados en la localidad de Corregidora, Centro mostraron la mayor dispersión discriminante, seguida de los frutos de Ixtacomitán, Centro, Macayo, Cárdenas, Cupilco, Comalcalco, Cucuyulapa, 1era. Sección, Cunduacán y por último los frutos de Taxco, Nacajuca; relaciones que se representan en la **Figura 9- Gráfica “c”**.

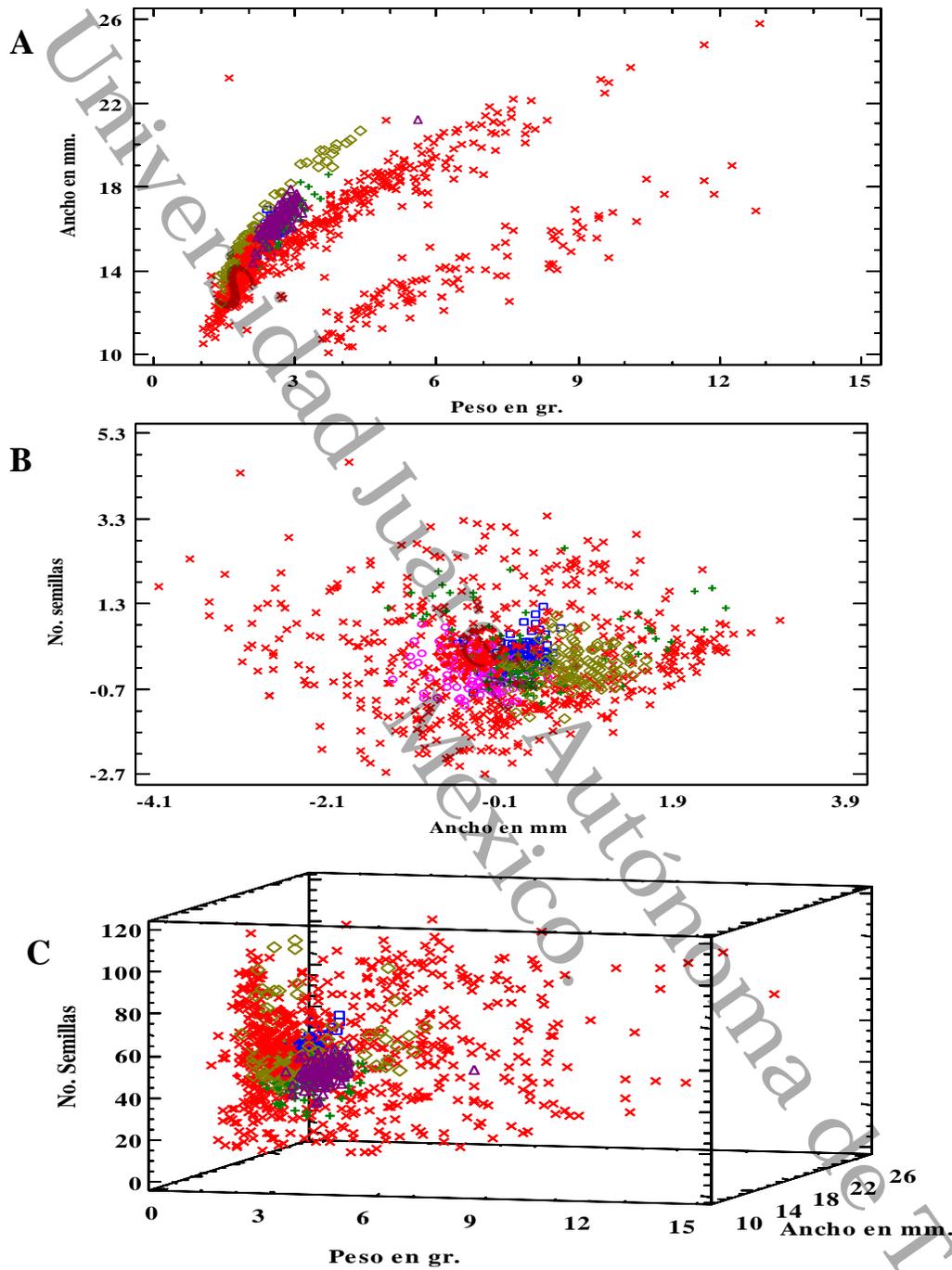
Por último se esquematizaron, mediante dendogramas o diagramas de árbol de ligamiento único; la relación del peso y el número de semillas, dando como resultado dos gráficas representadas en la **Figura 10- Gráficas “a” y “b”**, para comparar las distancias euclidianas entre las variables de los frutos de cada una de las localidades antes mencionadas, en relación al peso de los frutos, como resultado se establecieron dos grupos; siendo el primer grupo, formado por los ejemplares recolectados en Corregidora, Centro que en el ligamiento del peso de los frutos, presentan una mayor relación con los ejemplares de Ixtacomitán, Centro; el segundo grupo de ligamiento lo formaron los frutos recolectados en las localidades del Macayo, Cárdenas que presenta mayor ligamento con los frutos de Cucuyulapa, 1era. Sección, Cunduacán, Cupilco, Comalcalco y Taxco, Nacajuca, representados en la **Figura 10-Gráfica “a”**. En el segundo ligamiento respecto al número de semillas, se establecen dos grupos, siendo el primero formado por los frutos de Corregidora, Centro que presentaron una mayor relación con los ejemplares de Ixtacomitán,

Centro, mientras que el segundo grupo quedó formado por los frutos del Macayo, Cárdenas, Cupilco, Comalcalco, Taxco, Nacajuca y Cucuyulapa, 1era. Sección y se representa en la **Figura 10-Gráfica “b”**, respectivamente.

**Tabla 4.** Promedios de Número de frutos, pesos, ancho del fruto y número de semillas de frutos maduros del fomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., recolectados en cinco localidades del estado de Tabasco.

Localidad	Número de Frutos	Peso promedio $\pm$ D.E.	Ancho promedio $\pm$ D.E.	Número de semillas $\pm$ D.E.
Cucuyulapa, Cunduacán	100	2.42 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	15.8 $\pm$ 0.64 <sup>c</sup>	54.0 $\pm$ 6.41 <sup>b</sup>
Ixtacomitán, Centro	100	2.17 $\pm$ 0.71 <sup>a</sup>	15.7 $\pm$ 1.93 <sup>c</sup>	56.7 $\pm$ 1.53 <sup>b</sup>
Cupilco, Comalcalco	100	2.45 $\pm$ 0.47 <sup>a</sup>	15.7 $\pm$ 1.03 <sup>c</sup>	41.6 $\pm$ 6.60 <sup>a</sup>
Macayo, Cárdenas	100	1.98 $\pm$ 0.26 <sup>a</sup>	14.2 $\pm$ 0.96 <sup>a</sup>	62.5 $\pm$ 8.35 <sup>c</sup>
Taxco, Nacajuca	100	2.66 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	16.5 $\pm$ 0.80 <sup>d</sup>	44.6 $\pm$ 4.84 <sup>a</sup>
Corregidora, Centro	538	3.90 $\pm$ 2.37 <sup>b</sup>	15.1 $\pm$ 2.84 <sup>b</sup>	56.7 $\pm$ 2.59 <sup>b</sup>

D. E. = Desviación estándar, letras en minúsculas similares en superíndice por columnas y entre localidades significan que no hay diferencias significativas con nivel de confianza de  $P \leq 0.05$  y en caso contrario las diferencias existen.



**Simbología:**

- Cucuyulapa, Cunduacán, (N=100)
 + Ixtacomitán, Centro, (N= 100)
 ○ Cupilco, Comalcalco, (N=100)
- ◇ Macayo, Cárdenas, (N=100)
 \* Taxco, Nacajuca
 X Corregidora, Centro (N=538)

**Figura. 9.** Análisis de discriminantes con las variables peso del fruto en gramos (g), ancho del fruto en milímetros (mm) y número de semillas de frutos maduros del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., de seis localidades del estado de Tabasco, México (A, B y C). Comparación de las variables discriminatorias peso en g vs ancho en mm (A), ancho en mm vs número de semillas (B) y de las tres variables en estudio (C).



Para el análisis fenológico en el tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., se realizó un análisis de semillas, para evaluar el porcentaje de germinación de estas en diferentes sustratos. Para ello se inició un análisis de germinación en condición de invernadero, durante 10 días, en dos repeticiones y empleando sustrato orgánico, a como se describe en el **Apartado 5.3.1**. Por otro lado se realizó un análisis para conocer la germinación del tomatillo silvestre en condición de laboratorio; empleando cuatro diferentes sustratos: agarosa, algodón, arena y tierra, durante siete días y en duplicado, a como se describe en el **Apartado 5.3.2**. Los porcentajes obtenidos de germinación en condición de invernadero en ambos casos; se obtuvieron tasas superiores al 70%; en el primer análisis el nivel obtenido fue de  $76.3 \pm 11$ , mientras que en el segundo el porcentaje de germinación fue de  $75.9 \pm 8.3$ , lo cual se muestra en la **Tabla 5**. Respecto a los índices de germinación obtenidos con el empleo de diferentes sustratos y en condición de laboratorio, los resultados mostraron que la agarosa es el mejor sustrato ya que en ambos experimentos se obtuvieron tasas de germinación de  **$78.7 \pm 6.50$**  en el primer análisis y de  $82 \pm 8.02$  en el segundo experimento, seguido del algodón que presentó  **$77.3 \pm 6.82$**  en el primer análisis y de  $75.3 \pm 10.9$  en el segundo experimento, mientras que los niveles más bajos de germinación se presentaron en arena con  $45.3 \pm 9.30$  y  $60.6 \pm 10.4$  respectivamente, a como se presentan en la **Tabla 6**.

<b>Tabla 5. Porcentajes de viabilidad en condiciones de invernadero de semillas del tomatillo silvestre <i>S. lycopersicum</i> L.</b>											
<b>Experimento I</b>											
Canales # de semillas	1/%	2/%	3/%	4/%	Días de germinación						Germinación total /% por canal
					5/%	6/%	7/%	8/%	9/%	10/%	
I/100	0/0	0/0	20/20	12/12	12/12	8/8	1/1	0/0	3/3	2/2	58
II/100	0/0	0/0	19/19	32/32	6/6	0/0	0/0	6/6	0/0	2/2	65
III/100	0/0	0/0	21/21	34/34	5/5	0/0	0/0	9/9	0/0	5/5	74
IV/100	0/0	0/0	15/15	42/42	15/15	1/1	0/0	7/7	1/1	6/6	87
V/100	0/0	0/0	12/12	42/42	15/15	0/0	5/5	6/6	0/0	4/4	84
VI/100	0/0	0/0	10/10	40/40	10/10	0/0	6/6	6/6	4/4	6/6	82
VII/100	0/0	0/0	13/13	57/57	15/15	1/1	4/4	5/5	0/0	3/3	98
VIII/100	0/0	0/0	11/11	49/49	6/6	2/2	6/6	5/5	0/0	4/4	83
IX/100	0/0	0/0	9/9	30/30	18/18	3/3	3/3	4/4	4/4	4/4	75
X/100	0/0	0/0	0/0	23/23	6/6	0/0	8/8	6/6	8/8	6/6	57
<b>Porcentaje de germinación total por charola</b>											<b>76.3±1.1</b>
<b>Experimento II</b>											
I/100	0/0	0/0	0/0	22/22	24/24	18/18	15/15	5/5	4/4	0/0	88
II/100	0/0	0/0	0/0	21/21	23/23	8/8	8/8	2/2	0/0	0/0	62
III/100	0/0	0/0	0/0	18/18	15/15	8/8	7/7	8/8	7/7	2/2	65
IV/100	0/0	0/0	0/0	23/23	9/9	10/10	12/12	3/3	2/2	3/3	62
V/100	0/0	0/0	0/0	19/19	16/16	9/9	8/8	7/7	4/4	1/1	69
VI/100	0/0	0/0	0/0	22/22	19/19	9/9	18/18	16/16	5/5	0/0	89
VII/100	0/0	0/0	0/0	23/23	15/15	8/8	7/7	3/3	4/4	2/2	62
VIII/100	0/0	0/0	0/0	26/26	16/16	10/10	7/7	9/9	5/5	0/0	73
IX/100	0/0	0/0	0/0	24/24	22/22	19/19	12/12	12/12	7/7	0/0	96
X/100	0/0	0/0	4/4	26/26	16/16	19/19	17/17	8/8	3/3	0/0	93
<b>Porcentaje de germinación total por charola</b>											<b>75.9±8.3</b>

D=días, #=Número de semillas, %=porcentaje, D.E.=Desviación estándar

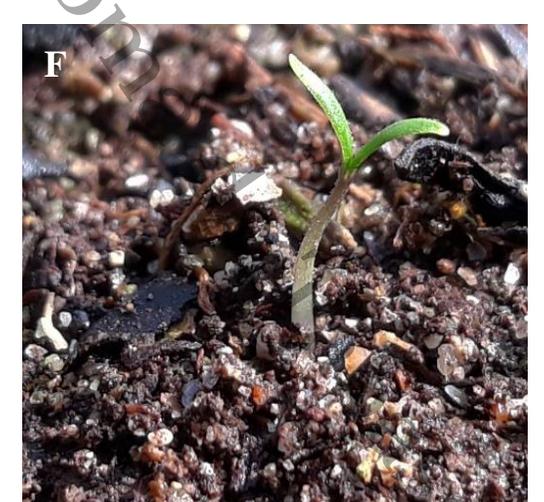
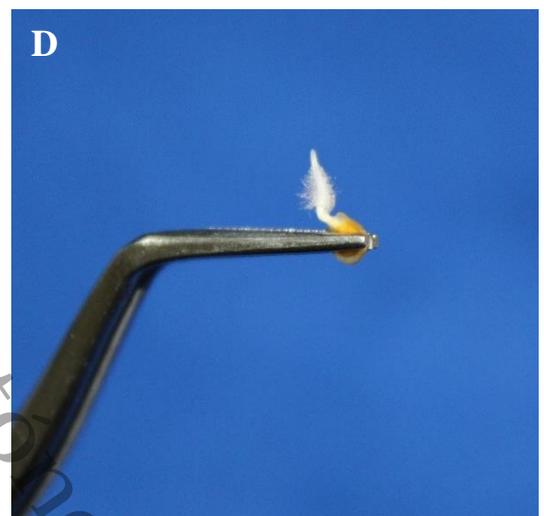
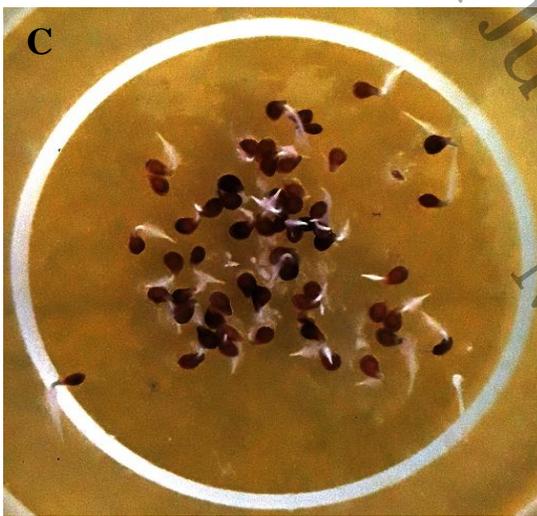
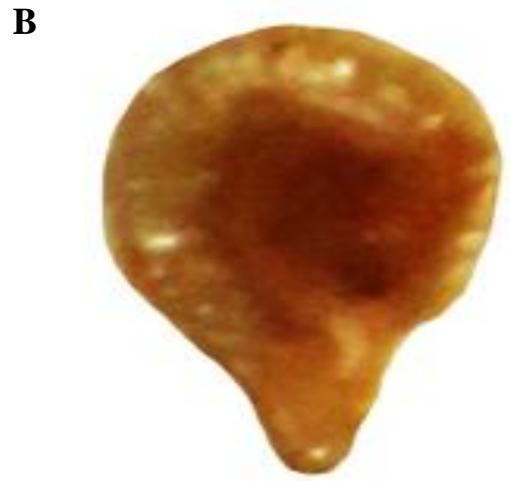
**Tabla 6.** Evaluación del efecto de diferentes sustratos sobre la frecuencia de germinación del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., en condiciones de laboratorio.

Experimento I										
Número de semillas germinadas por día/ % de semillas germinadas por día										
Tratamientos	Días/ #semillas	1/%	2/%	3/%	4/%	5/%	6/%	7/%	Germinación. por Replica/%	Porcentaje de germinación promedio± D.E.
Agarosa	I/30	0/0	6/20.0	8/26.7	9/30.0	0/0	0/0	0/0	23/76.7	<b>78.7±6.50</b>
	II/30	0/0	11/36.7	7/23.3	7/23.3	0/0	0/0	0/0	25/83.3	
	III/30	0/0	5/16.7	13/43.3	5/16.7	0/0	0/0	0/0	23/76.7	
	IV/30	0/0	11/36.7	10/33.3	5/16.7	0/0	0/0	0/0	21/70.0	
	V/30	0/0	8/26.7	8/26.7	8/26.7	0/0	2/6.67	0/0	26/86.7	
Algodón	I/30	0/0	1/3.33	13/43.3	7/23.3	0/0	0/0	0/0	21/70.0	<b>77.3±6.82</b>
	II/30	0/0	1/3.33	15/50.0	7/23.3	1/3.33	1/3.33	0/0	25/83.3	
	III/30	0/0	1/3.33	17/56.7	5/16.7	1/3.33	1/3.33	0/0	25/83.3	
	IV/30	0/0	3/10.0	11/36.7	7/23.3	0/0	0/0	0/0	21/70.0	
	V/30	0/0	1/3.33	10/33.3	11/36.7	1/3.33	1/3.33	0/0	24/80.0	
Arena	I/30	0/0	3/10.0	5/16.7	2/6.67	1/3.33	0/0	0/0	11/36.7	<b>45.3±9.30</b>
	II/30	0/0	3/10.0	3/10.0	3/10.0	2/6.67	0/0	0/0	11/36.7	
	III/30	0/0	2/6.67	6/20.0	5/16.7	0/0	0/0	0/0	13/43.3	
	IV/30	0/0	5/16.7	6/20.0	2/6.67	2/6.67	2/6.67	0/0	17/56.7	
	V/30	0/0	1/3.33	8/26.7	2/6.67	3/10.0	2/6.67	0/0	16/53.3	
Tierra	I/30	0/0	7/23.3	4/13.3	4/13.3	0/0	2/6.67	1/3.33	18/60.0	<b>71.3±7.69</b>
	II/30	0/0	10/33.3	5/16.7	7/23.3	0/0	1/3.33	0/0	23/76.7	
	III/30	0/0	6/20.0	5/16.7	6/20.0	6/20.0	0/0	0/0	23/76.7	
	IV/30	0/0	10/33.3	6/20.0	5/16.7	2/6.67	0/0	0/0	23/76.7	
	V/30	0/0	11/36.7	5/16.7	3/10.0	1/3.33	0/0	0/0	20/66.7	
Experimento II										
Agarosa	I/30	0/0	0/0	8/26.7	16/53.3	4/13.3	0/0	0/0	28/93.3	<b>82±8.02</b>
	II/30	0/0	0/0	10/33.3	13/43.3	0/0	0/0	0/0	23/76.7	
	III/30	0/0	0/0	7/23.3	8/26.7	7/23.3	0/0	0/0	22/73.3	
	IV/30	0/0	8/26.7	13/43.3	4/13.3	1/3.33	0/0	0/0	26/86.7	
	V/30	0/0	9/30.0	8/26.7	7/23.3	0/0	0/0	0/0	24/80.0	
Algodón	I/30	0/0	0/0	2/6.67	6/20.0	13/43.3	0/0	1/3.33	22/73.3	<b>75.3±10.9</b>
	II/30	0/0	0/0	12/40.4	7/23.3	2/6.67	7/23.3	0/0	28/93.3	
	III/30	0/0	0/0	8/26.7	7/23.3	6/20.0	1/3.33	1/3.33	23/76.7	
	IV/30	0/0	0/0	8/26.7	10/33.3	1/3.33	1/3.33	0/0	20/66.7	
	V/30	0/0	0/0	9/30.0	10/33.3	0/0	1/3.33	0/0	20/66.7	
Arena	I/30	0/0	0/0	5/16.7	6/20.0	4/13.3	0/0	0/0	15/50.0	<b>60.6±10.4</b>
	II/30	0/0	0/0	2/6.67	8/26.7	8/26.7	0/0	0/0	18/60.0	
	III/30	0/0	0/0	7/23.3	6/20.0	10/33.3	0/0	0/0	23/76.7	
	IV/30	0/0	0/0	6/20.0	7/23.3	6/20.0	0/0	0/0	19/63.3	
	V/30	0/0	0/0	5/16.7	6/20.0	5/16.7	0/0	0/0	16/53.3	
Tierra	I/30	0/0	0/0	7/23.3	4/13.3	8/26.7	0/0	0/0	19/63.3	<b>70±16.2</b>
	II/30	0/0	0/0	0/0	8/26.7	14/46.7	0/0	0/0	22/73.3	
	III/30	0/0	0/0	2/6.67	5/16.7	7/23.3	0/0	0/0	14/46.0	
	IV/30	0/0	0/0	12/40.0	4/13.3	10/33.3	0/0	0/0	27/90.0	
	V/30	0/0	0/0	7/23.3	6/20.0	10/33.3	0/0	0/0	23/76.7	

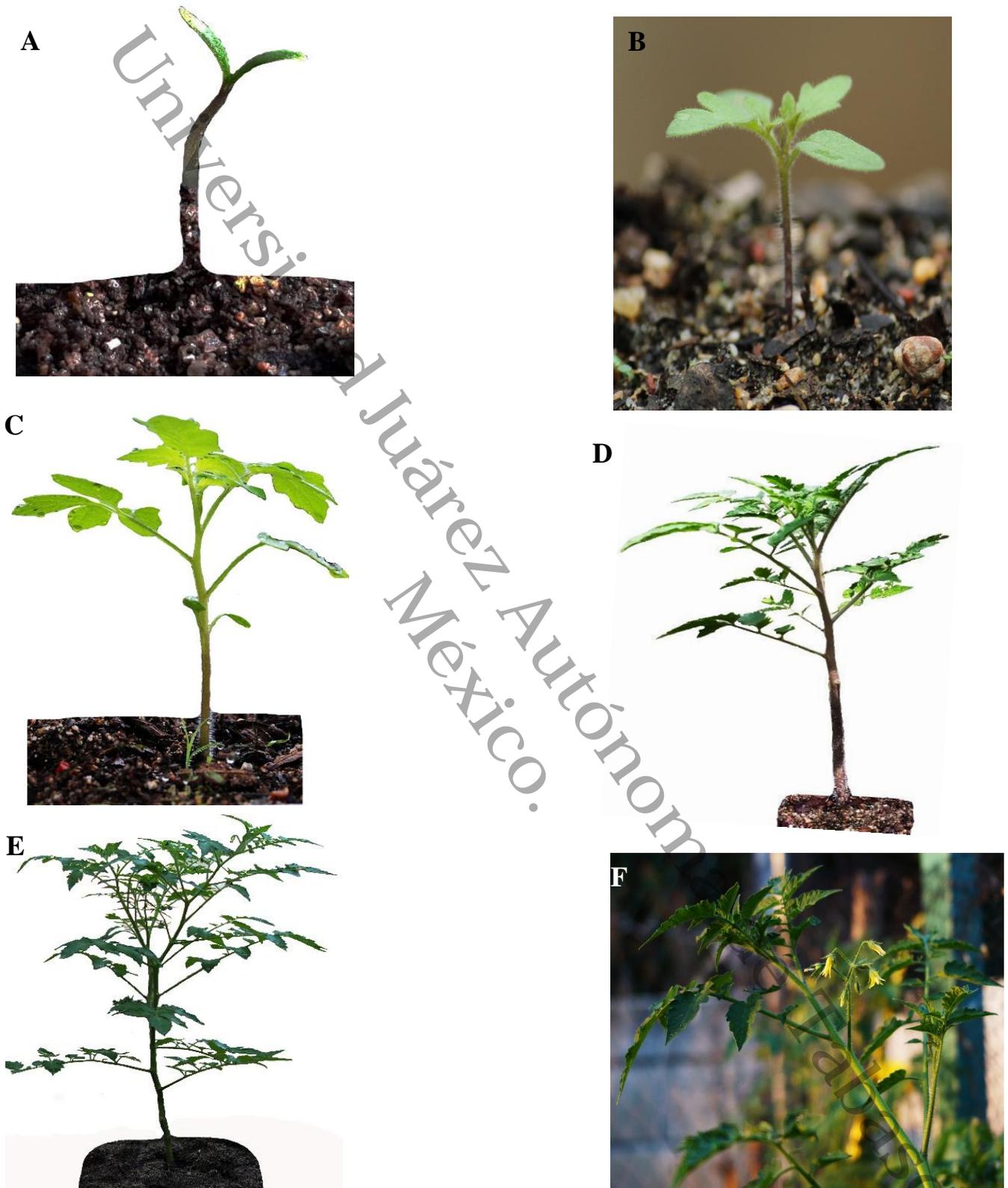
D=días, #=Número de semillas, %=porcentaje, D. E.=desviación estándar

En el **ciclo fenológico**, se germinaron semillas en almácigos y en donde el proceso de germinación, inició a partir del cuarto día y prolongándose hasta los siete días. Posterior a la germinación se documentó el crecimiento en centímetros de las plántulas desde el primer día, segundo, tercer y séptimo día en donde las plántulas alcanzaron un altura promedio de  $5.0 \pm 0.48$  cm, a los 15 días los ejemplares alcanzaron un crecimiento promedio de 20 cm, a los 30 días, las plantas alcanzaron una altura promedio de 45 cm, en esa etapa del crecimiento y tomando en cuenta las recomendaciones de la SAGARPA, (2016) y el INIFAP, (2013) y a como se describe en el **Apartado 5.3.3**, se seleccionaron 16 plantas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., para su trasplante en invernadero y en donde se continuo documentando el crecimiento de los ejemplares en invernadero; en donde se observó que a los 45 días, las plantas presentaron crecimiento promedio de 60 cm y por último a los 60 días o edad adulta a los ejemplares se les midió la altura y el ancho de la corola. En la primera variable presentaron un valor promedio de 2.06 mts y una corola de tamaño promedio de 1.37 mts. Realizándose estos registros durante las temporadas 2018 y 2019.

Las plantas fueron trasplantadas en invernadero a como se describe en el **Apartado 5.3.3**, en el mes de Diciembre de 2017 y 2018. El proceso fenológico documentado, se inició con la floración, la cual inició en el mes de Enero y se prolongándose hasta el mes de Abril. La aparición de los frutos inició a mediados del mes de Enero y se prolongó hasta finales del mes de Julio. El proceso de maduración de frutos se inició a finales del mes de Febrero y se prolongó hasta el mes de Agosto, el proceso de corte de los frutos se inició a principios del mes de marzo y se realizó esta técnica hasta terminar la temporada de frutos en el mes de Agosto. El proceso de muerte de las plantas inició a principios del mes de Septiembre y concluyo a mediados del mes de Noviembre, respectivamente. Este proceso se aprecia de manera ilustrada en las **Figuras 11, 12 y 13**.



**Figura. 11.** Germinación de semillas durante el ciclo de vida del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., semilla en conservación (A), semilla (B), germinación en agarosa (C), radícula de semilla germinada (D), plántulas con un día de germinación (E) y plántula con tres días de germinación (F). Fotografía Original por el autor W. H. S., tomadas con cámara Sony Alfa 3500.



**Figura 12. Crecimiento, desarrollo y floración** del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., plántula con cinco días (A), plántula con siete días (B), planta con 15 días y altura de 15 cm (B), planta con 30 días y altura de 40 cm (C), ejemplar con 45 días y altura de 60 cm (D) y plantas adultas con 60 días y altura promedio de 1.10 metros y en donde se aprecia el inicio de la floración (E y F). Fotografías originales por el autor W. H. S., tomadas con cámara Sony Alfa 3500.



**Figura 13.** Desarrollo de los primeros frutos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., en planta con flores (A), frutos en crecimiento (B), frutos adultos en proceso de maduración (C y D) y frutos maduros con su característica coloración rojo intenso brillante (E y F). Fotografías originales por el autor W. H. S., tomadas con cámara Sony Alfa 3500.

Durante el análisis del ciclo de vida en condición de invernadero del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L. y de acuerdo a lo descrito el **Apartado 5.4**, se realizó el análisis de las biometrías de peso en g, ancho en mm, alto en mm, número promedio de semillas por fruto, número de frutos por racimo y el número de los frutos maduros obtenidos de cada una de las plantas cultivadas en condición de invernadero. Los resultados, respecto al número de frutos por planta, se muestran en la **Tabla 7**, en donde sobresale la planta número uno con 928 frutos producidos, seguida de las planta número 4 con 747 frutos y la planta número 7 con 738 frutos cosechados, respectivamente; en comparación con la planta número 14 de la que solamente se cosecharon 53 frutos. El total general de los frutos fue de 6523 ejemplares, que en conjunto presentaron un peso promedio de  $1.74 \pm 0.06$  g, alto promedio de  $13.29 \pm 0.14$  mm, ancho promedio de  $14.28 \pm 0.34$  mm, respecto al número promedio de semillas por frutos este fue de  $52.0 \pm 4.03$  y el número promedio de frutos por racimo fue de  $7.13 \pm 1.2$  frutos.

Estadísticamente, respecto al peso en g, los valores mostraron diferencias significativas estadísticamente entre las 16 plantas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., empleadas en este estudio ( $P = < 0.001$ ), además de que formaron los ejemplares formaron dos grupos de acuerdo a la media; las plantas 1 a la 10 junto con las plantas 13, 14 y 15 conformaron el primero grupo (**Grupo “b”**), mientras que las plantas 11, 12 y 16 formaron la segunda agrupación (**Grupo “a”**) y se representan en la **Tabla 7**. Respecto a la altura en mm de los frutos, los resultados son similares al peso; formándose nuevamente dos grupos de plantas, en donde de la planta número 1 a la planta número 10 y las plantas número 13, 14 y 15 conformaron el primer grupo (**Grupo “b”**) y las plantas número 11, 12 y 16 formaron la segunda agrupación (**Grupo “a”**), representados en la **Tabla 7**; estos valores presentaron diferencias significantes estadísticamente ( $P = < 0.001$ ). Por último el análisis de varianza (ANOVA), aplicado en los valores del ancho en mm; presentaron diferencias significantes estadísticamente ( $P = < 0.001$ ) y formando dos grupos de plantas; el primer grupo diferencial, formado por las plantas de la número 1 a la número 10, junto con las plantas número 13, 14 y 15 (**Grupo “b”**) y las plantas número 11, 12 y 16 formaron el segundo grupo (**Grupo “a”**), esto se puede apreciar en la **Tabla 7**, respectivamente.

La relación discriminante, observada en un análisis de este tipo, entre las variables de peso en g/altura en mm, peso en g/ancho en mm y peso en g/ancho en mm/alto en mm, a como se observa en la **Figura 14**; y en donde los resultados mostraron las plantas que marcaron una clara diferencia discriminante en cada una de las variables estudiadas. En la relación peso en gr/altura en mm, las plantas número 2, 5, 6 y 10 presentaron la mayor dispersión en relación a los pesos en gramos, sobre el resto de las plantas, esto se representa en la **Figura 14- Gráfica “a”**, en la segunda comparación peso en g/ancho en mm, las plantas número 1, 2, 3, 6, 9, 13, y 14, presentaron la mayor dispersión de valores discriminantes, sobre el resto de

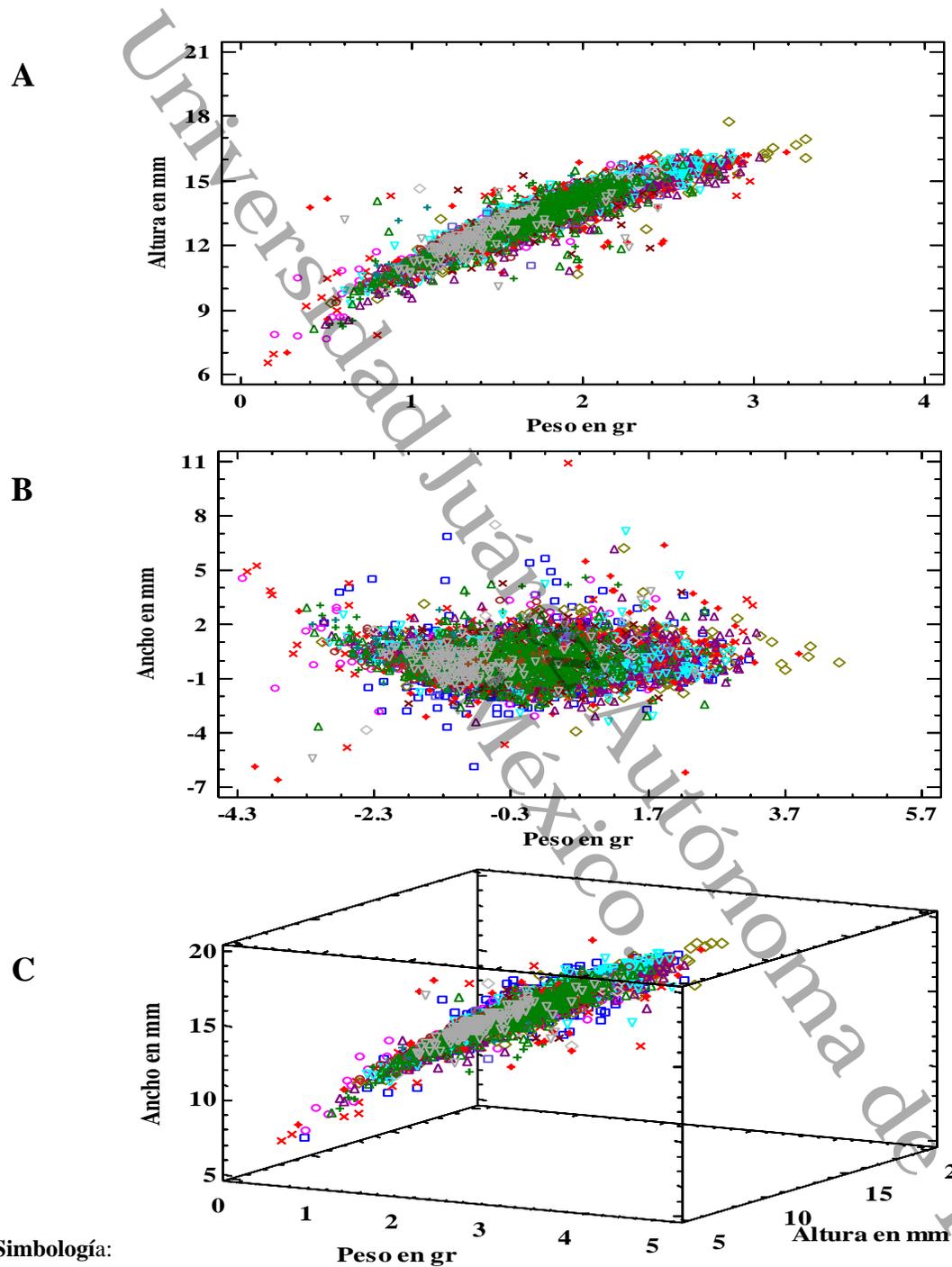
la plantas y se representa en la **Figura 14- Gráfica “b”**, por último en la comparación de las tres variables de estudio peso en g/ancho en mm/alto en mm, los resultados mostraron que en conjunto y con las tres variables juntas ; las plantas número 1, 2, 3, 6, 13 y 16 ; marcaron la dispersión y discriminación general de este análisis sobre las plantas número 4, 5, 7, 8, 9, 10 , 11, 12, 14 y 15, respectivamente y pudiéndose apreciar en la **Figura 14- Gráfica “c”**.

En dendogramas o diagramas de árbol, representado en la **Figura 15**, se representa el ligamiento único de peso en g, altura en mm y ancho en mm, para comparar las distancias euclidianas entre las plantas de acuerdo a cada una de las variables mencionadas anteriormente. En este análisis y con relación al peso en g; en este dendograma, se formaron tres grupos ligados; el primero grupo correlacionar quedó formado por las plantas número **5** que se relaciona con los frutos de las plantas número 14, 7, 6 y 1 al presentar mayor relación entre sus frutos, el segundo grupo correlacionar quedó formado por los frutos de las plantas número 12, que se presenta mayor relación con los frutos de las plantas número 9, 2 y 13, mientras que el tercer grupo correlacionar quedó formado por las plantas número 12, que presenta mayor relación con los frutos de las plantas número 11, 8, 15, 10, 4 y 3, estos tres grupos correlacionales de acuerdo al peso de los frutos, se representan en la **Figura 15- Gráfica “a”**, respectivamente. En relación a la altura en mm, igualmente se formaron tres grupos ligados; en donde el primer grupo lo formaron las plantas número 14 que presenta relación con las plantas número 16, 9 y 8, el segundo grupo quedó formado por las plantas número 2, que se relaciona con las plantas número 7, 5, 6 y 1, respectivamente y el tercer grupo quedo formado por las plantas número 3 que se correlaciona con las plantas 13, 11, 10, 12, 15 y 4, respectivamente; estas tres agrupaciones se representan en la **Figura 15- Gráfica “b”**, respectivamente. En relación al ancho en mm y de acuerdo al análisis; se formaron tres grupos, el primer grupo quedó formado por los frutos de la planta número 14, que marca una mayor relación con los frutos de las plantas 5, 7 y 1, el segundo grupo quedo establecido por la planta número 16 que presenta una mayor relación con los frutos de las plantas número 9, 2 y 3, por último el tercer grupo lo formaron los frutos de la planta número 13 que tiene mayor relación con los frutos de las plantas número 15, 12, 10, 11, 8 y 4; estas tres agrupaciones se representan en la **Figura 15-Gráfica “c”**, respectivamente.

**Tabla 7.** Número de frutos, pesos promedio, ancho promedio del fruto y número promedio de semillas de frutos maduros del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., recolectados de plantas mantenidas bajo condiciones de invernadero desde semilla y hasta la producción de frutos.

Plantas	Número de frutos	Peso promedio $\pm$ D.E.	Alto promedio $\pm$ D.E.	Ancho promedio $\pm$ D.E.
1	928	1.87 $\pm$ 0.38 <sup>b</sup>	13.8 $\pm$ 1.11 <sup>b</sup>	14.8 $\pm$ 1.19 <sup>b</sup>
2	472	1.73 $\pm$ 0.40 <sup>b</sup>	13.4 $\pm$ 1.20 <sup>b</sup>	14.3 $\pm$ 1.35 <sup>b</sup>
3	455	1.64 $\pm$ 0.39 <sup>b</sup>	13.1 $\pm$ 1.24 <sup>b</sup>	14.0 $\pm$ 1.28 <sup>b</sup>
4	747	1.65 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	13.2 $\pm$ 1.12 <sup>b</sup>	14.0 $\pm$ 1.16 <sup>b</sup>
5	567	1.95 $\pm$ 0.42 <sup>b</sup>	13.9 $\pm$ 1.16 <sup>b</sup>	14.9 $\pm$ 1.21 <sup>b</sup>
6	572	1.97 $\pm$ 0.46 <sup>b</sup>	13.9 $\pm$ 1.29 <sup>b</sup>	15.0 $\pm$ 1.34 <sup>b</sup>
7	738	1.85 $\pm$ 0.44 <sup>b</sup>	13.6 $\pm$ 1.33 <sup>b</sup>	14.6 $\pm$ 1.40 <sup>b</sup>
8	378	1.85 $\pm$ 0.46 <sup>b</sup>	13.7 $\pm$ 1.34 <sup>b</sup>	14.7 $\pm$ 1.45 <sup>b</sup>
9	74	1.86 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>	13.7 $\pm$ 1.06 <sup>b</sup>	14.5 $\pm$ 1.01 <sup>b</sup>
10	305	1.68 $\pm$ 0.30 <sup>b</sup>	13.2 $\pm$ 0.95 <sup>b</sup>	14.2 $\pm$ 0.89 <sup>b</sup>
11	252	1.51 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	12.8 $\pm$ 1.21 <sup>a</sup>	13.7 $\pm$ 1.17 <sup>a</sup>
12	145	1.48 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	12.8 $\pm$ 1.23 <sup>a</sup>	13.6 $\pm$ 1.24 <sup>a</sup>
13	145	1.85 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	12.8 $\pm$ 1.05 <sup>b</sup>	14.5 $\pm$ 1.08 <sup>b</sup>
14	53	1.78 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	13.2 $\pm$ 1.13 <sup>b</sup>	14.2 $\pm$ 1.12 <sup>b</sup>
15	528	1.70 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	13.3 $\pm$ 1.17 <sup>b</sup>	14.2 $\pm$ 1.18 <sup>b</sup>
16	164	1.39 $\pm$ 0.26 <sup>a</sup>	12.3 $\pm$ 0.81 <sup>a</sup>	13.3 $\pm$ 0.80 <sup>a</sup>

D.E. = Desviación estándar, letras en minúsculas similares en superíndice por columnas y entre plantas significan que no hay diferencias significativas con nivel de confianza de  $P \leq 0.05$  y en caso contrario las diferencias existen.

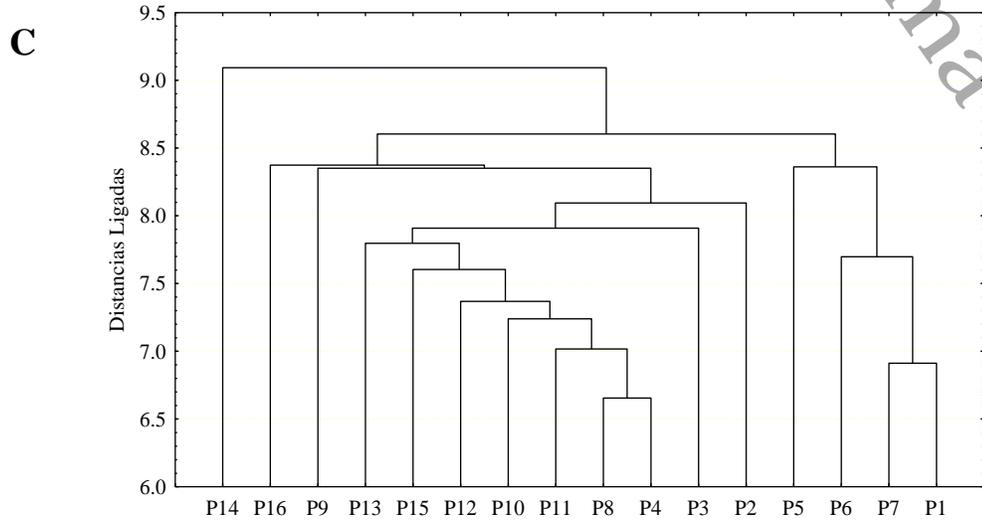
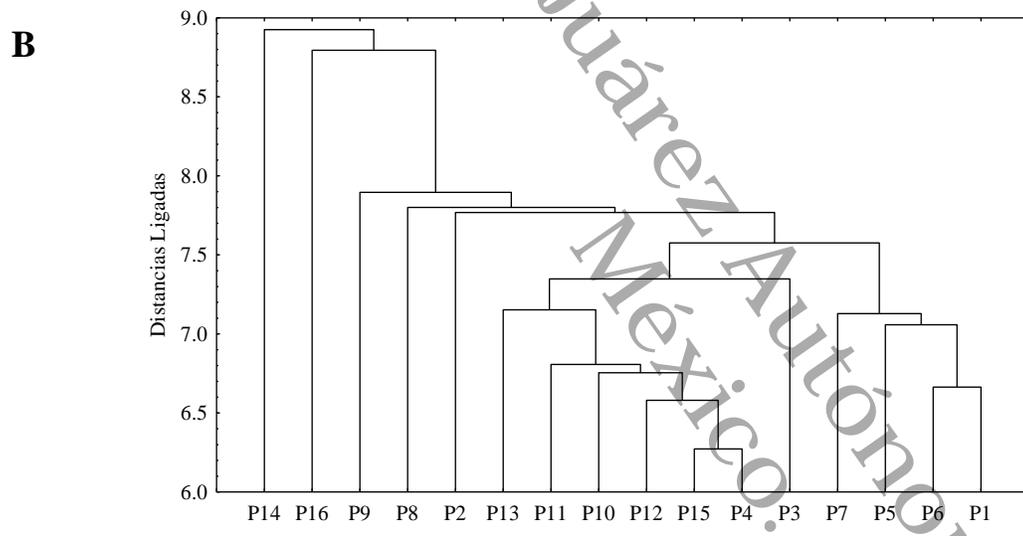
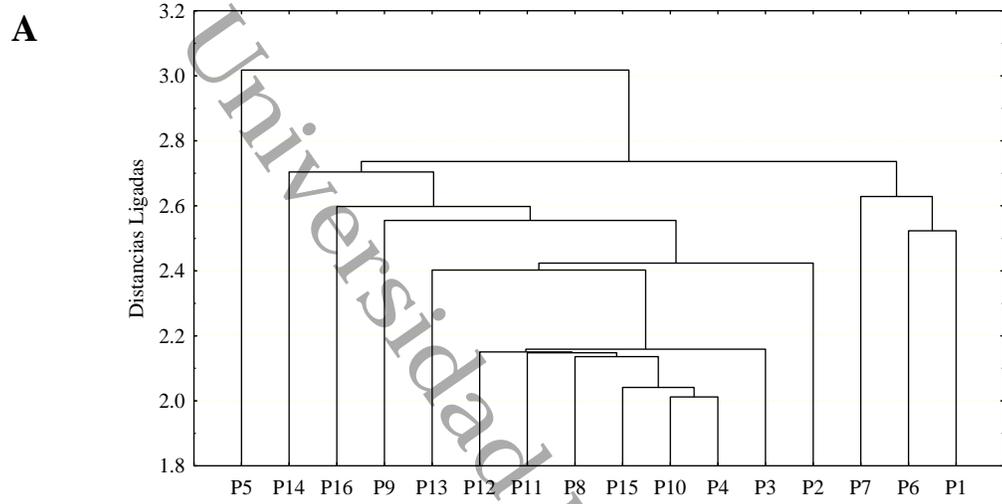


Simbología:

□ P2, × P1, ○ P3, + P4, ◇ P5, \* P6, △ P7, ▽ P8

□ P9, ○ P10, × P11, + P12, ◇ P13, \* P14, △ P15, ▽ P16

**Figura 14.** Análisis de discriminantes con las variables peso del fruto en gramos (g), ancho del fruto en milímetros (mm) y número de semillas de frutos maduros del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., de 16 plantas en condición de invernadero en el estado de Tabasco, México (A, B y C). Comparación de las variables discriminatorias peso en g vs altura en mm (A), peso en g vs ancho en mm (B) y de las tres variables en estudio (C).



**Figura 15.** Dendrogramas de árbol de 16 plantas del tomatillo tropical *S. lycopersicum* L., en condición de invernadero en el estado de Tabasco; donde se comparó las distancias Euclidianas y empleando como ligamiento único el peso (A), altura (B) y ancho (C) de los frutos maduros cosechados.

## 6.1.2. DISCUSIÓN

El análisis fisiológico en las biometrías de peso, ancho y número de semillas por fruto; de los frutos maduros de poblaciones silvestres localizadas en cinco municipios del estado de Tabasco, nos permitió conocer, los valores promedios de estos frutos representativos del estado de Tabasco; que en comparación con otras poblaciones estudiadas, estos son de mayor peso y ancho y número de semillas; de acuerdo a lo reportados por Álvarez-Hernández *et al.* (2009); Bonilla-Barrientos *et al.* (2014) en frutos maduros recolectados de poblaciones silvestres en municipios de Michoacán, Jalisco y en Cárdenas, Tabasco; siendo los de Cárdenas, Tabasco los de mayor diámetro, peso y número de semillas con valores de 2.12 x 2.41 cm, 8.87 gr y 113.5 semillas, respectivamente; Agudelo *et al.* (2011) y Delgado-Vargas *et al.* (2018) reportan en un análisis de diferentes variedades, valores de 2.03 y 2.33 cm en anchos promedio. Mientras que Nuez (1999), reporta que los tamaños de estos tomates oscila entre 1 a 3 cm de diámetro; estos análisis junto con los estudios fenológicos en el tomate en condiciones de invernadero se han realizado de manera diversa, como los realizados por Vázquez-Ortiz, *et al.* (2010), San Martín-Hernández *et al.* (2012); Córdova, *et al.* (2018); quienes estudiaron los estadios fenológicos de plantas de tomates como: el tiempo transcurrido para el inicio de la floración, número de flores, inicio de la cosecha, peso promedio de frutos, rendimiento por planta entre otras variables; similares al análisis fenológico de plantas en condición de invernadero, fisiológico y biométrico de frutos maduros del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L. la germinación en condiciones de invernadero presentaron un porcentaje de viabilidad de  $76.1 \pm 1.91$ , mientras que en condiciones de laboratorio y empleando diferentes sustratos los mejores porcentajes se presentaron en agarosa con  $80.3 \pm 7.26$ ; mientras que la menor germinación se presentó en la arena con  $52.9 \pm 9.85$ ; en comparación con lo reportado por Vivek & Duraisamy (2017), evaluando la germinación de *S. lycopersicum* en sustratos de coco, Vermi composta y la combinación de ambos; los mejores resultados se presentaron en el sustrato de coco con 99%, mientras que la menor germinación se observó en la Vermi composta con 87%; Khurshid *et al.* (2014), evaluaron este mismo proceso en cinco sustratos de tricomposta, vermicomposta, composta de residuos de cocina, composta de estiércol de vaca y suelo para el control, las semillas sembradas en tricomposta presentaron germinación de 94%, mientras que en la composta de residuos de cocina presentó el menor porcentaje con 65.3%; Jawaad *et al.* (2016), establece que el porcentaje de germinación de *L. esculentum* L, es de 95% en sustrato elaborado con turba, composta y prácticas tradicionales en proporciones iguales, por último y con técnicas modernas, Martínez *et al.* (2008), mostraron que la germinación es más alta en las semillas tratadas en comparación con las semillas no tratadas, de igual manera el tiempo de germinación en las semillas tratadas en campos

magnéticos fue inferior, respecto al control; aunque de acuerdo con Delgado-Vargas *et al.* (2018), un papel fundamental en la germinación es la calidad de las semillas; sobretodo todo si el proceso se realiza en condiciones de invernadero. El ciclo de vida del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., es anual de acuerdo con Álvarez-Hernández (2009); Vásquez-Ortiz *et al.* (2010) y Crisanto-Juárez (2010), iniciando la germinación al cuarto día y prolongándose hasta los siete días. La comunidad científica ha hecho énfasis en la falta de investigación en la caracterización morfológica y en la evaluación agronómica de los reservorios de germoplasma silvestres, debido a la importancia de estos recursos para el desarrollo de nuevos cultivares (Vallejo & Estrada, 2002). El análisis biométrico de las variables de peso en gr, alto y ancho promedios en mm, número de semillas por frutos, frutos por racimo y producción de frutos por planta es congruente con el realizado por Vásquez-Ortiz *et al.* (2010); Crisanto-Juárez (2010); Ceballos & Vallejo (2012); Salgado-Meraz *et al.* (2018); Bertin & Génard (2018), entre otros estudios que han hecho énfasis en la importancia de estos análisis sobre las poblaciones silvestres de tomates ya que de acuerdo con Ceballos & Vallejo (2012), la mayor diversidad del tomate en términos de características de calidad de los frutos y contenido de antioxidantes, se encuentra en estas variedades; además de que los cultivos modernos de jitomate *S. lycopersicum* L., es reducida, por lo que se requieren estudiar germoplasma nativo (Salgado-Meraz *et al.* 2018), dado que casi todo el germoplasma que se emplea en plantaciones comerciales en nuestro país proviene de empresas extranjeras, lo que eleva el costo de las semillas (Scott, 2008) y (Hernández-Leal *et al.* 2013); lo que resulta incongruente, dado que México es considerado el centro de domesticación del tomate (Jenkins, 1984; Peralta & Spooner, 2006; Bai & Lindhout, 2007; Razifard *et al.* 2020); y de esta manera generar información relevante para la elección de materiales de siembras y cultivos (Córdova *et al.* 2018) para el mejoramiento genético de la especie cultivada (Agudelo-Agudelo *et al.* 2011).

## CAPITULO VII

### 7.0. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 7.1. Caracterización Citológica del Ciclo Celular en Mitosis de Germinados Tempranos del Tomatillo Silvestre *S. lycopersicum* L.

##### 7.1.1. RESULTADOS

En el estudio citológico, se describen las fases del **ciclo celular en mitosis** y representado en las **Figuras 16 y 17** del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., desde la interfase, profase, metafase, anafase, telofase y citocinesis. Para ello se analizaron 950 muestras citológicas, empleando radículas provenientes de germinados tempranos del tomatillo silvestre tropical y se documentaron 2083 fotografías de alta resolución con células somáticas en mitosis. La frecuencia de conteos mostraron los siguientes porcentaje de células con **interfase (46.7%)**, posteriormente en la **profase (35.7%)**, la **citocinesis (8.9%)**, la **metafase (4.0%)**, la **telofase (2.6%)**, **anafase (2.1%)**; representado en la **Figura 18**. Se realizó el análisis estadístico, mediante un análisis de varianza de Kruskal-Wallis, se identificó diferencias significativas ( $P=0.001$ ) entre los porcentajes de las frecuencias de las fases del ciclo celular y con la comparación múltiple de Dunn's, fue posible observar tres grupos de datos que estuvieron integrados, por la interfase y profase (**Grupo "a"**), dado que ellas comparten procesos celulares ampliamente relacionados con la dinámica de los componentes nucleares, los estadios de metafase, anafase y telofase conformaron el grupo (**Grupo "b"**), que se caracterizó por compartir en común la presencia de grupos de cromatídicos y/o cromosomas y la ausencia del núcleo; por último la citocinesis formó el tercer grupo (**Grupo "c"**), fase mitótica que tiene como peculiaridad la formación de la placa media, la formación del núcleo y la descomposición del material genético (cromosomas). El análisis de los datos anteriores, basados en la prueba de tendencia de la regresión exponencial, indican que la frecuencia de las fases de la división celular del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., tienen preferencia de tipo exponencial; ordenando las fases de la división somática desde la interfase, profase, metafase, anafase, telofase y citocinesis, porque en dicha línea de tendencia se ubicó el mayor valor para el coeficiente de determinación  $R^2=0.9262$ , (**Figura 18**).

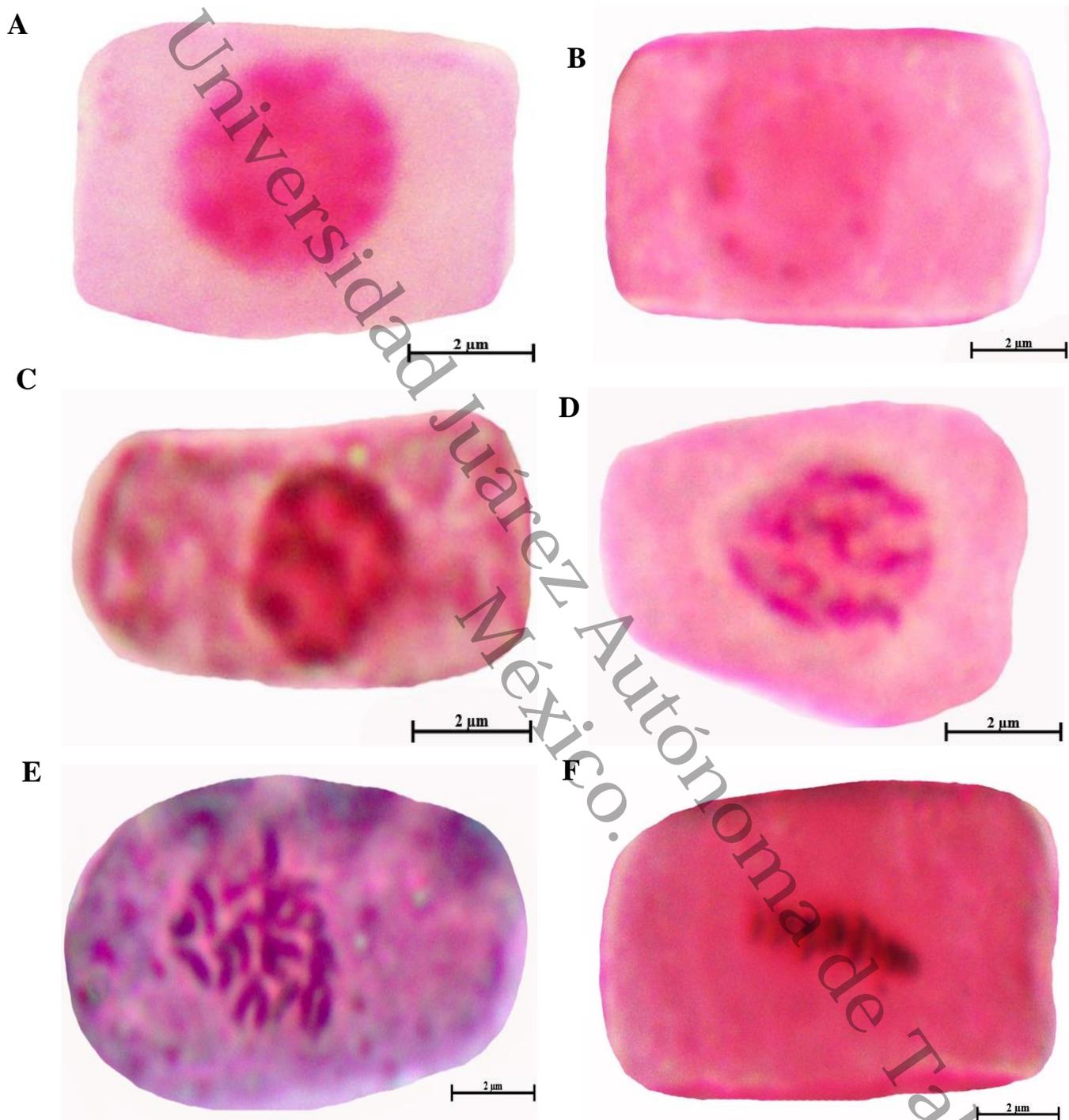
Los parámetros promedios de las medidas del área, largo y ancho de la célula, así como el área, el largo, el ancho del núcleo, área del nucléolo, el largo y el ancho de la placa celular, todo ello se realizaron con las herramientas micrométricas del programa SEN/2018 (Carl Zeiss® Microscopy GmbH, 2018) y se representan en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.** Biometrías promedio en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) de estructuras extracelulares e intracelulares en la mitosis del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

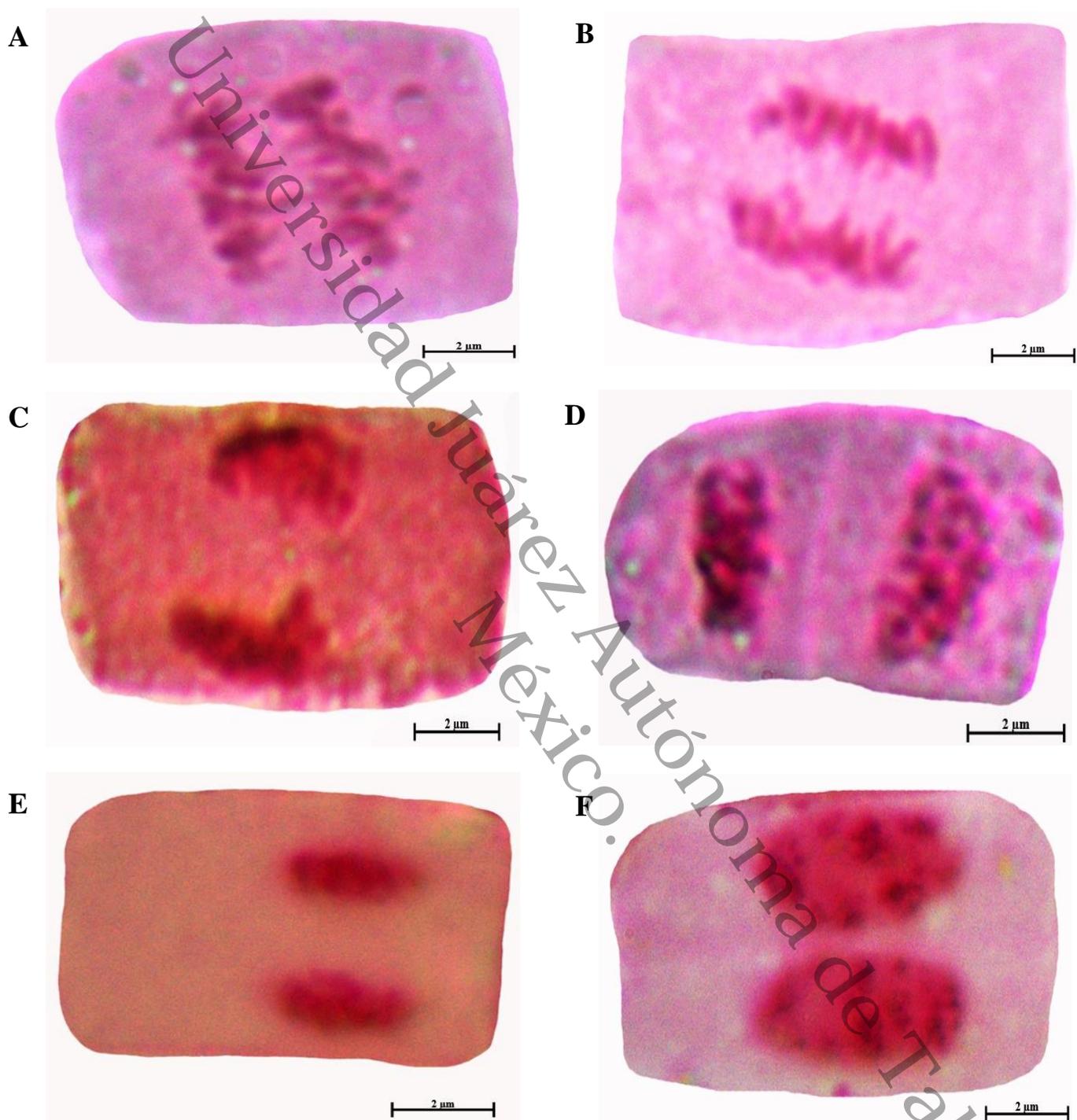
Mediciones	Estadios celulares					
	Interfase ( $\mu\text{m}$ ) $\pm$ D.E	Profase ( $\mu\text{m}$ ) $\pm$ D.E	Metafase ( $\mu\text{m}$ ) $\pm$ D.E	Anafase ( $\mu\text{m}$ ) $\pm$ D.E	Telofase ( $\mu\text{m}$ ) $\pm$ D.E	Citocinesis ( $\mu\text{m}$ ) $\pm$ D.E
A.C. $\pm$ D. E.	40.9 $\pm$ 9.20	35.2 $\pm$ 7.79	36.2 $\pm$ 2.80	37.1 $\pm$ 9.04	42.9 $\pm$ 7.16	48.4 $\pm$ 7.95
L.C. $\pm$ D. E.	7.99 $\pm$ 2.00	7.55 $\pm$ 1.05	8.70 $\pm$ 2.40	8.89 $\pm$ 2.56	8.23 $\pm$ 1.26	12.0 $\pm$ 2.71
A.C. $\pm$ D. E.	5.14 $\pm$ 0.49	5.43 $\pm$ 1.35	4.80 $\pm$ 1.10	4.90 $\pm$ 1.04	5.47 $\pm$ 0.90	4.37 $\pm$ 1.32
A.N. $\pm$ D. E.	11.3 $\pm$ 2.55	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
L. N. $\pm$ D. E.	6.18 $\pm$ 1.55	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A.N. $\pm$ D. E.	7.22 $\pm$ 2.01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A.N. $\pm$ D. E.	3.42 $\pm$ 1.53	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
L. P. $\pm$ D. E.	7.70 $\pm$ 2.04	7.36 $\pm$ 1.05	8.70 $\pm$ 2.50	8.42 $\pm$ 2.34	8.20 $\pm$ 1.05	11.6 $\pm$ 2.35
A. P. $\pm$ D. E.	5.04 $\pm$ 1.22	4.90 $\pm$ 0.93	4.10 $\pm$ 1.10	4.41 $\pm$ 1.01	5.40 $\pm$ 0.95	4.38 $\pm$ 1.19

A.C. Área de la célula, L.C. Largo de la célula, A.C. Ancho de la célula, A. N. Área del nucléolo, L. N. Largo del nucléolo, A. N. Ancho del nucléolo, A. N. Área del núcleo, L. P. Largo de la placa, A. P. Ancho de la placa, D. E. Desviación estándar.

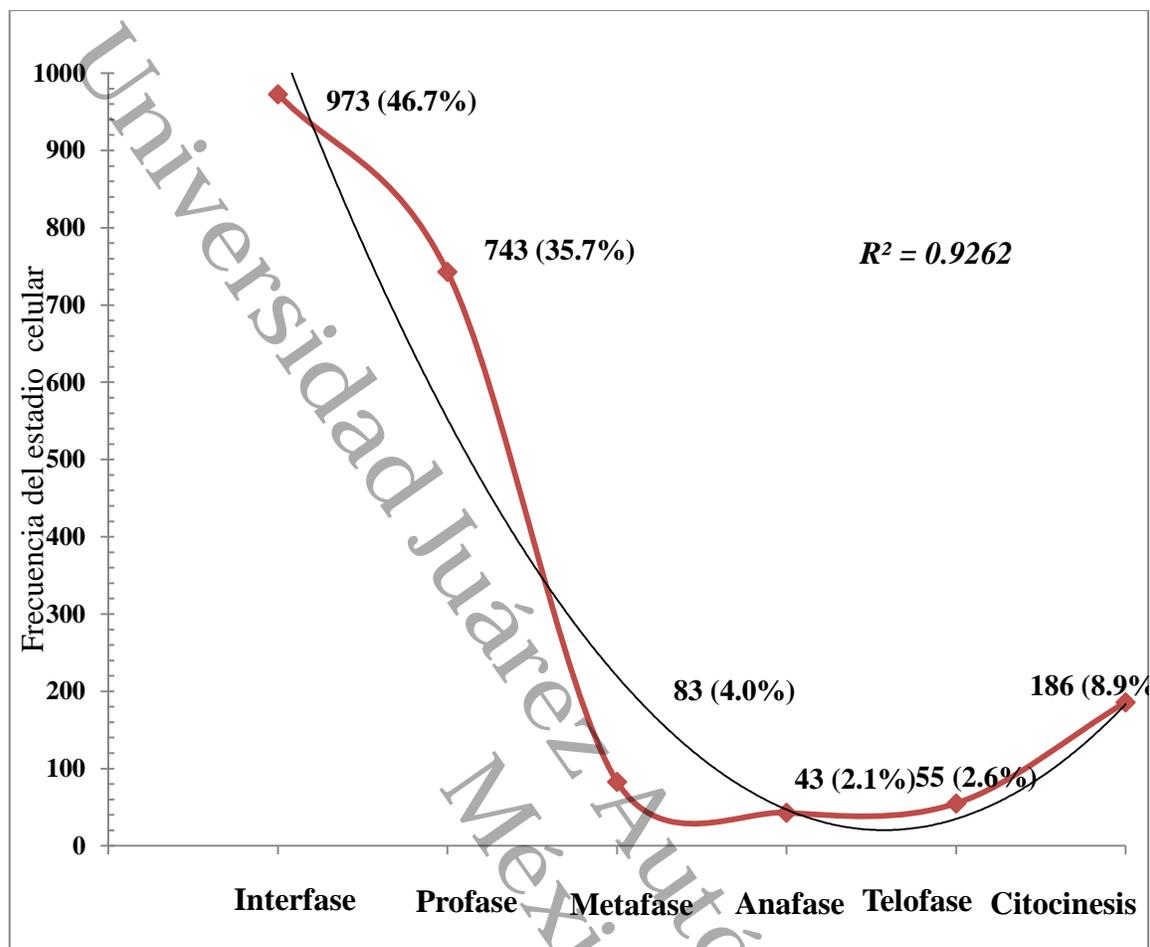
Para los cálculos de contenido de ADN y tamaño del genoma del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., se obtuvieron los valores promedio de 966 núcleos celulares; en su área, largo y ancho. Como resultado de esto, se obtuvo que el tamaño promedio en su área de los núcleos celulares del tomatillo silvestre es de  $12.76 \pm 6.18 \mu\text{m}$ , el largo promedio es de  $6.18 \pm 1.67 \mu\text{m}$ , mientras que el ancho promedio es de  $7.22 \pm 2.06 \mu\text{m}$ . Con el valor del área del núcleo, se procedió a calcular, el contenido de ADN y el tamaño del genoma del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., y de acuerdo a lo descrito en el **Apartado 5.5.1**. El contenido de ADN del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., es de (2N) 3.24 pg, mientras que el tamaño del genoma es de  $\text{bp} = 3.16 \times 10^9$ , respectivamente. Estos resultados se obtuvieron de acuerdo a lo recomendado por Hinegardner (1967); Hardley & Horne (1985); (Doležel *et al.* 2003).



**Figura 16.** Descripción microfotográfica de las etapas del ciclo celular en mitosis del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., interfase media con núcleo en crecimiento (A), interfase tardía con un núcleo grande con su respectivo nucléolo en posición central (B), profase media con formación de cromáticas en específicas zonas del espacio celular (C); profase tardía, en la que se observa mayor rompimiento de la membrana nuclear (D); metafase media en donde se observan cromosomas alineándose (E); en la metafase tardía se muestra una célula con los cromosomas completamente alineados en el centro de la misma (F); Imágenes tomadas a 40x +1.25x del Optovar.

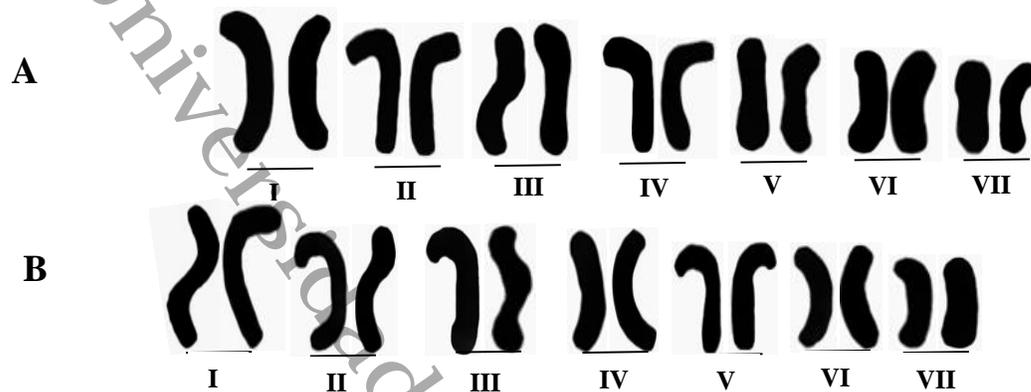


**Figura 17.** Descripción fotográfica del ciclo celular en mitosis del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., la microfotografía muestra a la anafase media con la migración de las dotaciones cromosómicas en sentidos opuestos (A); en la anafase tardía se observó la migración y separación de los cuerpos cromosómicos que darán origen a núcleos independientes (B); en la telofase media se observa crecimiento progresivo de la placa media, del centro hacia afuera de la célula (C); en la telofase tardía es notable la presencia de membrana nuclear en cada polo de la célula en desarrollo (D); la citocinesis media se caracterizó por continuar con la formación de la membrana nuclear, mientras las moléculas de cromatina continúan descondensándose (E y F); en la citocinesis tardía, se observó núcleos desarrollados. Imágenes tomadas a 40x + 1.25x del Optovar.



**Figura 18.** Gráfica representando las fases de la mitosis en el tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., y sus respectivos porcentajes de frecuencias en que se presentaron durante este proceso, en donde la tendencia en el ciclo celular es de tipo exponencial de acuerdo al valor de  $R^2=0.9262$ , representado en la línea de tendencia.

Para el armado del cariotipo, las mejores dispersiones cromosómicas como las que se aprecian en la **Figura 20**, fueron digitalizadas y la frecuencia del número de cromosomas, se determinó por conteo directo sobre las imágenes en metafases, con cromosomas no encimados o traslapados, en las que se realizó el conteo del número de cromosomas en mitosis, con las herramientas micrométricas del programa SEN/2018 (Carl Zeiss® Microscopy GmbH, 2018) y de acuerdo a lo recomendado por Hernández-Sánchez (2015), y De la Cruz-Damián (2016). En la evaluación del número de cromosomas, se identificó la presencia de nueva condición en el número cromosómico presente en el tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., debido a que la condición modal fue de  $2n=14$  cromosomas, representados en la **Figura 19- cariotipos “a” y “b”**; y que de acuerdo a la clasificación de Levan *et al.* (1964), son de tipo metacéntricos, con el centrómero en el centro de su estructura, presentando un brazo corto (“p”) y un brazo largo (“q”); la longitud total del complemento cromosómico diploide (LPTCCD) en  $\mu\text{m}$  es de: 23.88  $\mu\text{m}$ .

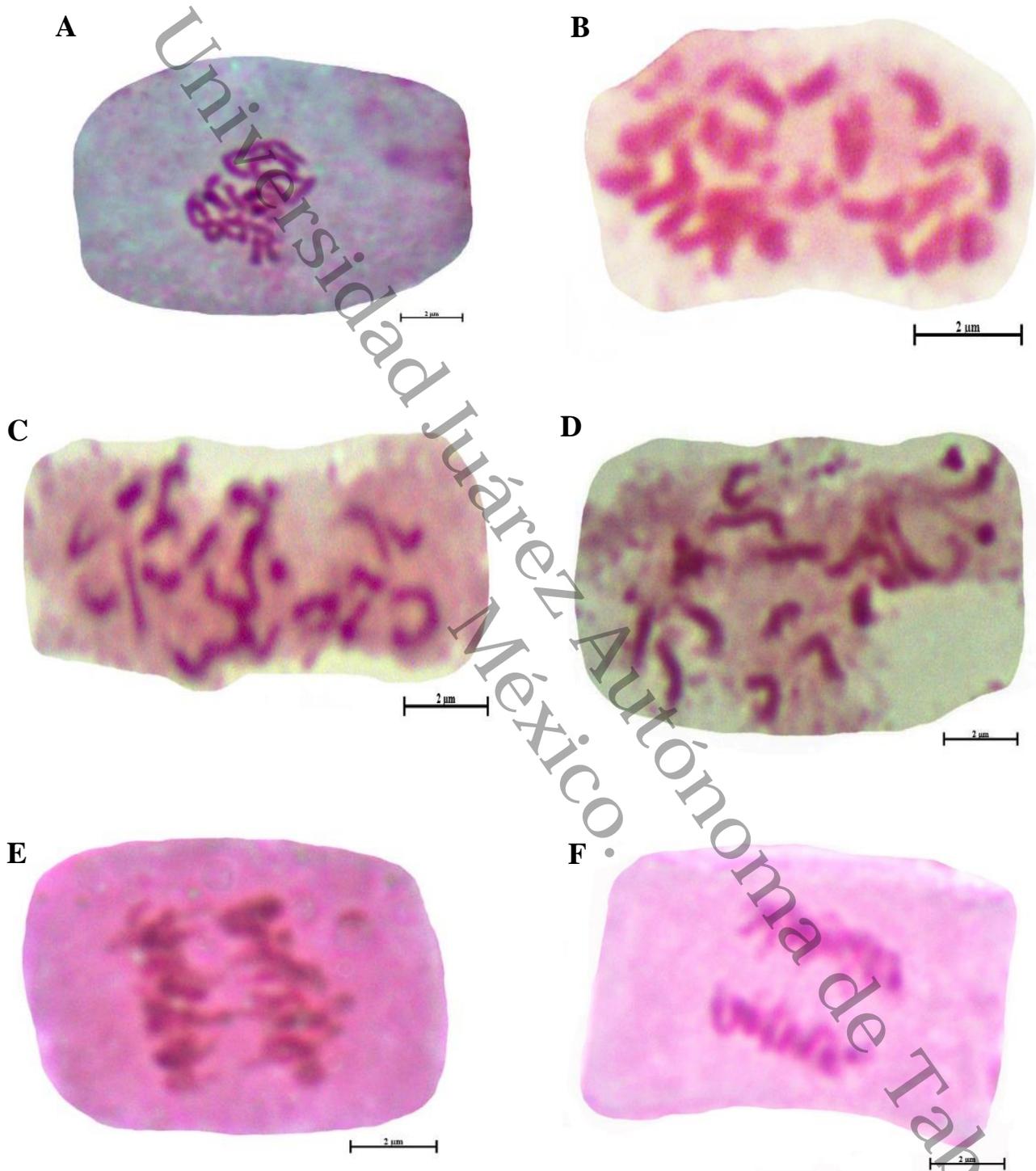


**Figura 19.** Representación fotográfica de dos cariotipos típicos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., ambos de  $2n=14$  cromosomas metacéntricos (A) y (B), de acuerdo a lo establecido por Levan *et al.* (1964).

**Tabla 9.** Longitud promedio en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), longitud relativa, parámetros citogenéticos y clasificación de cada par de cromosomas del cariotipo ( $2N= 14$ ) del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

Par cromosómico	Longitud promedio en $\mu\text{m}$ del brazo corto $p \pm \text{D.E.}$	Longitud promedio en $\mu\text{m}$ del brazo largo $q \pm \text{D. E.}$	Longitud relativa en $\mu\text{m}$ de $p \pm \text{D. E}$	Longitud relativa en $\mu\text{m}$ de $q \pm \text{D. E}$	$r= p/q$	$i. c.= 100(p/p+q)$	$d= r-1(10)/r+1$	Clasificación cromosómica
1	$2.08 \pm 0.06$	$2.93 \pm 0.22$	$8.70 \pm 0.27$	$12.3 \pm 0.94$	1.41	41.4	1.71	m
2	$1.74 \pm 0.10$	$2.28 \pm 0.13$	$7.29 \pm 0.43$	$9.54 \pm 0.05$	1.31	43.2	1.34	m
3	$1.68 \pm 0.15$	$2.07 \pm 0.02$	$7.02 \pm 0.64$	$8.65 \pm 0.01$	1.23	44.8	1.04	m
4	$1.44 \pm 0.05$	$1.82 \pm 0.45$	$6.01 \pm 0.19$	$7.60 \pm 0.19$	1.27	38.3	1.17	m
5	$1.26 \pm 0.03$	$1.50 \pm 0.02$	$5.28 \pm 0.12$	$6.28 \pm 0.01$	1.19	38.7	0.86	m
6	$1.02 \pm 0.08$	$1.30 \pm 0.01$	$4.28 \pm 0.34$	$5.46 \pm 0.05$	1.28	37.0	1.21	m
7	$0.91 \pm 0.04$	$1.04 \pm 0.02$	$3.79 \pm 0.15$	$4.35 \pm 0.11$	1.15	46.5	0.69	m

P= Brazo corto, q= Brazo largo,  $\mu\text{m}$ = Micrómetro, D. E.= Desviación estándar, r= Proporción de brazos, i. c.= Índice centromérico, d= Diferencia entre brazos, m= Metacéntrico.



**Figura 20.** Representación microfotográfica de células mitóticas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., con de  $2n=14$  cromosomas) y en donde, en la metafase temprana los cromosomas aparecen prealineados en la región metafásica (A), en la metafase media, se muestra una célula con los cromosomas en la región metafásica (B y C), en la metafase tardía se muestra células, con los cromosomas alineándose en los centros de las mismas (D), Anafase temprana, con dos conjuntos diploides de cromosomas que inician la separación, pero aún están en contacto (E) y en la telofase media, se observa la migración de las dotaciones cromosómicas en sentidos opuestos (F).

## 7. 1. 2. DISCUSIÓN

Los trabajos citogenéticos desempeñan un papel importante en el conocimiento de las especies, debido a que el estudio y caracterización individual de los cromosomas es necesario para mejoramiento genético (Rahman *et al.* 2002) y estadios básicos de germinación; es por ello que reafirmando la importancia de nuestras especies silvestres como es el caso del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., y en base al análisis de contabilizándose 2083 microfotografías el (46.7%) fueron interfase, (35.7%) profase, (8.9%) citocinesis, (4.0%) metafase, (2.6%) telofase y el (2.1%) anafase; dando como resultado un típico ciclo celular (Özbingöl *et al.* 1999; de Castro & Hilhorst, 2000). En el número de cromosomas reportamos un número de  $2n=14$  cromosomas o siete pares cromosómicos metacéntricos, un brazo cromosómico pequeño (“p”) y uno largo (“q”) Levan *et al.* (1964); y una longitud promedio total del complemento cromosómico diploide (LPTCCD) de 23.88  $\mu\text{m}$ . siendo la primera vez que se reporta este número modal de cromosomas, ya que en los anteriores estudios realizados por Lesley (1935); Luckwill (1943); Gottschalk (1954); Baquar (1967); Bir *et al.* (1978); Forni-Martins & Martins (1995), reportaron la presencia de 12 cromosomas; por otro lado Májovský *et al.* (1978); Govindarajan & Vijayakumar (1986); Huan *et al.* (1989); Matsumoyo *et al.* (1997) & Yang (2005) reportan 24 cromosomas; Upcott (1935), reportó 36 estructuras y Jorgensen (1928), reportó 48 cromosomas.

El contenido (2C) de ADN nuclear (*picogramos=pg*) de nuestra especie en estudio es de 3.24 pg/2C y un tamaño de genoma de 3.16 Mbp; estos valores son superiores a los reportados para el tomate cultivado como *S. arcanum* y *S. habrochaitas* que tiene un genoma de 1.87 a 2.07 pg/2C y un genoma aproximado de 950 Mbp, mientras que *S. pennellii*, tiene un contenido de ADN de 2.47 a 2.77 pg/2C, lo que corresponde a 1200 Mbp de acuerdo con Aflitos *et al.* (2014), Arumugathan & Earle (1991), mientras que para otras variedades de tomates como *S. pennellii*, oscila entre 2.47 a 2.77 pg/2C, mientras que *S. peruvianum* presenta un valor intermedio de 2.27 pg/2C (Arumugathan & Earle, 1991), *S. habrochaites* y *S. pimpinellifolium* presentan genomas pequeños de 1.85 y 1.77 pg/2C, respectivamente (Bennett & Smith, 1976); por otro lado Doležel *et al.* (1992), reportan para el tomate *L. esculentum* Mill, un genoma de 3.01 pg/2C. Estas diferencias entre el contenido de ADN y tamaño del genoma se debe al proceso de domesticación que modifica la variación genómica de las especies (Blanca *et al.* 2015) y en ese sentido este investigador y su equipo, analizaron la variación genética de 1,008 variedades de tomate entre ellas *S. lycopersicum* var. *Lycopersicum* (SLL), *S. lycopersicum* var. cerasiforme (SLC) y *S. pimpinellifolium* (SP), los resultados revelaron el patrón de la variación genética a través del proceso de la domesticación por medio de la hibridación en la naturaleza y la diferenciación a través de la selección humana. Por otro lado Miller & Tanksley (1990), realizaron un análisis sobre las relaciones filogenéticas y variación

genética en el género *Lycopersicum*, en donde la menor diversidad se observó en los cultivos modernos, lo que puede ser por la descendencia de la semilla, lo que promueve uniformidad genética. El genoma del tomate, en comparación con otras especies de la familia *Solanaceae*, es más grande (Prince *et al.* 1993) y (Livingstone *et al.* 1999); comparándolo con el tamaño de la especie *A. thaliana* en donde  $1C = 0.165$  pg (Bennet & Leitch, 1997), *R. sativus*  $1.66$  pg/2C (Doležel *et al.* 1992), pero en comparación con el genoma del maíz *Z. mays*, con un genoma promedio de  $5.57$  pg/2C, (Doležel *et al.* 1992), resulta ser menos complejo. En general la correlación del tamaño del genoma y el ciclo celular, desempeñan un papel esencial en el tamaño del genoma y algunos aspectos de evolución y adaptación de las plantas (Doležel *et al.* 1998). La importancia de conocer el contenido de ADN y el tamaño del genoma de una especie, radica en que estos valores, se pueden emplear como referencia para obtener y establecer estimaciones o valores del contenido de ADN y tamaño del genoma de alguna especie objetivo dentro de algún estudio (Tiersch *et al.* 1989).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## CAPITULO VIII

### 8.0. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 8.1. Efectos de la Radiación UV Sobre el Tomatillo Silvestre *S. lycopersicum* L.

##### 8. 1.1. RESULTADOS

##### 8.1.2. La Radiación UV, Sobre las Semillas

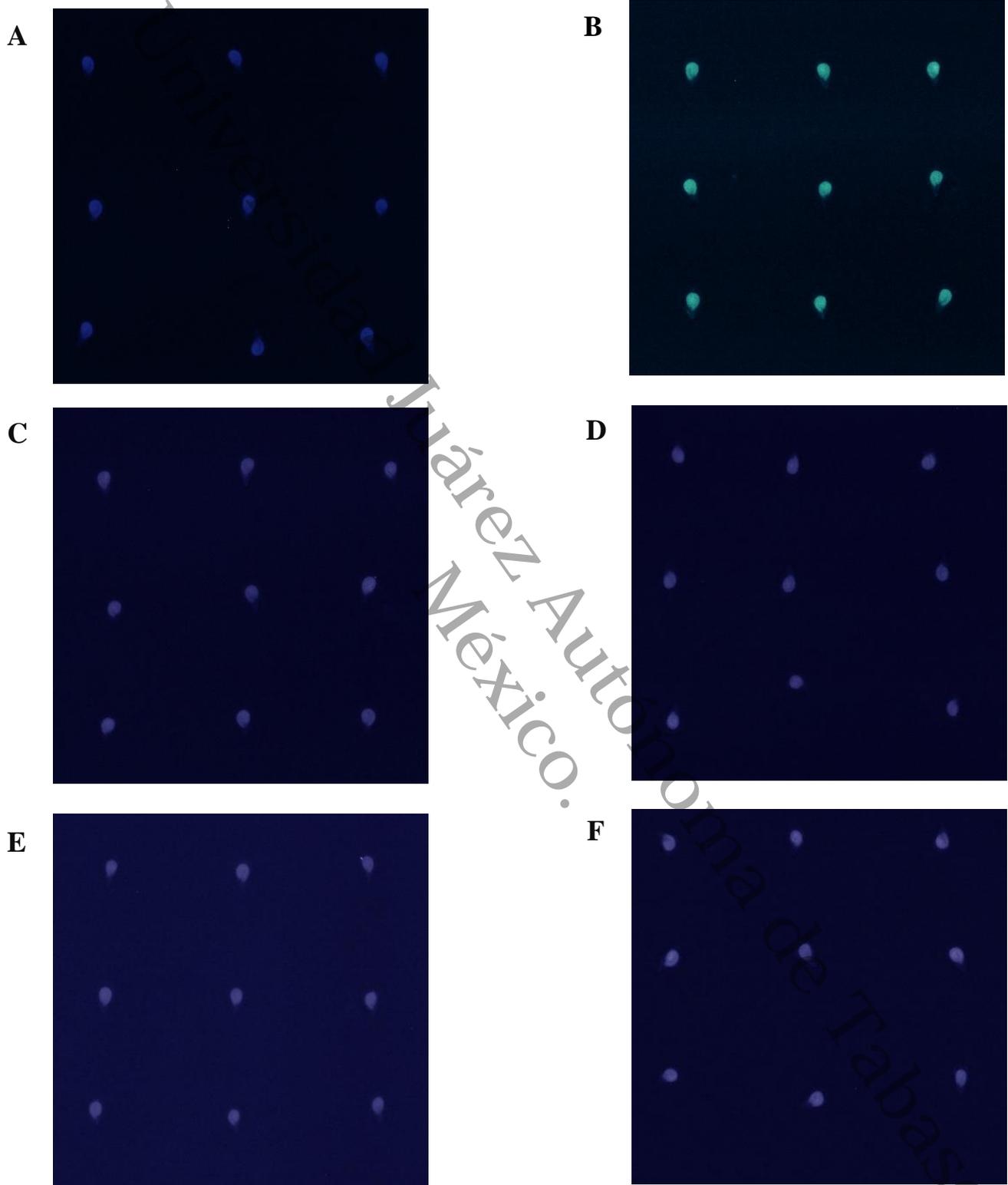
Los irradiados fueron analizados y fotografiadas en el Laboratorio de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), en Guadalajara, Jalisco, con un equipo de Rayos X (Faxitron Specimen Radiography System X-RAY, MX-20, EUA) nivel de rayos X 1:3. Por último las imágenes, se analizaron con el software Zen (2018). Con base a esos resultados y en comparación con el tratamiento control se comprobó que las semillas sufrieron una reducción en su tamaño, desde el tratamiento  $0.3 \text{ J/cm}^2$  de  $0.58 \pm 0.06 \text{ mm}$ , esto se observó en un promedio más alto en el tratamiento  $1.3 \text{ J/cm}^2$  con un tamaño promedio de  $0.55 \pm 0.05 \text{ mm}$ , esta variable se observó a partir del tratamiento  $0.3 \text{ J/cm}^2$  hasta el más alto de  $2.1 \text{ J/cm}^2$  con tamaño promedio de  $0.59 \pm 0.06 \text{ mm}$ . La circunferencia promedio de las semillas de los tratamientos  $0.3 \text{ J/cm}^2$  hasta  $2.1 \text{ J/cm}^2$  fue de  $0.57 \pm 0.01 \text{ mm}$ , en comparación con el tratamiento control que presentó un tamaño promedio de  $0.62 \pm 0.09 \text{ mm}$ , respectivamente junto con el primer tratamiento de  $0.1 \text{ J/cm}^2$ , en donde las semillas presentaron un tamaño promedio de  $0.62 \pm 0.06 \text{ mm}$ . En base a estos resultados se demuestra que la radiación UV, causa una reducción en el tamaño de las semillas, de acuerdo al tiempo de exposición.

Por otro lado, las observaciones realizadas a las imágenes mostraron que la radiación UV, en los tratamientos  $0.1 \text{ J/cm}^2$ ,  $0.3 \text{ J/cm}^2$ ,  $0.5 \text{ J/cm}^2$  y  $0.7 \text{ J/cm}^2$ ; representados en la **Figura 21- Fotografías “b, c, d y e”**, respectivamente, no se observó efecto o daño alguno sobre la morfologías externas ni internas de las semillas irradiadas; en comparación con el tratamiento control, **Figura 21-Fotografía “a”**. En el caso de los tratamientos  $0.9 \text{ J/cm}^2$ ,  $1.1 \text{ J/cm}^2$ ,  $1.3 \text{ J/cm}^2$  y  $1.5 \text{ J/cm}^2$ , **Figuras 21 y 22-Fotografías “f, h, i, j”**; se observó con mayor claridad el embrión de las semillas, lo que indica que la radiación UV, causó un efecto negativo sobre los cotiledones de estas semillas, en comparación con el tratamiento control, **Figura 21- Fotografía “a”**. En el caso de los tratamientos  $1.7 \text{ J/cm}^2$ ,  $1.9 \text{ J/cm}^2$  y  $2.1 \text{ J/cm}^2$ , **Figura 22-Fotografías “j, k y l”**; se observó el embrión en cada una de las semillas correspondientes a estos

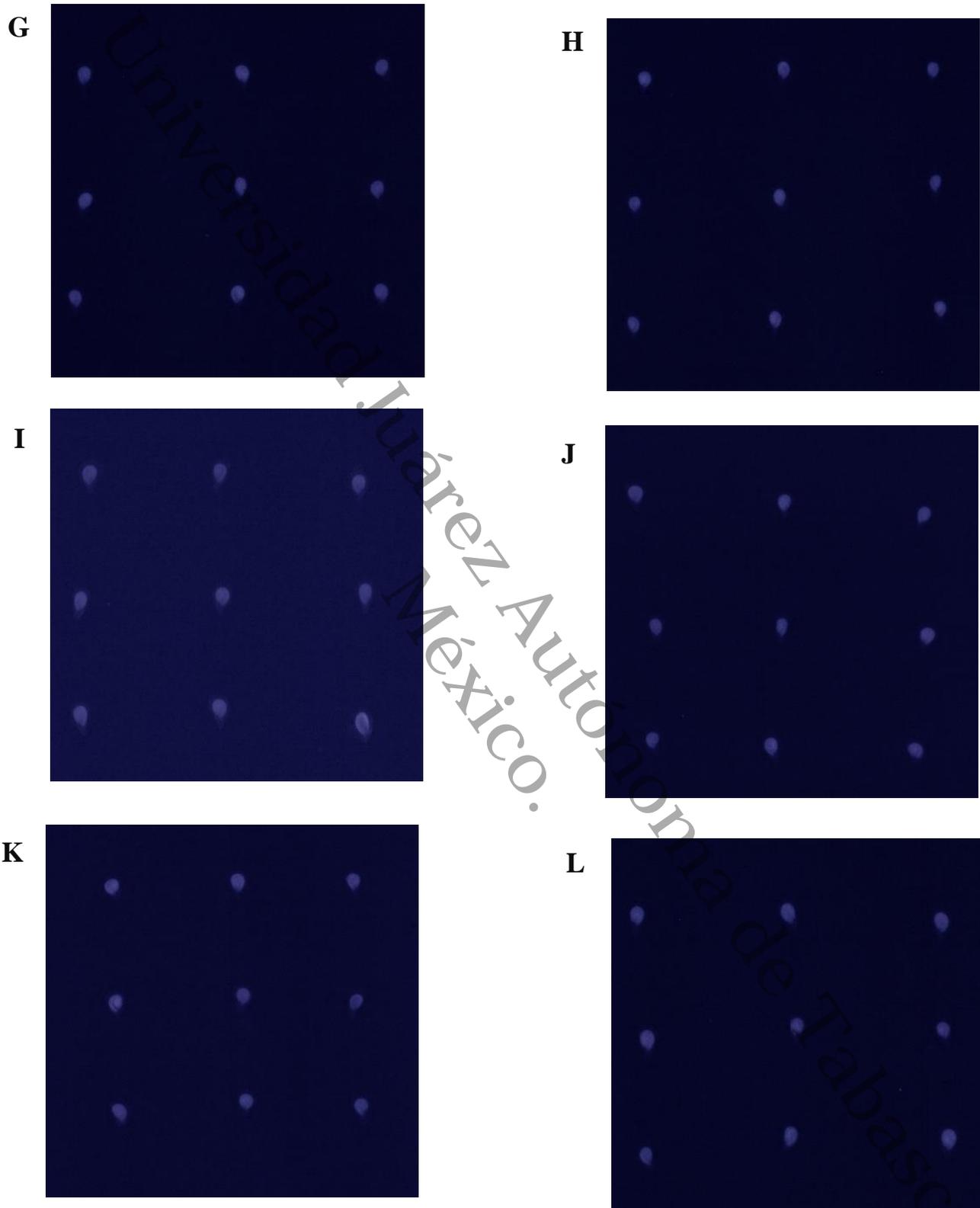
tratamientos, lo que indicó que todos los ejemplares irradiados sufrieron un efecto negativo en los cotiledones además de que desaparecieron las vellosidades que caracterizan y protegen a las semillas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., con ello se demuestra que la Radiación UV en dosis altas e intervalos de tiempo más prolongados, causa un efecto negativo sobre la morfología externa e interna de las semillas de testa delgada como las del tomatillo silvestre, lo que podría afectar la germinación de estos germoplasmas. Estadísticamente, de acuerdo a un análisis de varianza (ANOVA) y en base a lo observado, las diferencias en los valores de la mediana entre los grupos de tratamiento no son lo suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio; no hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = 0,496$ ), respectivamente.

México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



**Figura 21.** Fotoradiografías de las semillas analizadas de los tratamientos control (A), 0.1 J/cm<sup>2</sup> (B), 0.3 J/cm<sup>2</sup> (C), 0.5 J/cm<sup>2</sup> (D), 0.7 J/cm<sup>2</sup> (E), 0.9 J/cm<sup>2</sup> (F).



**Figura 22.** Fotoradiografías de las semillas analizadas de los tratamientos  $1.1 J/cm^2$  (G),  $1.3 J/cm^2$  (H),  $1.5 J/cm^2$  (I),  $1.7 J/cm^2$  (J),  $1.9 J/cm^2$  (K) y  $2.1 J/cm^2$  (L).

### 8.1.3. La Radiación UV, Sobre la Frecuencia de Germinación

En todos los tratamientos se presentaron niveles de germinación por arriba de 65%; en el primer experimento la menor tasa de germinación se observó en el tratamiento 0.7 J/cm<sup>2</sup> con 68.9±3.33%, mientras que la más alta en el tratamiento 1.7 J/cm<sup>2</sup> con 78.9±3.85%. En el segundo análisis la germinación más baja se presentó en el tratamiento 0.1 J/cm<sup>2</sup> con 65.6±3.33% y la más alta en el tratamiento 0.5 J/cm<sup>2</sup> con 83.3±3.33%, lo cual se puede observar en la **Tabla 10**. Con base a los dos experimentos la germinación más baja se presentó en el tratamiento 0.3 J/cm<sup>2</sup> con 64.4±3.59, mientras que la más alta en el tratamiento 0.5 J/cm<sup>2</sup> con una germinación promedio de 80.6±3.59%, de acuerdo a la **Tabla 10**. En ambos experimentos se obtuvieron porcentajes de germinación por arriba de 70%; en primer experimento se observó una germinación promedio de 73.5±3.34 en comparación con el tratamiento control con germinación de 78.9±3.85%. En el segundo experimento se obtuvo germinación de 73.6±7.39%, en comparación con el control con germinación de 70.0±3.33%. Con base a estos resultados se concluye que la Radiación UV, no presenta efecto negativo sobre la germinación del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

**Tabla 10.** Porcentajes de germinación promedio en el tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., por efecto de diferentes dosis de radiación ultravioleta (UV).

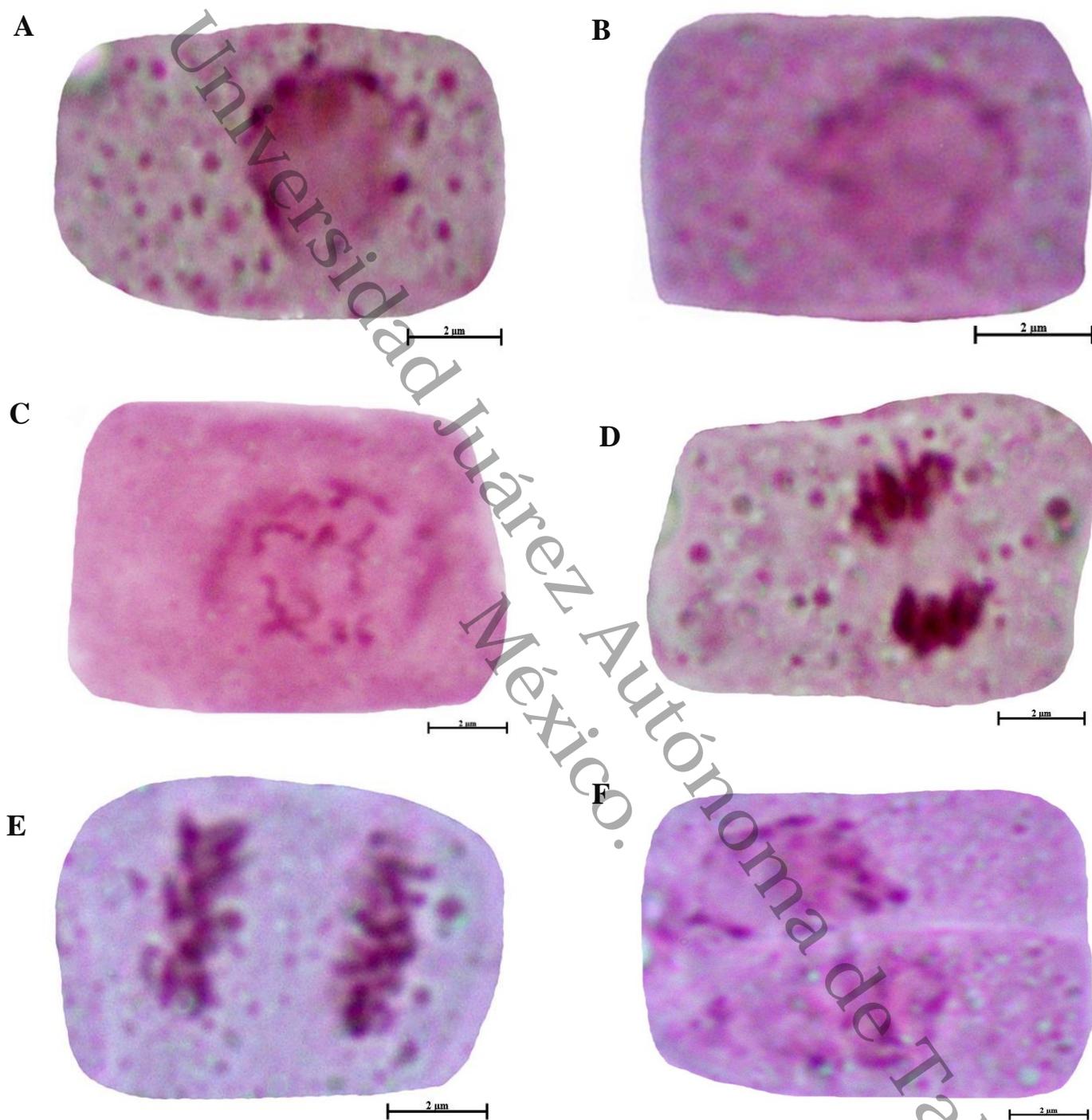
Tratamientos	Experimento I	Experimento II	Porcentajes total de germinación ± D.E.
	Porcentajes de germinación ±D.E.	Porcentajes de germinación ±D.E.	
Control	78.9±3.85	70.0±3.33	74.4±3.59
0.1 J/CM2	72.2±3.85	65.6±3.33	68.9±3.59
0.3 J/CM2	71.1±3.33	57.8±3.85	64.4±3.59
0.5 J/CM2	77.8±3.85	83.3±3.33	80.6±3.59
0.7 J/CM2	68.9±3.33	68.9±3.85	68.9±3.59
0.9 J/CM2	71.1±3.85	82.2±3.85	76.7±3.85
1.1 J/CM2	70.0±1.92	73.3±4.71	71.7±3.32
1.3 J/CM2	72.2±1.92	73.3±4.71	72.8±3.32
1.5 J/CM2	76.7±3.33	76.7±4.71	76.7±4.02
1.7 J/CM2	78.9±3.85	78.9±1.92	78.9±2.89
1.9 J/CM2	74.4±5.09	74.4±3.85	74.4±4.47
2.1 J/CM2	75.6±5.09	75.6±1.92	75.6±4.47
D.E. Desviación estándar			

### 8. 1. 4. La Radiación UV, Sobre las Radículas de Semillas Germinadas

Las muestras citológicas fueron preparadas y analizadas de acuerdo a los 11 tratamientos o dosis de radiación UV, observándose el ciclo celular. Se contabilizaron y analizaron 270 campos celulares o fotografías de alta resolución con células somáticas en mitosis y se contabilizaron 880 células en las diferentes fases del ciclo celular desde la interfase, profase, metafase, anafase, telofase y citocinesis, representados en la **Tabla 11**. La frecuencia de conteos mostraron los siguientes valores de células con interfase (434), en la profase (324), la metafase (43), en anafase (35), la telofase (18) y en citocinesis (26), de estas células el porcentaje que presentaron alteraciones en sus respectivas fases se presentó de la siguiente manera: interfase (48.6%), posteriormente en la profase (48.5%), la metafase (51.2%), anafase (62.9%), la telofase (33.3%) y la citocinesis (23.3%), a como se observa en la **Tabla 11**. Los efectos o alteraciones que se observaron en la interfase, se caracterizaron por presentar núcleos fuera de su posición correcta, este organelos celular se observó hacia los extremos derecho o izquierdo, en la profase los núcleos se observaron en los sitios antes mencionados en la interfase, pero de forma asimétricos, en la metafase los cromosomas se presentaron con una distribución atípica, algo similar se observó en la anafase en donde los conjuntos cromosómicos presentaron migración atípica, en la telofase se evidenció una separación atípica de los paquetes cromosómicos semisólidos en movimiento hacia ambos polos, también fue evidente el bosquejo anormal de un canal en construcción de material celular desde la región media interna de las células afectadas y en la citocinesis se pudo observar que en los dos grandes núcleos, la cromatina estaba dispersa de manera atípica, dispersa hacia los extremos de las células y con un membrana deforme en su morfología a como se precia en la **Figura 23**.

**Tabla 11.** Relación de los porcentajes de células afectadas por la radiación UV, durante las fases del ciclo celular del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

Fase	Normalidad	Número	Anormalidad	Número	Total	% afectado
Interfase	Núcleos normales	223	Núcleos hacia los extremos	211	434	48.6
Profase	Núcleos métricos	167	Núcleos asimétricos	157	324	48.5
Metafase	Distribución cromosómica típica	21	Distribución atípica	22	43	51.2
Anafase	Distribución de cromosómica típica	13	Distribución atípica	22	35	62.9
Telofase	Distribución típica de cromáticas	12	Distribución atípica de cromáticas	6	18	33.3
Citocinesis	Migración normal de los cuerpos celulares	19	Migración anormal de los cuerpos celulares	7	26	23.3



**Figura 23.** Células en las diferentes fases del ciclo celular en mitosis de radículas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., afectadas por la radiación UV, en la interfase se observa el núcleo en el extremo (A), en la profase el núcleo se observa en el extremo (B), en la metafase se observa distribución cromosómica atípica (C), los mismo se observa en la anafase, con distribución anormal de las cuerpos cromosómicos (D), en la telofase se aprecia distribución atípica de los paquetes cromosómicos semisólidos en movimiento hacia ambos polos (E) y en la citocinesis se aprecian la cromatina que estaba dispersa de manera atípica hacia los extremos de las células (F).

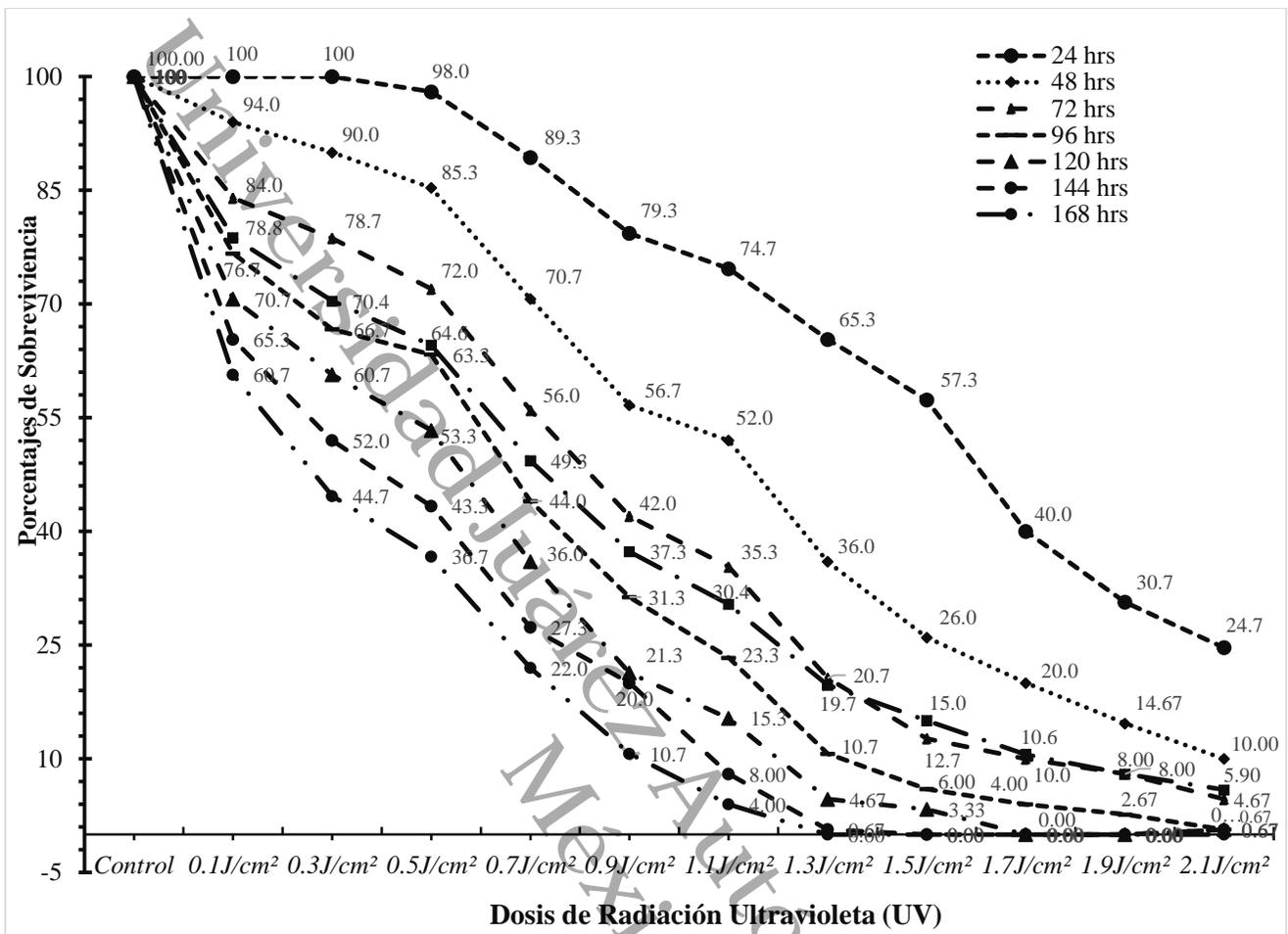
### 8. 1. 5. La Radiación UV, Sobre la Supervivencia de Germinados Tempranos

En base al análisis de los registros de cada uno de los cinco experimentos efectuados, se presentó una mortandad promedio de  $59.2 \pm 7$ , en comparación con los tratamientos control que no presentaron mortandad, mientras que el porcentaje de irradiados que sobrevivieron fue de  $40.8 \pm 5.56$ , en comparación con los tratamientos control en donde se observó una supervivencia de 100%, lo cual se representa en la **Tabla 12**. Cabe mencionar que en los cinco experimentos; los porcentajes más altos de mortandad se presentaron a las 24 horas de cada experimento, en los tratamientos  $1.7 \text{ J/cm}^2$ ,  $1.9 \text{ J/cm}^2$  y  $2.1 \text{ J/cm}^2$  con porcentajes de  $60.0 \pm 9.13$ ,  $69.3 \pm 9.83$  y  $75.3 \pm 7.67$  respectivamente, tratamientos que al contabilizarse al quinto día, presentaron 0.00% de organismos vivos o con fotorreactivación; y que se representan en la **Tabla 12** y en la gráfica de la **Figura 24**.

Por otro lado las dosis que presentaron una mayor supervivencia a las 24 horas fueron los tratamientos  $0.1 \text{ J/cm}^2$ ,  $0.3 \text{ J/cm}^2$  y  $0.5 \text{ J/cm}^2$  con porcentajes de  $0.00 \pm 0.00$ ,  $0.00 \pm 0.00$  y  $2.00 \pm 2.98$  de mortandad; mismas tratamientos que al séptimo día del experimento presentaron porcentajes de supervivencia de  $78.8 \pm 6.90$ ,  $70.4 \pm 9.17$  y  $64.6 \pm 9.34$ , respectivamente y que se puede apreciar junto con los otros resultados en la **Tabla 12** y en la gráfica de la **Figura 24**. Estadísticamente de acuerdo a un análisis de varianza de una vía (ANOVA), las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo esperado por casualidad; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = < 0.001$ ) y con ello se demuestra que la Radiación UV, tiene un efecto negativo para la supervivencia de plántulas, de acuerdo a lo descrito por Hollósy, (2002); Carrasco, (2009); Tuteja *et al.* (2009); Zlatev *et al.* (2012); Kravets *et al.* (2012); Tesema-Terfa *et al.* (2014); Ulm & Jenkins, (2015); Csepregi *et al.* (2017).

**Tabla 12.** Relación de los porcentajes de sobrevivencia promedio de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., expuestas a luz UV, a través de once dosis de radiación ultravioleta UV.

Tratamientos	Experimentos							
	24 hrs ±DE	48hrs ±DE	72hrs ±DE	96 hrs ±DE	120 hrs ±DE	144 hrs ±DE	168 hrs Día±DE	Promedio/ Exp.±DE
Control	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00
0.1 J/cm <sup>2</sup>	100±0.00	94.0±4.35	84.0±5.96	76.7±4.08	70.7±3.65	65.3±0.00	60.7±8.33	78.8±6.90
0.3 J/cm <sup>2</sup>	100±0.00	90.0±5.77	78.7±9.01	66.7±7.82	60.7±7.96	52.0±6.91	44.7±5.77	70.4±9.17
0.5 J/cm <sup>2</sup>	98.0±2.98	85.3±8.37	72.0±6.67	63.3±7.39	53.3±7.88	43.3±9.60	36.7±2.36	64.6±9.34
0.7 J/cm <sup>2</sup>	89.3±2.36	70.7±7.70	56.0±4.71	44.0±8.82	36.0±6.94	27.3±9.62	22.0±4.71	49.3±7.07
0.9 J/cm <sup>2</sup>	79.3±8.33	56.7±5.09	42.0±9.01	31.3±9.89	21.3±11.0	20.0±8.82	10.7±3.85	37.3±6.19
1.1 J/cm <sup>2</sup>	74.7±3.33	52.0±7.70	35.3±6.94	23.3±6.67	15.3±5.09	8.00±2.36	4.00±5.09	30.4±5.66
1.3 J/cm <sup>2</sup>	65.3±6.09	36.0±5.96	20.7±7.23	10.7±5.48	4.67±2.98	0.67±4.71	0.00±0.00	19.7±8.08
1.5 J/cm <sup>2</sup>	57.3±5.44	26.0±7.96	12.7±5.48	6.00±2.79	3.33±3.33	0.00±1.67	0.00±0.00	15.0±4.81
1.7 J/cm <sup>2</sup>	40.0±9.13	20.0±5.27	10.0±2.36	4.00±4.35	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	10.6±8.08
1.9 J/cm <sup>2</sup>	30.7±1.92	14.7±8.03	8.00±3.80	2.67±2.79	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	8.00±6.01
2.1 J/cm <sup>2</sup>	24.7±7.67	10.0±4.71	4.67±3.80	0.67±1.49	0.67±1.49	0.67±1.67	0.00±0.00	5.90±3.92
D.E. Desviación estándar.								



**Figura 24.** Gráfica que representa la sobrevivencia por tratamiento de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con 11 dosis de luz UV a diferentes intervalos de tiempo; en la gráfica se aprecian los siete días del experimento más el promedio final de sobrevivencia por cada experimento realizado, se observa que el mayor porcentaje de mortandad se presentó a las 24 horas posteriores a la irradiación en las dosis 1.7 J/cm², 1.9 J/cm² y 2.1 J/cm².

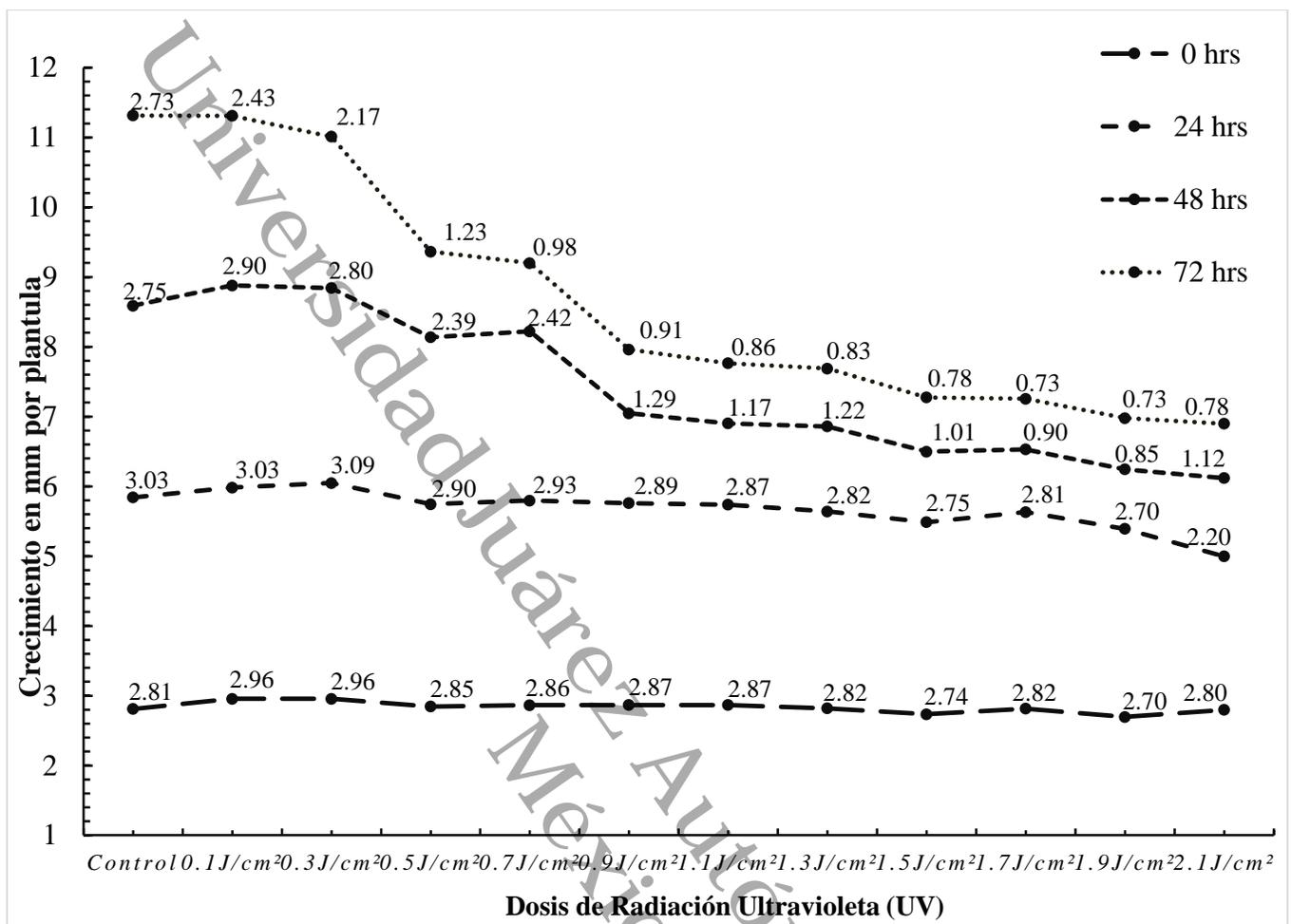
### 8.1.6. La Radiación UV, Sobre el Crecimiento de Germinados Tempranos

Se midió cada plántula de cada tratamiento antes de ser expuesta a la radiación UV, presentando una altura promedio de  $2.86 \pm 0.48$  cm; transcurridas las primeras 24 horas de irradiación, se realizó la primera medición de cada ejemplar, cada 24 horas y durante tres días; se obtuvieron los porcentajes del crecimiento promedio de cada uno de los experimentos, lo que se puede observar en la **Tabla 13**. Estadísticamente de acuerdo a un análisis de varianza de una vía (ANOVA) y una prueba de Kruskal-Wallis, los resultados muestran que las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento no son lo suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio; no hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P=0.532$ ). En la prueba de Kruskal-Wallis, las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento no son lo suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio; no hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P=0.247$ ). En relación al crecimiento por experimento de acuerdo a un análisis de varianza de una vía (ANOVA), las diferencias de los valores medios entre los grupos de tratamiento no son lo suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio; no hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P=0.167$ ). En la prueba de las diferencias en los valores promedios entre los grupos de tratamiento, no son suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio; no hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P=0.149$ ). Los valores obtenidos como resultado, se han graficado por separado a como se puede observar en la **Figura 25**, la cual representa el crecimiento en mm por plántula durante las primeras 24, 48 y 72 hrs, en cada experimento y a la vez incluye el promedio general de crecimiento por cada una de las dosis o tratamientos de radiación UV, a las que fueron expuestas. En ese sentido la **Figura 26**, representa la gráfica de la manera en que se manifestó la alteración o disrupción del crecimiento de las plántulas irradiadas, por cada experimento realizado. En este estudio, se observó que la radiación UV, detiene el crecimiento temprano en las plántulas, como consecuencia del estrés oxidativo, disminución de los niveles de clorofila, aumento de clorosis y lesiones necróticas sobre el material foliar; estos efectos se pudieron observar en altos porcentajes en los tratamientos con las dosis más altas, lo cual se puede observar en la **Tabla 13**. Para evaluar los efectos de la Radiación UV a nivel foliar sobre germinados tempranos del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., se realizaron cinco experimentos.

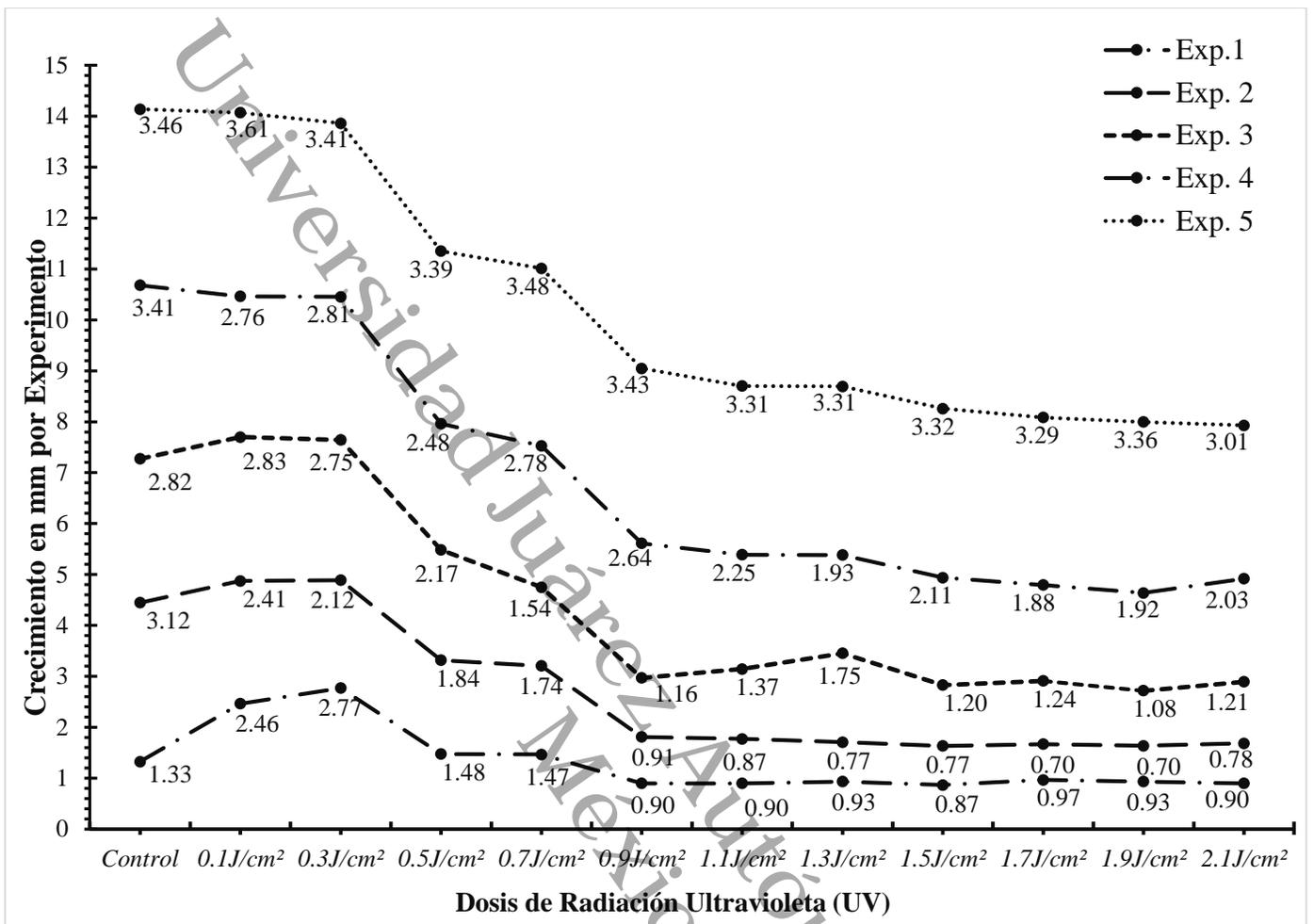
**Tabla 13.** Relación del efecto de la Radiación UV, sobre el **crecimiento** en (mm) de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., antes de ser expuestas a la luz UV y a las 24, 48 y 72 horas después de la exposición de los ejemplares.

<b>Horas de experimentación</b>					
<b>Tratamientos</b>	<b>0±D.E</b>	<b>24±D.E</b>	<b>48±D.E</b>	<b>72 ±D.E</b>	<b>Crecimiento promedio±D.E</b>
Control	2.81±0.48	3.03±0.35	2.75±1.20	2.73±1.41	2.83±0.14
0.1J/cm <sup>2</sup>	2.96±0.41	3.03±0.26	2.90±0.32	2.43±0.41	2.83±0.27
0.3J/cm <sup>2</sup>	2.96±0.39	3.09±0.36	2.80±0.39	2.17±1.12	2.75±0.41
0.5J/cm <sup>2</sup>	2.85±0.44	2.90±0.40	2.39±0.71	1.23±1.42	2.34±0.78
0.7J/cm <sup>2</sup>	2.86±0.59	2.93±0.51	2.42±0.68	0.98±1.52	2.30±0.91
0.9J/cm <sup>2</sup>	2.87±0.56	2.89±0.52	1.29±1.40	0.91±1.56	1.99±1.04
1.1J/cm <sup>2</sup>	2.87±0.50	2.87±0.50	1.17±1.37	0.86±1.41	1.94±1.08
1.3J/cm <sup>2</sup>	2.82±0.48	2.82±0.57	1.22±1.57	0.83±1.41	1.92±1.05
1.5J/cm <sup>2</sup>	2.74±0.60	2.75±0.60	1.01±1.35	0.78±1.45	1.82±1.07
1.7J/cm <sup>2</sup>	2.82±0.58	2.81±0.58	0.95±1.37	0.73±1.41	1.81±1.16
1.9J/cm <sup>2</sup>	2.70±0.68	2.70±0.68	0.85±1.34	0.73±1.57	1.74±1.10
2.1J/cm <sup>2</sup>	2.80±0.52	2.20±0.49	1.12±1.38	0.78±1.53	1.82±0.94

D. E. Desviación estándar.



**Figura 25.** Crecimiento en mm por tratamiento, de plántulas irradiadas con luz UV, antes y después de la irradiación, durante 24, 48 y 72 horas; el decremento mayor se presentó a las 24 horas a la irradiación en los tratamientos  $2.1 J/cm^2$ ,  $1.9 J/cm^2$  y  $1.7 J/cm^2$ , en relación con el control, estos mismos tratamientos mostraron el crecimiento más bajo a las 72 horas; los tratamientos con menos alteraciones en esta variable fueron el  $0.1 J/cm^2$  y  $0.3 J/cm^2$ , en relación con el tratamiento control.



**Figura 26.** Crecimiento en mm por experimento de plántulas, irradiadas con luz UV; en general; en el experimento 2 se observó el menor crecimiento con un promedio de 0.70 mm, en los tratamientos 1.7 y 1.9 J/cm²; en el resto de los experimentos, el tratamiento 1.5 J/cm² mostró el menor valor en el experimento 1; en el experimento 3 el menor crecimiento, se prestó en el tratamiento 1.9 J/cm²; en el experimento 4 el menor valor de observó en el tratamiento 1.7 J/cm y en el experimento 5 el crecimiento menor se observó en el tratamiento 2.1 J/cm² respectivamente en comparación con los tratamientos restantes y los tratamientos controle.

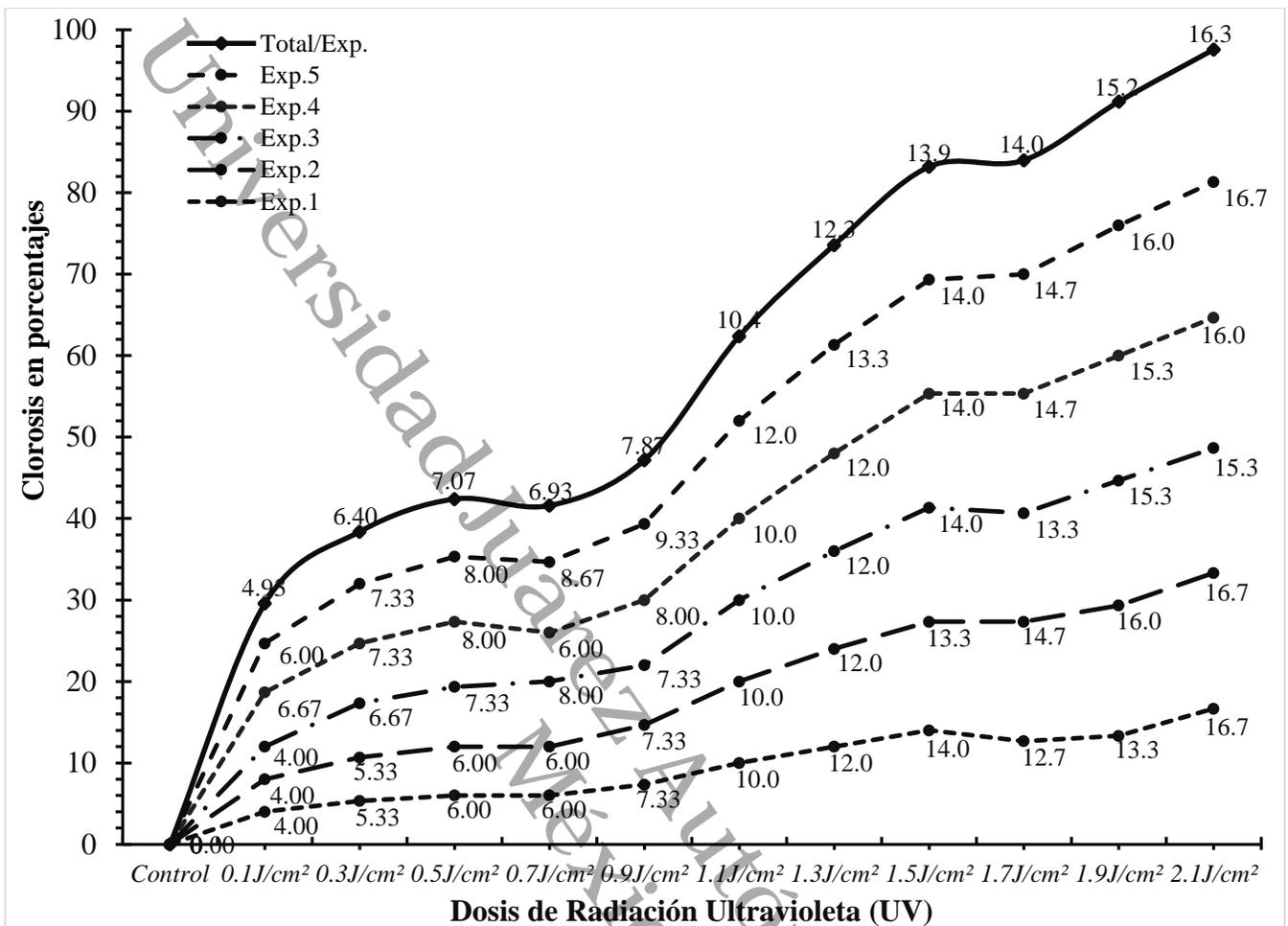
### 8. 1. 7. La Radiación UV, Sobre la Estructura Intracelular y Extracelular del Tejido Radicular y Foliar de Germinados, Mediante Técnicas de Citología y Microscopía Óptica.

Se documentaron los porcentajes en el daño de clorosis y quemaduras necróticas sobre el material foliar de las plántulas irradiadas, lo cual se pueden observar en la **Tabla 14** y esquematizados en las **Figuras 27** y **28**; en donde se puede observar que los mayores efectos de clorosis se presentaron en los tratamientos  $1.7 J/cm^2$ ,  $1.9 J/cm^2$  y  $2.1 J/cm^2$  con valores promedios de  $14.0 \pm 0.94$ ,  $15.2 \pm 1.10$  y  $16.3 \pm 0.60$  respectivamente, de igual manera los mayores efectos de quemaduras necróticas se observaron en estos mismos tratamientos, presentando valores promedios de  $19.7 \pm 0.60$ ,  $20.0 \pm 0.00$  y  $20.0 \pm 0.00$ , respectivamente.

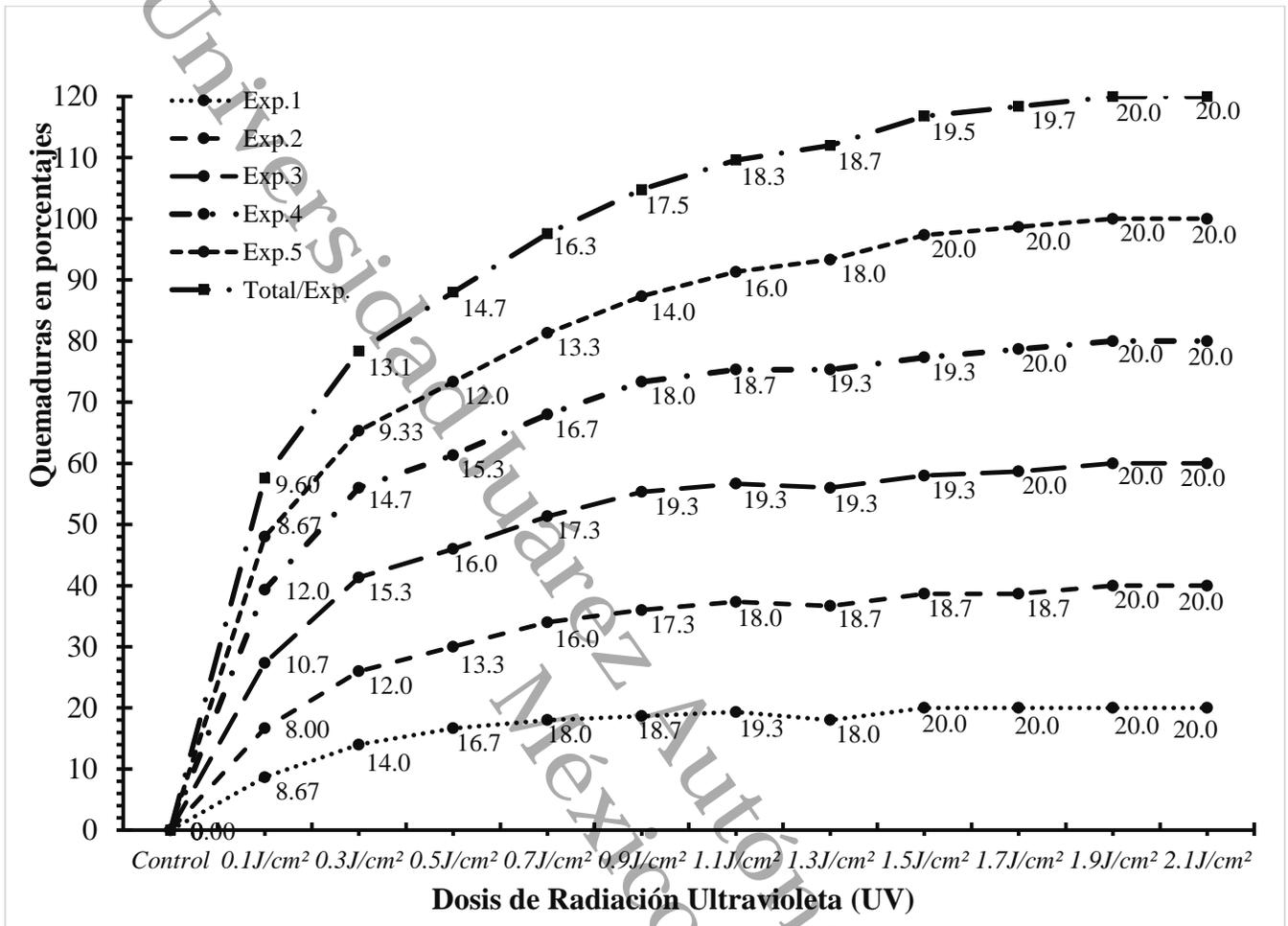
Estadísticamente, en ambos análisis, de acuerdo a un análisis de varianza de una vía (ANOVA) y una prueba de comparación múltiple de Tukey, los valores presentes de clorosis en las diferencias de los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo esperado, existe una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0.001$ ), con la prueba de comparación múltiple a través de la prueba de Tukey, se observó las comparaciones para el factor:  $2.1 J/cm^2$  vs control y  $0.1 J/cm^2$ , en esta prueba se observa una normalidad entre los valores ( $P < 0.050$ ). En los análisis realizados a los niveles de quemaduras necróticas; en el análisis de varianza existe una diferencia significativa de ( $P = <0.001$ ), mientras que en la comparación múltiple de Tukey los tratamientos  $1.9 J/cm^2$ ,  $2.1 J/cm^2$ ,  $1.7 J/cm^2$ ,  $1.5 J/cm^2$ ,  $1.3 J/cm^2$ ,  $1.1 J/cm^2$ ,  $0.9 J/cm^2$ ,  $0.7 J/cm^2$ ,  $0.5 J/cm^2$ ,  $0.3 J/cm^2$  y  $0.1 J/cm^2$  ( $P < 0.050$ ). En ambos análisis, los valores obtenidos de clorosis y quemaduras necróticas, están representados en la **Tabla 14**; y esquematizadas a través de graficas de líneas representadas en las **Figura 27** y **28**; para observar la manera en la que se fueron presentando los efectos de la radiación UV, sobre las plántulas irradiadas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

**Tabla 14. Clorosis** promedio en porcentajes (%) y plantas con **quemaduras**, sobre el área foliar de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas a diferentes dosis de radiación UV.

<b>Experimentos</b>						
<b>Clorosis Sobre el Área Foliar</b>						
Tratamientos	I%	II%	III%	IV%	V%	Promedios/Exp ± DE
Control	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
0.1 J/cm <sup>2</sup>	4.00±3.65	4.00±4.79	4.00±2.79	6.67±2.37	6.00±3.65	4.93±1.30
0.3 J/cm <sup>2</sup>	5.33±4.47	5.33±1.83	6.67±5.27	7.33±5.48	7.33±8.30	6.40±1.01
0.5 J/cm <sup>2</sup>	6.00±4.35	6.00±1.49	7.33±3.65	8.00±7.67	8.00±7.67	7.07±1.01
0.7 J/cm <sup>2</sup>	6.00±7.23	6.00±4.35	8.00±5.06	6.00±5.96	8.67±6.06	6.93±1.30
0.9 J/cm <sup>2</sup>	7.33±7.60	7.33±6.41	7.33±6.41	8.00±8.03	9.33±6.41	7.87±0.87
1.1 J/cm <sup>2</sup>	10.0±8.16	10.0±8.16	10.0±8.16	10.0±5.09	12.0±9.01	10.4±0.89
1.3 J/cm <sup>2</sup>	12.0±5.44	12.0±5.44	12.0±5.44	12.0±5.44	13.3±3.19	12.3±0.60
1.5 J/cm <sup>2</sup>	14.0±9.57	13.3±9.43	14.0±9.57	14.0±5.69	14.0±9.57	13.9±0.30
1.7 J/cm <sup>2</sup>	12.7±4.71	14.7±4.71	13.3±4.71	14.7±4.71	14.7±4.71	14.0±0.94
1.9 J/cm <sup>2</sup>	13.3±9.43	16.0±4.71	15.3±5.00	15.3±5.00	16.0±5.77	15.2±1.10
2.1 J/cm <sup>2</sup>	16.7±7.70	16.7±8.33	15.3±1.67	16.0±2.72	16.7±5.69	16.3±0.60
<b>Quemaduras sobre el Área Foliar</b>						
Control	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
0.1 J/cm <sup>2</sup>	8.67±1.83	8.00±1.92	10.7±3.33	12.0±9.62	8.67±3.33	9.60±1.67
0.3 J/cm <sup>2</sup>	14.0±4.19	12.0±5.00	15.3±5.00	14.7±1.67	9.33±1.92	13.1±2.43
0.5 J/cm <sup>2</sup>	16.7±1.92	13.3±1.67	16.0±3.33	15.3±1.92	12.0±1.67	14.7±1.94
0.7 J/cm <sup>2</sup>	18.0±3.85	16.0±8.77	17.3±0.00	16.7±3.85	13.3±1.67	16.3±1.80
0.9 J/cm <sup>2</sup>	18.7±1.67	17.3±6.38	19.3±3.19	18.0±5.00	14.0±1.67	17.5±2.08
1.1 J/cm <sup>2</sup>	19.3±3.19	18.0±1.92	19.3±2.72	18.7±1.92	16.0±3.19	18.3±1.38
1.3 J/cm <sup>2</sup>	18.0±6.38	18.7±6.87	19.3±2.72	19.3±6.38	18.0±6.38	18.7±0.67
1.5 J/cm <sup>2</sup>	20.0±4.30	18.7±4.19	19.3±1.92	19.3±2.72	20.0±4.30	19.5±0.56
1.7 J/cm <sup>2</sup>	20.0±2.72	18.7±3.85	20.0±3.19	20.0±1.92	20.0±2.72	19.7±0.60
1.9 J/cm <sup>2</sup>	20.0±3.19	20.0±1.67	20.0±1.67	20.0±0.00	20.0±3.19	20.0±0.00
2.1 J/cm <sup>2</sup>	20.0±1.67	20.0±1.67	20.0±1.92	20.0±0.00	20.0±1.67	20.0±0.00
D. E. Desviación estándar, % porcentajes.						

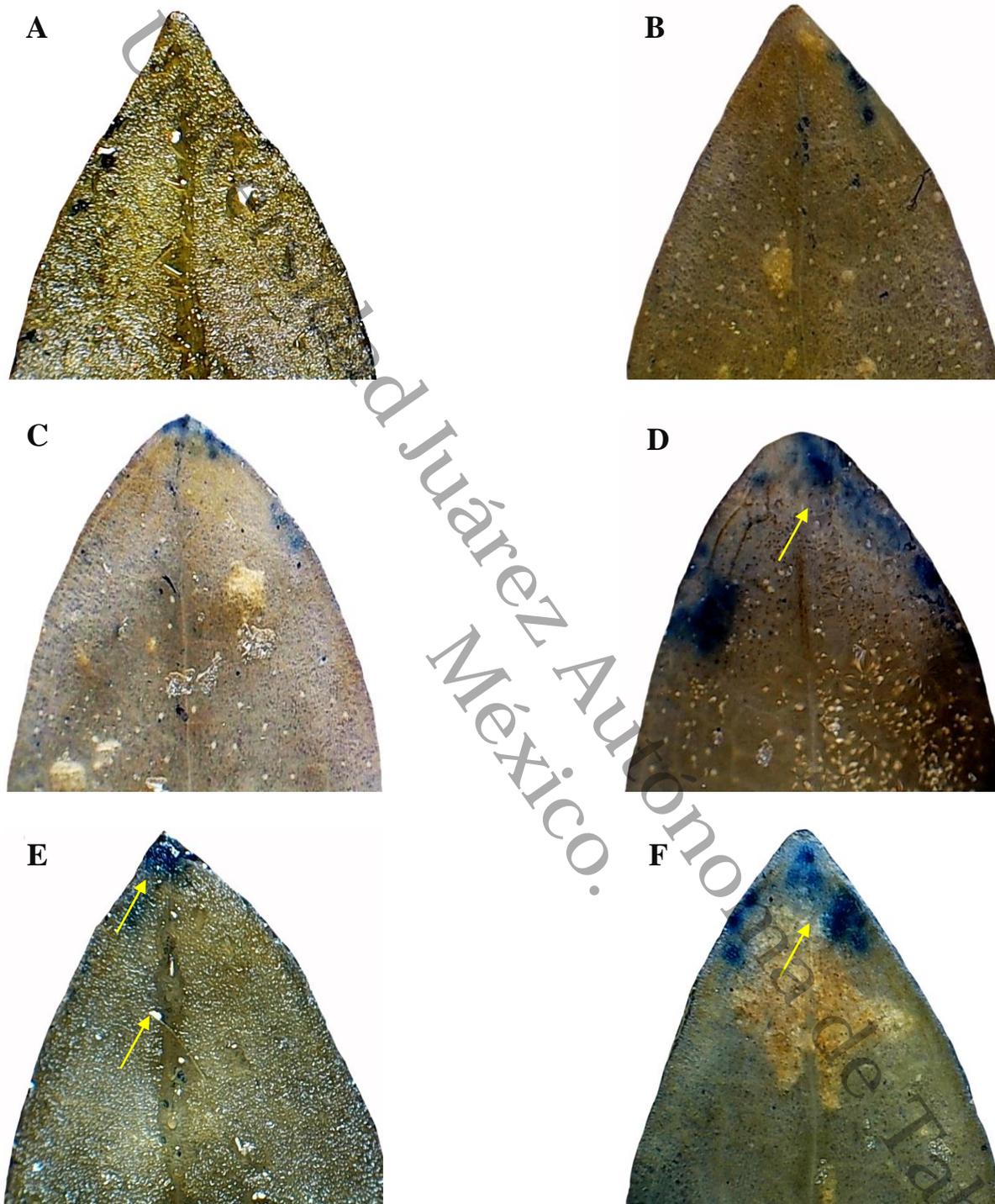


**Figura 27.** Porcentajes de clorosis, sobre el área foliar de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con diferentes dosis de radiación UV. La gráfica representa los 11 dosis de radiación UV, más un tratamiento control. Se representan los cinco experimentos realizados para este fin y también se grafican los promedios totales por cada experimento. En todos los experimentos, los mayores efectos se observaron en las dosis 1.7 J/cm<sup>2</sup>, 1.9 J/cm<sup>2</sup> y 2.1 J/cm<sup>2</sup> en comparación con los tratamientos control.

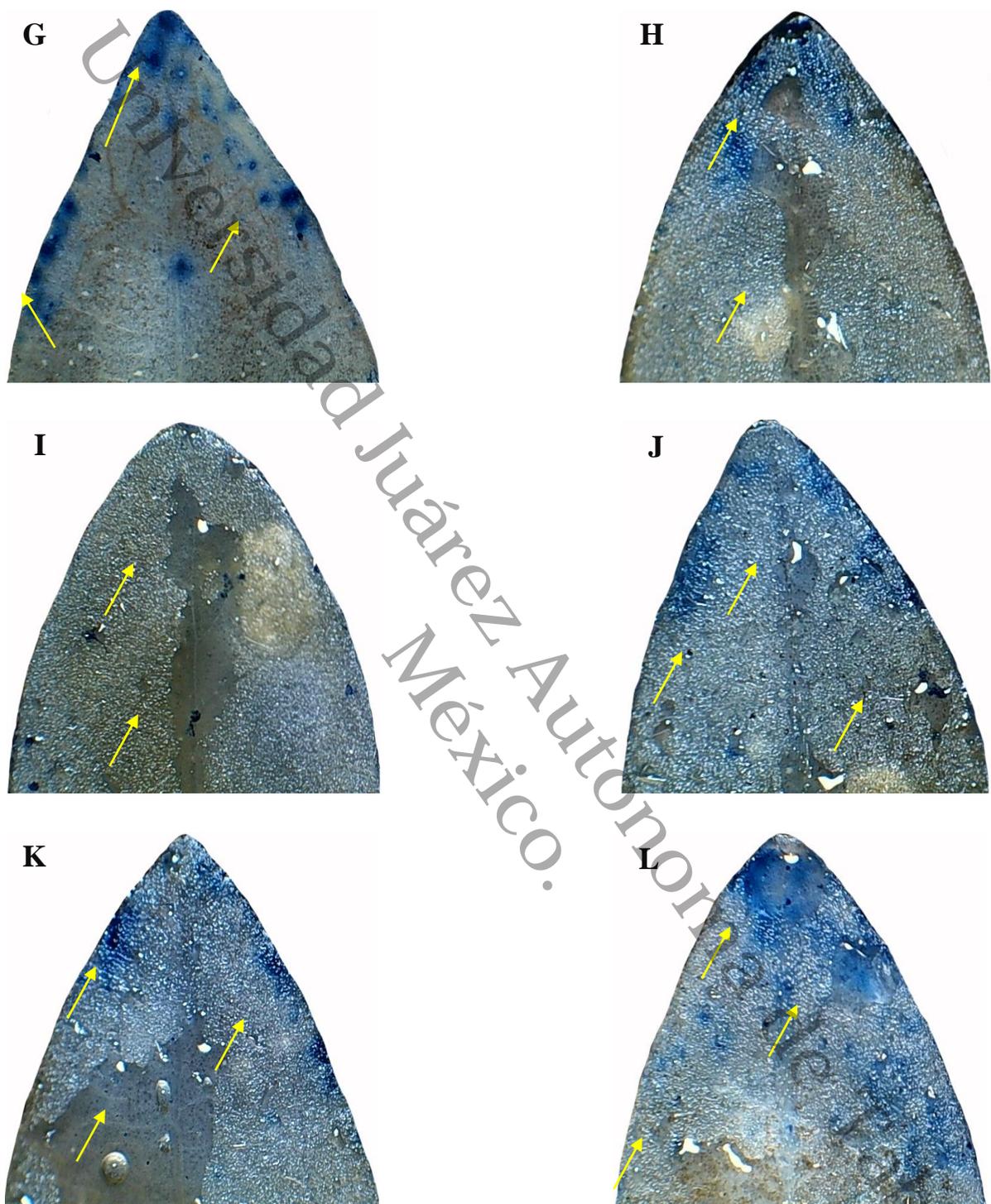


**Figura 28.** Porcentajes de quemaduras necróticas sobre el área foliar en plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con 11 diferentes dosis de radiación UV, representadas en la gráfica, más un tratamiento control; se representan los cinco experimentos y se grafican los promedios totales por cada experimento. En todos los experimentos, los mayores efectos se observaron en las dosis 1.7 J/cm², 1.9 J/cm² y 2.1 J/cm² en comparación con los tratamientos control.

La Viabilidad Celular por Tinción con Azul de tripano, funciona de tal manera que las partes del tejido que cambian a color azul, son los sitios en donde hay células muertas causadas por el agente causal. En el análisis realizado para conocer estos efectos sobre las hojas irradiadas de nuestra planta de estudio; Los resultados observados en este estudio fueron nulos en los tratamientos  $0.1 \text{ J/cm}^2$ ,  $0.3 \text{ J/cm}$  y  $0.5 \text{ J/cm}$ , representados en la **Figura 29-fotografías “b”, c y d**” y en donde las hojas no mostraron coloración azul lo que indica que no hubo muerte de tejido celular; en los tratamientos siguientes  $0.7 \text{ J/cm}$ ,  $0.9 \text{ J/cm}$  y  $1.1 \text{ J/cm}$ , representados en las **Figura 29 y 30-fotografías “e, f y g”** se observó la aparición de tejido muerto, debido a que aparecieron partes de las hojas de color azul, sobre todo a la altura de los ápices y de los haz, lo que indica la presencia de células apoptóticas o que han muerto como consecuencia de un agente externo, en este caso por la luz UV; por último en los tratamientos  $1.3 \text{ J/cm}$ ,  $1.5 \text{ J/cm}$ ,  $1.7 \text{ J/cm}$ ,  $1.9 \text{ J/cm}$  y  $2.1 \text{ J/cm}$ , representados en la **Figura 30-fotografías “h, i, j, k y l”**; los efectos fueron mayores, al aparecer extensas áreas cubiertas de azul y el colapso de membranas de epidermis en el lado adaxial a la altura del envés, limbo y nervios; además de presentar disminución de cloroplastos y la morfología de los estomas en la epidermis da ambos lados de las hojas fue distorsionada de manera considerable, en comparación con las hojas de los tratamientos control.



**Figura 29.** Microfotografías de hojas de tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con luz UV y posteriormente teñidas con el colorante azul de tripano, con el objetivo de conocer el daño causado por la luz, a nivel extracelular e intracelular; la primer imagen corresponde al tratamiento control (A), las imágenes (B, C y D), correspondientes a los tratamientos 0.1, 0.3 y 0.5,  $J/cm^2$  respectivamente, en ellas no hay daño aparente. En los tratamientos 0.7 y 0.9  $J/cm^2$ , (E y F), se observan la presencia de tejido celular muerto (partes teñidas de color azul y señalado por las flechas), de acuerdo a la diferenciación del tejido, el efecto negativo de la UV, se observó con mayor incidencia en los ápices y sobre el lado adaxial de las hojas de los ejemplares irradiados. El resto de los tratamientos se ilustran en la siguiente página (Figura 30).



**Figura 30.** Segunda parte de microfotografías de hojas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con luz UV y teñidas con azul de tripano para conocer el daño sobre el material celular a nivel extracelular e intracelular. En el tratamiento 1.1  $J/cm^2$ , el daño sobre las hojas, incrementó el área afectada a como se observa en la imagen (G), en los tratamientos 1.3 (H), 1.5 (I), 1.7 (J), 1.9 (K), y 2.1  $J/cm^2$  (L), se presentó el mayor daño por la luz UV, ya que las hojas además de presentar tejido celular muerto, presentaron colapso de la membrana de epidermis en el lado adaxial a la altura del envés, limbo y nervios, lo que se señala con las flechas de color amarillo.

### 8.1.8. Caracterización de los Efectos de la Radiación UV, Sobre sobre la Concentración de Clorofila *a*, Clorofila *b* y los Carotenoides de Germinados Tempranos

Se obtuvieron 50 muestras de clorofila de cada tratamiento, más 50 del tratamiento control; haciendo un total de 600 réplicas; obtenidas de la combinación de  $0.96 \pm 0.63$  grs en promedio de material foliar de cada una de las plántulas de tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., los niveles de clorofila *a* son superiores en comparación con los niveles de clorofila *b*, en todas las dosis de radiación UV y que los niveles de concentración de carotenoides son parecidos a los niveles de clorofila *a*; tomando como referencia los niveles del tratamiento control de 34.0  $\mu\text{g/ml}$ , para clorofila *a*; en los ejemplares del tratamiento 0.1  $\text{J/cm}^2$  hubo una caída de 0.2  $\mu\text{g/ml}$  en los niveles obtenidos de  $33.8 \pm 5.73$  en comparación con el tratamiento control; Posteriormente en el tratamiento 0.3  $\text{J/cm}^2$  con 34.2  $\mu\text{g/ml}$ , los valores de esta clorofila aumentaron 0.2  $\mu\text{g/ml}$ , en el tratamiento 0.5  $\text{J/cm}^2$ , se obtuvo un valor de 35.7  $\mu\text{g/ml}$ ; a partir de los tratamientos 0.7  $\text{J/cm}^2$  hasta el tratamiento 2.1  $\text{J/cm}^2$  los niveles de clorofila aumentaron desde 41.5  $\mu\text{g/ml}$  hasta 48.5  $\mu\text{g/ml}$ , respectivamente, lo cual se puede observar en la **Tabla 15** y en la **Figura 31**. Para los niveles de clorofila *b*, aplicando la fórmula recomendada Lichtenthaler & Buschmann (2001), los niveles son inferiores en comparación con la clorofila *a*; el tratamiento control mostró un valor de 15.8  $\mu\text{g/ml}$ , el tratamiento 0.1  $\text{J/cm}^2$  13.3  $\mu\text{g/ml}$ , lo que representa una disminución de 2.5  $\mu\text{g/ml}$ , los tratamientos 0.3  $\text{J/cm}^2$  y 0.5  $\text{J/cm}^2$ , presentaron valores de 16.2  $\mu\text{g/ml}$  y 16.5  $\mu\text{g/ml}$ , respectivamente; a partir de los tratamientos 0.7  $\text{J/cm}^2$  al tratamiento 2.1  $\text{J/cm}^2$ , los valores incrementaron desde 20.8  $\mu\text{g/ml}$  hasta 29.1  $\mu\text{g/ml}$ , respectivamente, a como se observa en la **Tabla 15** y en la **Figura 31**.

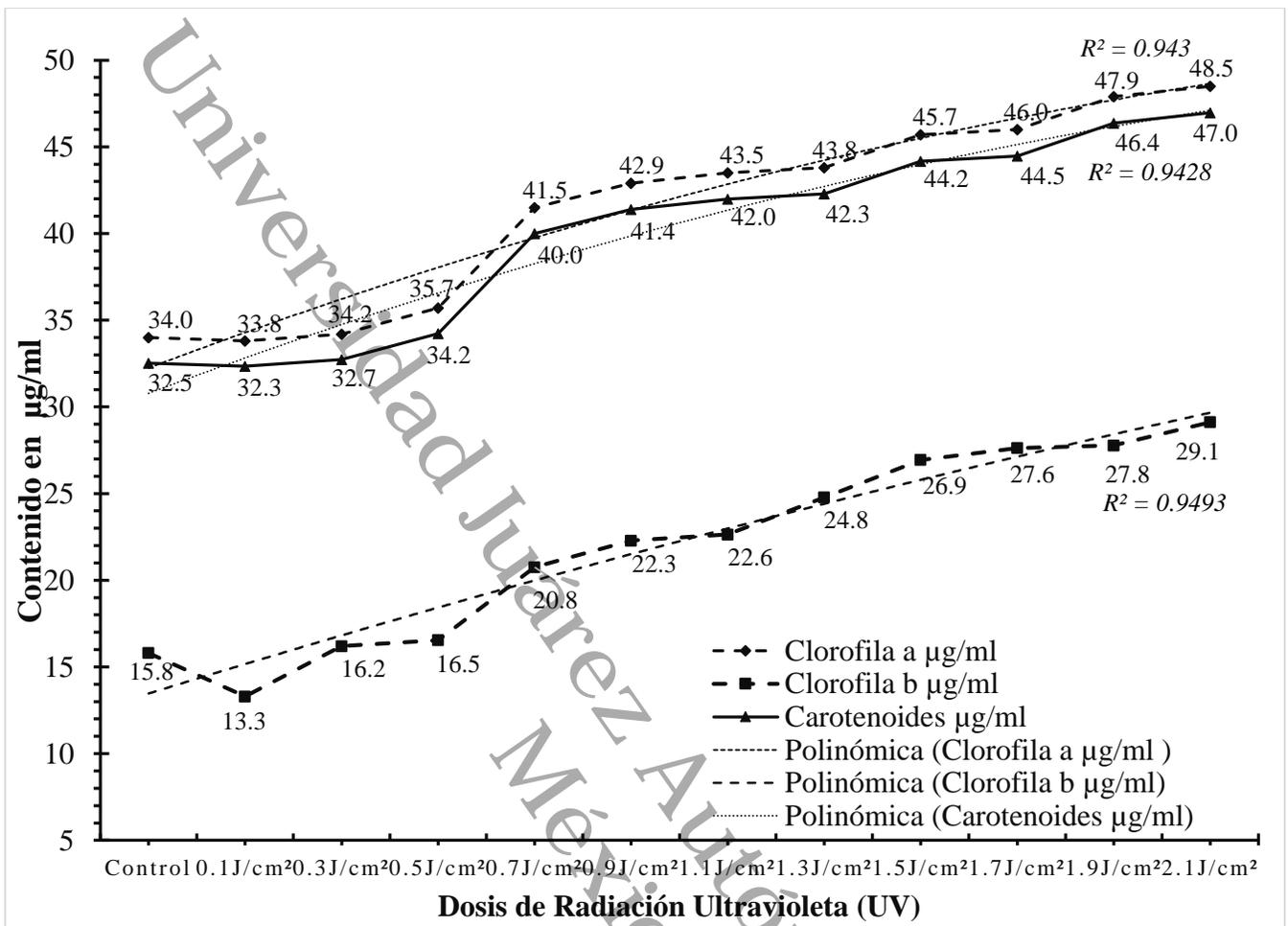
En la extracción de carotenoides de acuerdo, los resultados obtenidos muestran que el tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., posee niveles de 32.5  $\mu\text{g/ml}$ , pero en caso de condiciones de estrés, aumentan sus niveles normales; lo anterior se pudo observar a partir de los tratamientos 0.3  $\text{J/cm}^2$  con una concentración de 32.7  $\mu\text{g/ml}$  y el tratamiento 0.5  $\text{J/cm}^2$  con 34.2  $\mu\text{g/ml}$ ; a partir del tratamiento 0.7  $\text{J/cm}^2$  hasta el tratamiento 2.1  $\text{J/cm}^2$  las concentraciones aumentaron desde 40.0  $\mu\text{g/ml}$  hasta 47.0  $\mu\text{g/ml}$ , respectivamente. Los resultados descritos para clorofila *a*, clorofila *b* y carotenoides se representan en la **Figura 31**, a través de una gráfica con una línea de tendencia polinómica para cada una de las variables en estudio y en donde los valores para ( $R^2$ ) son:  $R^2 = 0.943$ ,  $R^2 = 0.942$  y  $R^2 = 0.949$ , respectivamente. Por último con los valores para clorofila *a*, clorofila *b* y carotenoides; estadísticamente de acuerdo a un análisis de varianza de una vía (ANOVA), un análisis de rangos con la prueba de Kruskal-Wallis y una análisis de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk, las diferencias en los valores entre los grupos de tratamientos no son lo suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se

deba a la variabilidad del muestreo aleatorio y no hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = 0.664$ ), en el análisis de rangos con la prueba de Kruskal-Wallis las diferencias entre los valores medios entre los grupos de tratamientos no son lo suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio y no existe una diferencia estadísticamente significativa ( $P = 0.490$ ). En base a los resultados antes descritos, se ha visto que las plantas elevan sus niveles de clorofila y carotenoides, como respuesta estratégica para contrarrestar los efectos negativos a nivel foliar y celular causados por los niveles de incidencia de la radiación UV.

**Tabla 15.** Promedio de los niveles de clorofila *a* µg/ml, clorofila *b* (µg/ml) y carotenoides µg/ml de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiados a diferentes dosis de luz UV e intervalos de tiempo

Tratamientos	Clorofila ( <i>a</i> ) µg/ml	Clorofila ( <i>b</i> ) µg/ml	Carotenoides µg/ml
	± DE	± DE	±DE
Control	34.0±9.77	15.8±6.40	32.5±1.04
0.1J/cm <sup>2</sup>	33.8±5.73	13.3±8.30	32.3±1.03
0.3J/cm <sup>2</sup>	34.2±8.38	16.2±7.30	32.7±1.04
0.5J/cm <sup>2</sup>	35.7±5.35	16.5±3.80	34.2±1.04
0.7J/cm <sup>2</sup>	41.5±8.27	20.8±8.70	40.0±1.06
0.9J/cm <sup>2</sup>	42.9±8.10	22.3±6.10	41.4±1.06
1.1J/cm <sup>2</sup>	43.5±8.00	22.6±3.40	42.0±1.96
1.3J/cm <sup>2</sup>	43.8±4.60	24.8±9.20	42.3±1.07
1.5J/cm <sup>2</sup>	45.7±1.95	26.9±8.40	44.2±1.08
1.7J/cm <sup>2</sup>	46.0±1.59	27.6±5.50	44.5±1.08
1.9J/cm <sup>2</sup>	47.9±3.51	27.8±0.90	46.4±1.08
2.1J/cm <sup>2</sup>	48.5±1.20	29.1±9.20	47.0±1.09

µg: Microgramos, ml: Mililitros, D. E. Desviación estándar.



**Figura 31.** Efectos de la Radiación UV sobre la clorofila *a*, clorofila *b* y carotenoides en plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., irradiadas con diferentes dosis de radiación UV y las líneas de tendencia del coeficiente de determinación  $R^2$ .

## 8. 9. DISCUSIÓN

Los efectos de la radiación UV en dosis altas e intervalos de tiempo prolongados causan efectos negativos sobre las semillas en el exterior e interior de acuerdo con Carrasco-Ríos (2009); estos efectos se observaron a partir del tratamiento  $0.3 \text{ J/cm}^2$  al  $1.3 \text{ J/cm}^2$  con semillas de  $0.58 \pm 0.06 \text{ mm}$  a  $0.55 \pm 0.05 \text{ mm}$ , respectivamente; mientras que el tratamiento  $2.1 \text{ J/cm}^2$ , se observó un tamaño promedio de  $0.59 \pm 0.06 \text{ mm}$ ; en comparación con el tratamiento control  $0.62 \pm 0.09 \text{ mm}$ , la circunferencia promedio de las semillas fue de  $0.57 \pm 0.01 \text{ mm}$ . Por la otra parte los efectos a nivel interno mostraron que la radiación UV causó se observaron desde los tratamientos  $0.9 \text{ J/cm}$ ,  $1.1 \text{ J/cm}$ ,  $1.3 \text{ J/cm}$ ,  $1.5 \text{ J/cm}$ ,  $1.7 \text{ J/cm}$ ,  $1.9 \text{ J/cm}$  y  $2.1 \text{ J/cm}$ , tales alteraciones se caracterizaron por presentar deformaciones en los embriones de las semillas irradiadas, causando un envejecimiento acelerado (Foroughbackhch-Pournavab *et al.* 2015 y 2019) en comparación con los tratamientos control; mientras que en los tratamientos  $0.1 \text{ J/cm}$ ,  $0.3 \text{ J/cm}$ ,  $0.5 \text{ J/cm}$  y  $0.7 \text{ J/cm}^2$ ; no causó efecto alguno internamente; Gandhi *et al.* (2019), reporta un impacto negativo en los parámetros fisiológicos de *C. arietinum L.* y *M. uniflorum L.*, causados por radiación UV.

En el otro contexto, el efecto de la radiación UV, sobre la germinación del tomatillo silvestre *S. lycopersicum L.*, Luckey (1980), estipuló que la aplicación subletal de un agente capaz de inducir un estrés físico o químico puede generar respuestas positivas en el germoplasma; los resultados observados en este trabajo y en comparación con los tratamientos control, sugieren que la radiación UV, causó un efecto estimulador en las semillas irradiadas; el porcentaje promedio de germinación en los tratamientos control fue de  $74.4 \pm 3.59$ , en comparación con el pico más alto de germinación que se observó en las semillas irradiadas a  $0.5 \text{ J/CM}^2$ , presentando germinación de  $80.6 \pm 3.59$ , seguidas del tratamiento  $1.7 \text{ J/CM}^2$  con  $78.9 \pm 2.89$ ,  $1.5 \text{ J/CM}^2$  con  $76.7 \pm 4.02$  y el tratamiento  $0.9 \text{ J/CM}^2$  con  $76.7 \pm 3.85$  de germinación; en ese contexto Krizek, (1975), establece que la radiación no afecta el proceso de germinación y crecimiento temprano negativamente de las plántulas de tomate *L. esculentum* Mill, *Raphanussativus L. cv.*, Noble, (2002); establece que la luz UV aceleró la germinación de las semillas, pero el crecimiento posterior de las plántulas se retrasó notablemente, lo cual lo comprobó en semillas de col, rábano y agave, lo que es similar a lo reportado por Ballaré *et al.* (1995), quien estudió la inhibición de la elongación del hipocotilo por radiación ultravioleta B y encontró una inhibición del alargamiento del hipocotilo de plántulas de tomate *L. esculentum*, Díaz-Leyva *et al.* (2017), irradiaron semillas de tomate con UV-B y UV-C, en donde la primera estimuló la cantidad de plántulas germinadas y normales, mientras que la segunda causó efectos negativos en la emergencia y cantidad de plántulas normales; Hock *et al.* (2015), evaluaron la germinación de semillas tratadas con UV-B, de dos pares de especies congénicas del género *Echium*

(Boraginaceae) y *Verbascum* (Scrophulariaceae); observando una mayor germinación final en comparación con otras especies control, por último Gandhi *et al.* (2019), utilizó semillas de *C. arietinum* L. y *M. uniflorum* L., para este mismo objetivo y observó resultados positivos en la germinación, debido a que esta fue mayor en las semillas estuvieron en contacto con la UV-B que los tratamientos controles; contrario a lo antes mencionado Tevinj *et al.* (1982), reporto inhibición en el crecimiento de hipocotilos de semillas de *Cucumis sativus*, *Phaseolus vulgaris* y *Raphanus sativus* irradiadas con UV-B, durante varios días. En base a estos resultados podemos establecer que la radiación UV, causa un efecto positivo en la germinación de semillas, pero un efecto negativo en el crecimiento de las plántulas germinadas de semillas irradiadas.

El efecto de la radiación UV, sobre las células de radículas de semillas irradiadas, pueden ser directos e indirectos y se han detectado daños en diferentes estructuras celulares, como las membranas celulares (Kravets *et al.* 2012 y Tuteja *et al.* 2009); en ese contexto los resultados observados permitieron conocer las alteraciones que la radiación UV, causó en cada una de las fases del ciclo celular; desde el desplazamiento de los núcleos hacia los extremos de las células en la interfase y profase, la distribución y arrastre atípico de los complementos cromosómicos en la metafase, anafase y telofase hasta la separación atípica de los nuevos cuerpos celulares de la citocinesis, en los tratamientos 1.7 J/cm<sup>2</sup>, 1.9 J/cm<sup>2</sup> y 2.1 J/cm<sup>2</sup>; estos efectos negativos en las células puede ser de acuerdo con Logemann, *et al.* (1995), a que la síntesis de la unidad estructural de la cromatina denominada nucleosoma, es reprimida de manera transcripcional por la radiación UV; además de que esta retrasa el ciclo celular, afectando las fases S, G1 y G2, lo que puede ser por la correlación entre la disrupción entre el microtubulo cortical y el retraso en la síntesis del ADN (Staxén *et al.* 1993), en base a estos resultados podemos establecer el efecto negativo de la radiación UV sobre el ciclo celular del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., lo que afecta el crecimiento y el desarrollo de los organismos terrestres (Tuteja *et al.* 2009).

Los resultados de los experimentos realizados para conocer la sobrevivencia, mostraron una sobrevivencia de 40.8±5.56 y una mortandad promedio de 59.2±7.0, en comparación con los tratamientos control que no presentaron mortandad; presentándose la mayor sobrevivencia a las 24 horas en los tratamientos 0.1, 0.3 y 0.5 J/cm<sup>2</sup> con porcentajes de 0.00±0.00, 0.00±0.00 y 2.00±2.98 respectivamente; mismos que al séptimo día de los experimentos presentaron sobrevivencia de 78.8±6.90, 70.4±9.17 y 64.6±9.34, respectivamente; en contrataste los porcentajes más altos de mortandad se presentaron a las 24 horas, en los tratamientos 1.7 J/cm<sup>2</sup>, 1.9 J/cm<sup>2</sup> y 2.1 J/cm<sup>2</sup> con 60.0±9.13, 69.3±9.83 y 75.3±7.67 respectivamente, dosis que al contabilizarse al quinto día, presentaron 0.00% de organismos vivos o con fotorreactivación; en relación a lo reportado por Smith *et al.* (2000); Kakani *et al.* (2003) y Piri *et al.* (2011), en otras especies

vegetales, se comprueba el efecto negativo que la radiación UV, sobre la sobrevivencia de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., de la manera en que Verdaguer *et al.* 2017, lo ha descrito y en la que también menciona que existen factores como la hora del día, la posición de la hoja, crecimiento, temperatura, ontogenia, especie que juegan un papel crucial en el estrés causado por la radiación UV, sobre las plantas; y es que las respuestas fisiológicas de los organismos irradiados por lo general dependen de los fotorreceptores como el fitocromo que juega un papel importante en la fotoprotección (Hollósy, 2002; Verdaguer *et al.* 2017) y el locus 8 de resistencia al UV (UVR8), que es un mediador entre las respuestas fotomorgénicas a la UV, por la transcripción de genes, de acuerdo a (Rizzini *et al.* 2011; Hayes *et al.* 2014; Jenkins, 2014; Findlay & Jenkins, 2016). La sobrevivencia más alta se observó en los primeros tres tratamientos, en cada uno de los cinco experimentos; lo que indica que hubo la presencia de fotorreactivación, por acción de la enzima fotoliasa (Häder & Sinha, 2005), conocido como el mejor mecanismo de reparación (Sanz-Murillo *et al.* 2018); además de la presencia de reparación por escisión de nucleótidos y reparación por escisión de bases (Tuteja *et al.* 2009), estos procesos se relacionan con cambios en la expresión de genes y que incluye la reparación de enzimas, proteínas y el ADN (Kravets *et al.* 2012).

El crecimiento de las plantas es regulado por diversos factores, como las hormonas de crecimiento que desempeñan una esencial función en la arquitectura y metabolismos de las plantas (Vanhaelewyn *et al.* (2016); Giordano *et al.* (2004) tal es el caso de las auxinas, involucradas en procesos de desarrollo como elongación y diferenciación celular, desarrollo de las hojas, crecimiento de raíces entre otras funciones (Jansen, 2002), los brasinosteroides, que desempeñan funciones en todas las fases del desarrollo de las plantas (PengZhu *et al.* 2013), las giberelinas (Hauvermale *et al.* 2012), el ácido abscísico (Bandurska *et al.* 2013) y el etileno (Sun *et al.* 2011); que actúan en conjunto como mediadores entre los efectos de la UV-B en las plantas, principalmente en el estrés asociado en la fotoprotección (Vanhaelewyn *et al.* 2016). En ese sentido la **Figura 26**, representa la gráfica de la manera en que se manifestó la alteración o interrupción del crecimiento de las plántulas irradiadas; por cada experimento realizado, en donde se observó que la radiación UV, detiene el crecimiento temprano en las plántulas, como consecuencia del estrés oxidativo y la limitación de los fotorreceptores para contrarrestar dichas alteraciones, como la disminución de los niveles de clorofila, aumento de clorosis y lesiones necróticas sobre el material foliar; estos efectos se pudieron observar en altos porcentajes en los tratamientos con las dosis más altas, lo cual se puede observar en la **Tabla 13**.

En los niveles de clorosis y quemaduras sobre el material foliar; se observó que los mayores efectos de clorosis se presentaron en los tratamientos  $1.7 J/cm^2$ ,  $1.9 J/cm^2$  y  $2.1 J/cm^2$  con valores promedios de  $14.0 \pm 0.94$ ,  $15.2 \pm 1.10$  y  $16.3 \pm 0.60$  respectivamente, de igual manera los mayores efectos de quemaduras necróticas se observaron en estos mismos tratamientos, con promedios de  $19.7 \pm 0.60$ ,  $20.0 \pm 0.00$  y  $20.0 \pm 0.00$ ; se observó un encrespamiento y áreas de color marrón en el lado adaxial de las hojas de plántulas expuestas a la radiación UV, lo que es similar a lo reportado por dos Santos *et al.* (2015), como consecuencia de estos efectos descritos, el deterioro del material foliar fue notorio y en base a estos podemos establecer que la reducción del área foliar (Václavík *et al.* 2017), es una respuesta fotomorgénica que puede limitar el daño causado por la radiación UV sobre los tejidos foliares de las hojas, lo que sucede como el resultado de cambios en el alargamiento y la división celular, como consecuencia de la disminución de la proporción de células mitóticas activas y por consecuencia mayor tiempo para la división celular (Hossain *et al.* 2015), como consecuencia del estrés oxidativo, en el deterioro del área foliar desempeñan un papel fundamental los cloroplastos y las mitocondrias; los cloroplastos están involucrados en diferentes procesos de muerte celular como la senescencia de las hojas, mientras que las mitocondrias al ser sometidas a fuertes condiciones de estrés le provocan cambios en el potencial transmembranal mitocondrial liberando citocromo c en el espacio intermembranal, lo que activa la actividad de las enzimas caspasas, ocasionando la muerte celular (Nawkar *et al.* 2013).

En el análisis histológico, con el colorante azul de tripano, podemos determinar que en base a los resultados observados, los tratamientos se dividieron en tres grupos (“a, b y c”) de acuerdo a los daños presentados a nivel extracelular e intracelular; en el **Grupo “a”**, constituido por los tratamientos  $0.1 J/cm^2$ ,  $0.3 J/cm^2$ , y  $0.5 J/cm^2$ , no se observó alteración en ninguno de los tejidos; en el **Grupo “b”**, constituido por los tratamientos  $0.7 J/cm^2$ ,  $0.9 J/cm^2$ , y  $1.1 J/cm^2$ , se observó un mayor daño en el tejido celular, al observarse extensas áreas cubiertas con el colorante a nivel externo, lo que indica muerte del tejido celular, lo que concuerda con lo reportado por Sidler *et al.* (2015); En un análisis realizado en *A. thaliana*; por último en el **Grupo “c”**, conformado por los tratamientos  $1.3 J/cm^2$ ,  $1.5 J/cm^2$ ,  $1.7 J/cm^2$ ,  $1.9 J/cm^2$  y  $2.1 J/cm^2$ , el daño fue complejo al observarse desde muerte de tejido celular, colapso de membranas epidérmicas hasta la disminución de cloroplastos y estomas en su tamaño que de acuerdo a lo reportado por Staxén *et al.* (1993); Lesser & Shich (1990) y en base a estos resultados podemos establecer los daños físicos a nivel interno y externo causados por la radiación UV, sobre las hojas de plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L.

La clorofila, como el pigmento responsable de la adsorción de la luz durante la fotosíntesis y su metabolismo puede ser dividido en tres fases: biosíntesis, el ciclo de la clorofila y la degradación de esta (Lira *et al.* 2014), los análisis para el estudio de la concentración de sus niveles en organismos vegetales, datan desde 1903 con Mikhail Tsweet (Wellburn, 1994); en el tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., los niveles de clorofila *a* son superiores a los de clorofila *b*, lo que hace que este análisis concuerde con lo reportado por (Lira *et al.* 2014), en un estudio realizado en tomate *S. lycopersicum* L (cv. MicroTom), de igual manera (Csepregi *et al.* 2017), en un estudio similar, empleando hojas de *A. thaliana* expuestas radiación UV, observaron que el contenido de clorofila aumento en 67% más, en relación a las hojas que no fueron sometidas a radiación UV, lo que de acuerdo con Pérez-Patricio *et al.* (2018), indican que altos niveles de clorofila, absorben más energía en forma de luz; lo que concuerda a lo reportado en esta investigación en donde los niveles de clorofila *a*, tomando como referencia los niveles del tratamiento control de 34.0 µg/ml y que es similar a lo reportado por Medawar *et al.* (2016); que reportan 26.22 µg/ml de clorofila en plantas de tomate, en condiciones de invernadero; en los ejemplares del tratamiento 0.1 J/cm<sup>2</sup> hubo una disminución de 0.2 µg/ml en los niveles mostrados de 33.8±5.73 en comparación con el tratamiento control; en el tratamiento 0.3 J/cm<sup>2</sup> con 34.2 µg/ml, los valores de esta clorofila aumentaron 0.2 µg/ml, en el tratamiento 0.5 J/cm<sup>2</sup>, se obtuvo un valor de 35.7 µg/ml y a partir del tratamiento 0.7 J/cm<sup>2</sup> hasta el tratamiento 2.1 J/cm<sup>2</sup> los niveles de clorofila aumentaron desde 41.5 µg/ml hasta 48.5 µg/ml, respectivamente. Los niveles de clorofila *b*, son inferiores en comparación con la clorofila *a*; el tratamiento control presenta un valor de 15.8 µg/ml, el tratamiento 0.1 J/cm<sup>2</sup> 13.3 µg/ml de este pigmento, representando una disminución de 2.5 µg/ml, los tratamientos 0.3 J/cm<sup>2</sup> y 0.5 J/cm<sup>2</sup>, presentaron valores de 16.2 µg/ml y 16.5 µg/ml, respectivamente; a partir de los tratamientos 0.7 J/cm<sup>2</sup> hasta el 2.1 J/cm<sup>2</sup>, los valores incrementaron desde 20.8 µg/ml hasta 29.1 µg/ml, respectivamente; estos valores son inferiores a los reportados por Rodriguez *et al.* (1998); que reportan valores de 15.75 mg a 53.93 mg, en condiciones normales y empleando hojas con niveles de clorosis; esto quiere decir que en el caso de nuestra investigación, la luz UV ha causado un decremento en la concentración de los niveles de clorofila a consecuencia del estrés causado por el agente antes mencionado.

Los carotenoides en condiciones normales presentan 32.5 µg/ml, pero en caso de condiciones de estrés, aumentan las concentraciones; lo que se observó a partir del tratamiento 0.3 J/cm<sup>2</sup> con 32.7 µg/ml y en el tratamiento 0.5 J/cm<sup>2</sup> con 34.2 µg/ml; a partir del tratamiento 0.7 J/cm<sup>2</sup> hasta el 2.1 J/cm<sup>2</sup> las concentraciones aumentaron desde 40.0 µg/ml hasta 47.0 µg/ml, respectivamente; estos resultados son similares a lo observado por León-Chan *et al.* (2017), en la extracción de carotenoides de *C. annuum*; dado que estos son fundamentales para proteger el aparato fotosintético de las plantas de las incidencias

de la luz; por lo que su producción este regulada por este mecanismo (Azari *et al.* 2010; Ruiz-sola *et al.* 2015); dada su participación en el crecimiento, desarrollo y estímulos ambientales de las plantas (Liu *et al.* 2014); en base a estos resultados podemos remarcar que las plantas dentro de sus complejos mecanismos de defensa contra las altas dosis de radiación UV, emplean elementos como el aumento en la acumulación de compuestos absorbentes de UV y que se han encontrado en la epidermis, ya que es un blanco sensible a la radiación UV (Caldwell *et al.* 1983; Tevini & Teramura, 1983), además, algunos investigadores han informado que la acumulación de pigmentos absorbentes de UV fue controlado genéticamente como mecanismo de protección contra Radiación UV-B en plantas de *A. thaliana* (Louis & Buchanan, 1994).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## CAPÍTULO IX

---

### 9.0-CONCLUSIONES

1. En el estudio biométrico de las variables de peso en gramos, ancho en mm, alto en mm y número de semillas de frutos maduros del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., recolectados de poblaciones silvestres; los frutos de mayor peso fueron los recolectados en la localidad de Corregidora 1era. Sección, en el municipio del Centro; mientras que los de menor peso, los recolectados en la localidad de Macayo, Cárdenas; respecto a la circunferencia los frutos de mayor tamaño fueron los de Taxco, Nacajuca, seguido de los frutos de Cucuyulapa, 1era. Sección, Cunduacán, siendo los de la localidad del Macayo, Cárdenas los de menor circunferencia. Los frutos con el mayor número de semillas fueron los recolectados en Macayo, Cárdenas. Los resultados observados en este apartado se observó que los ejemplares en estudio presentan estas diferencias, como consecuencia del tipo de suelo en el que crecieron, dado a que este puede estar alterado por actividades antropogénicas o por algún otro factor adverso de este ejemplar en estas zonas; además esto indica la existencia de una amplia diversidad genética y un gran acervo de germoplasma; el cual puede ser empleado con fines de mejoramiento genético.
2. El ciclo fenológico del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., es anual; este análisis se inició con la germinación de semillas en condiciones de laboratorio en donde la agarosa presentó los porcentajes más elevados de germinación con 78.7% y 82.0%, en el caso contrario los porcentajes más bajos de germinación se presentaron en arena con 45.3% y 60.6%; la germinación en condiciones de invernadero presentó germinación por arriba del 75.0 %; en base a estos datos se inició el registro de los días para la germinación de semillas, las etapas de plántula, crecimiento hasta planta adulta, altura y ancho de las corolas, floración, formación de los primeros frutos, crecimiento, maduración, cosecha y análisis biométrico de frutos maduros por planta; hasta la muerte de las plantas productoras; toda la información generada a partir de este estudio, ha contribuido al enriquecimiento de la dispersa información que existe en torno a este pariente silvestre del tomate, considerando el ancestro del tomate domesticado; los estudios fenológicos son necesarios debido a que en la actualidad en México están desapareciendo muchas especies vegetales, de las que se desconoce su potencial, como reservas vírgenes de germoplasma con importancia económica y de mejoramiento genético,

esto como consecuencia de las diversas actividades antropogénicas realizadas por el ser humano; en el caso particular de nuestro país, se le considera el centro de domesticación del tomate y prueba de ello es la gran diversidad de variedades silvestres que existen en el país y que en su gran mayoría no se ha estudiado y que por lo tanto se desconoce su potencial, económico y agronómico; además de ser variedades muy resistentes a enfermedades, plagas y cambios constantes de temperatura; lo que en conjunto ha generado una compleja problemática en la actualidad y es que nuestros productores de tomate, compran el germoplasma o semillas tratadas, para sus cultivos de esta hortaliza a muy altos costos a empresas privadas, en el extranjero; es por ello la importancia de realizar estudios fenológicos sobre esa gran diversidad de plantas con diversos potenciales, que en la actualidad enfrentan amenazas como el tráfico ilegal de recursos vegetales y actividades antropogénicas por haber caído en el olvido y que se encuentran en peligro de desaparecer.

3. El estudio citológico, empleando radículas de semillas germinadas de manera *In vitro* nos permitió aportar cuatro variables desconocidas en nuestra especie de estudio; el ciclo celular en mitosis, resultando ser un ciclo celular típico, nuevo número modal cromosómico de  $2n=14$  cromosomas metacéntricos y un complemento cromosómico diploide de:  $23.88 \mu\text{m}$ , genoma de entre  $bp=3.16 \times 10^9$  y contenido de ADN de  $(2N) \text{pg}= 69.85/21.56 \mu\text{m}= 3.24 \text{pg}$ , respectivamente.
4. Los efectos de la radiación UV sobre las semillas, se caracterizan por una reducción en el tamaño de la morfología, reducción de cotiledones y la desaparecieron las vellosidades que caracterizan y protegen a las semillas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., de acuerdo al tiempo de exposición a la luz UV.
5. En la germinación, los efectos de la radiación UV son positivos; debido a que los niveles de semillas germinadas fueron altos en todos los tratamientos trabajados, en comparación con los tratamientos control; sin embargo las plántulas no presentan un desarrollo normal como resultado del efecto de la radiación UV, observándose un crecimiento retardado. En base a lo anterior podemos sugerir a la radiación UV como estimulante para la germinación de semillas de testa dura.
6. Sobre las radículas de semillas germinadas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., el efecto de la radiación UV, es negativo; observándose alteraciones en las fases del ciclo celular durante la mitosis, lo que nos permitió observar alteraciones en las estructuras celulares a nivel externo e interno a como se ha observado en este complejo análisis citológico. En los experimentos

realizados para conocer los efectos de la radiación UV, sobre la sobrevivencia y crecimiento de germinados tempranos los resultados, nos permitieron establecer los niveles de sobrevivencia de acuerdo a cada tratamiento; siendo mayores en los tratamientos menores a  $0.5 J/cm^2$ , mientras que los niveles de mortandad incrementaron a partir del tratamiento antes mencionado, hasta ser total en los tratamientos  $1.9 J/cm^2$  y  $2.1 J/cm^2$ , respectivamente; por otro lado el crecimiento de los organismos irradiados fue de las variables en donde se observó mayor efecto en todos los tratamientos, a partir de las primeras 24 horas sobre todo en aquellos germinados de los tratamientos mayores a  $0.5 J/cm^2$  y en los cuales se observó un mínimo nivel de fotorreactivación en comparación con los tratamientos  $0.1 J/cm^2$ ,  $0.3 J/cm^2$  y  $0.5 J/cm^2$ , respectivamente, dicho lo anterior los efectos de la radiación UV, sobre el crecimiento y la sobrevivencia de plántulas irradiadas, se presenta de acuerdo a la dosis y tiempo de exposición de los organismos.

7. En los Análisis Microscópicos realizados a Nivel Extracelular, para los efectos de clorosis y quemaduras necróticas sobre el material foliar de los irradiados, los mayores efectos de clorosis se presentaron en los tratamientos  $1.7 J/cm^2$ ,  $1.9 J/cm^2$  y  $2.1 J/cm^2$ , de la misma forma los mayores efectos de quemaduras necróticas se observaron en estos mismos tratamientos, lo que indica que el aumento en la incidencia de la luz UV, sobre las plantas causa efectos negativos, lo que altera el desarrollo foliar.
8. Los afectos a nivel intracelular empleando Tinción con Azul de tripan, en los primeros tres tratamientos no se presentaron efectos negativos; mientras que a partir de los tratamientos  $0.7 J/cm^2$ ,  $0.9 J/cm^2$  y  $1.1 J/cm^2$ , se observó la aparición de tejido muerto, a la altura de los ápices y de los haz, indicando la presencia de células apoptóticas, mientras que en los tratamientos  $1.3 J/cm^2$ ,  $1.5 J/cm^2$ ,  $1.7 J/cm^2$ ,  $1.9 J/cm^2$  y  $2.1 J/cm^2$ , los irradiados se caracterizaron por presentar extensas áreas cubiertas de azul; indicando la presencia de células muertas y el colapso de membranas de epidermis en el lado adaxial a la altura del envés, limbo y nervios de las hojas, entre otros daños; lo que indica que en las plántulas a nivel intracelular, los efectos son complejos; lo que compromete el desarrollo y crecimiento normal de las plantas y que de continuar el incremento o intensidad de la luz sobre la biosfera, tales efectos incrementarían en todos los organismos terrestres.
9. La concentración y cuantificación de clorofila (a), Clorofila (b) y carotenoides, en los organismos irradiados, incrementaron en todos los tratamientos de acuerdo a las dosis y tiempo de exposición; esto quiere decir que la concentración de estos pigmentos fotosintéticos aumenta

en las plantas como mecanismo de defensa, para contrarrestar los efectos de la radiación UV, sobretodo las concentraciones de clorofila *a* en comparación con las concentraciones de clorofila *b*; por ultimo las concentraciones de carotenoides en los irradiados aumentan como respuesta a factores externos negativos que pueden causar efectos o daño sobre las plantas; lo que se observó en todas las concentraciones de carotenoides.

10. En base a los resultados observados en cada uno de las variables o aspectos estudiados, referente a los efectos de la radiación UV, desde los efectos sobre las semillas, la germinación, la sobrevivencia, el crecimiento temprano, efectos a nivel extra e intracelular hasta en las concentraciones de clorofila *a*, clorofila *b* y carotenoides del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., podemos establecer que los efectos de la radiación UV, sobre las plantas se presentan de acuerdo a las dosis o cantidad y al tiempo en que expuestas; lo que indica que estos efectos nocivos incrementaran, ante el deterioro de la capa de ozono como consecuencia de las diversas actividades antropogenicas; es por ello se propone a nuestra especie de estudio, como modelo biológico para medir y compara las afectaciones en los organismos terrestres ubicados en la región sur de nuestro país y de manera particular en el estado de Tabasco. Esta investigación contribuye de manera significativa, en la generación de valiosa información cariotipica de una variedad del tomate silvestre con valor histórico, cultural, económico y agronómico y a la vez este conocimiento nos permite generar estrategias que garanticen su permanencia en su medio silvestre y a la vez que permanezca como patrimonio de valor incalculable dentro de la diversidad de las riquezas vegetales de México.

## CAPÍTULO X

---

### 10.0-REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aflitos, S., Schijlen, E., de Jong, H., de Ridder, D., Smit, S., Finkers, R., Wang, J., Zhang, G., Li, N., Mao, L., Bakker, F., Dirks, R., Breit, T., Gravendeel, B., Huist, H., Struss, D., Swanson-Wagner, R., Van Leeuwen, H., Van Ham, R. C. H. J., Fito, L., Guignier, L., Sevilla, M., Ellul, P., Ganko, E., Kapur, A., Reclus, E., de Geus, B., Van de Geest, H., Van Haarst, J., Smits, L., Koops, A., Sánchez-Pérez, G., Van Heusden, A., Visser, R., Quan, Z., Min, J., Liao, L., Wang, X., Wang, X., Wang, G., Yue, Z., Yang, X., Xu, N., Schranz, E., Smets, E., Vos, R., Rauwerda, J., Ursen, R., Schuit, C., Kerns, M., Van den Berg, J., Vriezen, W., Janssen, A., Datema, E., Jahrman, T., Moquet, F., Bonnet, J., & Peters, S. (2014). Exploring genetic variation in the tomato (*Solanum section Lycopersicon*) clade by whole-genome sequencing. *The Plant Journal*. 80: 136-148.
- Águila Ruiz-Sola, M., Rodríguez-Villalón, A. †, & Rodríguez-Concepción, M. (2015). Light-Sensitive Phytochrome-Interacting factors (PIFs) are not required to regulate phytoene synthase gene expression in the root. *Plant Signaling & Behavior*, 9 (8):1-4.
- Agudelo-Agudelo, A. G., Ceballos-Aguirre, N., & Orozco, F. A. (2011). Caracterización morfológica del tomate tipo cereza (*Solanum lycopersicum* linnaeus). *Agronomía*, 19 (2): 44-53.
- Azari, R., Reuveni, M., Evenor, D., Nahon, S., Shlomo, H., Chen, L. & Levin, I. (2010). Overexpression of UV-Damaged DNA Binding Protein 1 links plant development and phytonutrient accumulation in high pigment-1 tomato. *Journal of Experimental Botany*, 61 (13): 3627-3637.
- Álvarez, Hernández., J. C., Cortez-Madriral, H. & García- Ruiz I., (2009). Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (Solanaceae) en tres regiones de Michoacán, México. *Publibotanica*, 28:139-159.
- Arias-Rodriguez, L., (2007). Genetic differentiation of japonica *Misgurnus Loach* inferred from microsatellite variation, marker-centromere map and reproduction of hybrids between two populations. PhD. Tesis para obtener el grado de Doctor. Hokkaido University. Japan. Ppg.18-19.
- Arumuganathan, K. & Earle, E. D. (1991). Nuclear DNA content of some important plant species. *Plant Molecular Biology. Rep.*, 9:208-218.
- Bertin, N. & Genárd, M. (2018). Tomato quality as influenced by preharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 233: 264-276.

- Brancini, G. T. P., Rangel, D. E. N & Braga, G. U. L. (2016). Exposure of *Metarhizium acridum* mycelium to light induces tolerance to UV-B radiation. *FEMS Microbiology Letters*, 363 (6): 1-10.
- Blanca, J., Montero-Paul, J., Sauvage, Ch., Bauchet, G., Eudald, I., Díez, M. J., Francis, D., Causse, M., Van der Knaap, E. & Cañizares, J. (2015). Genomic variation in tomato, from wild ancestors to contemporary breeding accessions. *BMC Genomics*, 16 (257): 1-19.
- Bonilla-Barrientos, O., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Cruz-Izquierdo, S., Reyes-López, D., Hernández-Leal, E. & Hernández-Bautista, A. (2014). Diversidad Agronómica y Morfológica de tomates Arriñonados y tipo pimiento de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37 (2): 129-139.
- Bandurska, H., Niedziela, J. & Chadzinikolau, T. (2013). Separate and combined responses to wáter déficit and UV-B radiation. *Plant Science*, 213:98-115.
- Bedoya-Reina, O. C. & Barrero, L. E. (2009). Filogenia de lulo, tomate de árbol y sus parientes silvestres. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 10 (2): 180-190.
- Bai, Y. & Lindhout, P. (2007). Domestication and Breeding of Tomatoes: What have We Gained and What Can We Gain in the Future? *Annals of Botany*, 100 (5): 1085-1094.
- Bennett, M.D. & Smith, I. J. (1997). Nuclear DNA amounts in angiosperms-583 new estimates. *Annals of Botany*, 80 (2):169-196.
- Ballaré, C. L., Barnes, P. W. & Flint, S.D. (1995). Inhibition of hypocotyl elongation by ultraviolet-B radiation in the-etiolating tomato seedlings. I. The photoreceptor. *Physiologia Platarum*, 93: 584-592.
- Bir, S. S., Kumari, S., Shoree, S. P. & Sagoo, M.S. (1978). Cytological studies in certain Bicarpellatae from north and central India. *Journal of Cytology and Genetics*, 13: 99–106.
- Bennett, M.D. & Smith, J.D. (1976). Nuclear DNA amounts in angiosperms. *Philos Trans R Soc.Lond. Biol. Sci.*, 181:109–135.
- Baquar, S.R. (1967). Cytomorphological studies in the family Solanaceae from West Pakistan. *Genetic*, 38: 388-397.
- Cordova, H. A., Gómez, S. V. & Ñustez, C. E. (2018). Evaluación del rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate Cherry (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12 (1): 113-125.
- Csepregia, K., Coffeyb, A., Cunninghamb, N., Prinsenc, E., Hidega, E. & Jansen, M. A. (2017). Developmental age and UV-B exposure co-determine antioxidant capacity and flavonol

- accumulation in Arabidopsis leaves Kristóf. *Environmental and Experimental Botany*, 140 (2017): 19-25.
- CONABIO, (2017). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Malezas de México. Modificado el 13 de Agosto de 2009. Acceso el 20 de Enero de 2017. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersiconesculentum/fichas/ficha.htm>.
- Ceballos, N. & F. Vallejo. (2012). Evaluating the fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Rev. Fac. Nat. Agr. Medellín*, 65: 6593-6604.
- Crisanto-Juárez, A. U., Vera-Guzmán, A. M., Chávez-Servia, J. L. & Carrillo-Rodríguez, J. C. (2010). Calidad de Frutos de Tomates Silvestres (*Lycopersicon Esculentum* Var. *Cerasiforme Dunal*) de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33 (4): 7-13.
- Carrillo-Rodríguez, J. C., Chavez-Servia, J. L., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-del Valle, R. & Villegas-Aparicio, Y. (2010). Variación estacional de caracteres agromorfológicos en poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6: 1081-1091.
- Carrasco, R. L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *Idesia*, 27 (3): 59-76.
- Carvalho, H., Ortolan, T. G., dePaula T., Leite, R. A., Weinlich, R., Amarante-Mendes G. P. & Martins-Menck, C. F. (2008). Sustained activation of p53 in confluent nucleotide excision repair-deficient cells resistant to ultraviolet-induced apoptosis. *DNA Repair*, 7 (6): 922-931.
- Christine, K. S., MacFarlane IV, A. W., Yang, K. & Stanleys, R. J. (2002). Cyclobutylpyrimidine dimer base flipping by DNA photolyase. *The Journal of Biological Chemistry*, 277 (41): 38339-38344.
- Carvalho, G. M. G., Guerra, M., de Santos, G. A., de Andrade, V. C. & de Fariás, M. C. A. (1991). Citogenética de angiospermas colectadas en Pernambuco IV *Acta Bot. Brasil*, 5 (2): 37-51.
- Caldwell, M., Robberecht, M. R. & Flint, S. D. (1983). Internal filters: Prospects for UV acclimation in higher plants. *Physiology Plantarum*, 58: 445-450.
- Cawood, A. H. & Jones, J. K. (1980). Chromosome behavior during meiotic prophase in the Solanaceae. *Chromosome*, 80: 57-68.
- Delgado-Vargas, V. A., Magdaleno-Villar, J., Ayala-Garay, O. & Garfias-Sánchez, D. (2018). Seed quality of three native varieties and a commercial one produced under high temperatures. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24 (3): 215-227.
- Durif, C. M. F. Fields, D. M., Browman, H. I. Shema, S. D., Enoae, J. R., Skiftesvik, A. B., Bjelland, R., Sommaruga, R. & Arts, M. (2015). UV radiation changes algal stoichiometry but does not have cascading effects on a marine food chain. *Journal of Plankton Research*, 37 (6): 1120-1136.

- Días-Leyva, C. E., Bacópulos-Mejía, E., Ruiz-Torres, N. A., Ibarra-Jiménez, L., González-Morales, S. & Benavides-Mendoza, A. (2016). Irradiación de semillas de tomate con UV-B y UV-C: impacto sobre germinación, vigor y crecimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (1): 103-116.
- De la Cruz-Damián, E. (2016). La mitosis del frijolillo tropical *chamaecrista nictitans*. Tesis para obtener el título de Licenciado en Biología. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. Pp 17-18.
- Dos Santos, L. B., Dos santos-Moreira, N., Leal-Costa, V., Soares-Costa, S. & Schwartz- Tavares, E. (2015). Induction of wound-periderm-like tissue in *Kalanchoe pinnata* (Lam.) Pers. (Crassulaceae) leaves as a defense response to high UV-B radiation levels. *Annals of Botany*, 116: 763–769.
- Díaz-Chávez, J. & Domínguez-Gómez, G. (2010). Vías de reparación del ADN: nuevos blancos en la terapia contra el cáncer. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 15 (4): 221-227.
- Doležel, J. Bartos, J., Voglmayr, H. & Greilhuber, J. (2003). Nuclear DNA content and genome size of trout and human. *Cytometry*, (51): 127-128.
- D'Arcy, W. (2001). Solanaceae. En W. D. Stevens, C. Ulloa U., A. Pool y O. M. Montiel (eds.). *Flora de Nicaragua. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden. Vol. 85, tomo III. St. Louis, Missouri.*
- De Castro, R.D. & Hilhorst, H. W .M. (2000). Dormancy, Germination and the Cell Cycle in developing and imbibing tomato seeds. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 12, (Edición Especial): 105-136.
- Doležel, J., Greilhuber, J., Lucretti, S., Meister, A., Lysák, A., Nardi, L. & Obermayer, R. (1998). Plant Genome Size Estimation by Flow Cytometry: Inter-laboratory Comparison. *Annals of Botany*, 82: 17-26.
- Doležel, J., Sgorbati, S. & Lucretti, S. (1992). Comparison of three DNA fluorochromes for flow cytometric estimation of nuclear DNA content in plants. *Physiology Plantarum*, 85:625-631.
- Escobar-Bravo, R., Klinkhamer, P.G., & Leiss, K. A. (2017). Interactive effects of UV-B light with abiotic factor son plant growth and chemistry, and their consequences for defense against arthropod herbivores. *Frontiers in plant Science*, 8 (278): 1-14.
- Foroughbackhch-Pournavab, R., Bacópulos-Mejía, E., Benavidez-Mendoza, A., Salas-Cruz, L.R. & Nganyo-Heya, M. (2019). Ultraviolet Radiation Effect on Seed Germination and Seedling Growth of Common Species from Northeastern México. *Agronomy*, 9 (269): 1-14.
- Fonini, A., Barufi, J., Schmidt, E. Rodrigues, A. & Randi, A. (2017). Leaf anatomy and photosynthetic efficiency of *Acrostichum danaeifolium* after UV radiation. *Photosynthetica*, 55 (3): 401-410.

- Flores-Hernández, L. A., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Molina-Galán, J. D., Sargerman-Jarquín, D. M. & Velasco-Alvarado, M. J. (2017). Parientes silvestres del tomate como fuente de germoplasma para el mejoramiento genético de la especie. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40 (1): 1-13.
- Findlay, K. M. W. & Jenkins, G. I. (2016). Regulation of UVR8 photoreceptor dimer/monomer photoequilibrium in *Arabidopsis* plants grow under photoperiodic conditions. *Plant, Cell & Environment*, 39 (8):1706-1714.
- Fernández-Bautista, N., Domínguez-Núñez, J. A., Mar castellano-Moreno, M. & Berrocal-Lobo, M. (2016). Plant tissue blue staining during phytopathogen infection. *Bio protocol*, 6 (24): 1-7.
- Foroughbackhch-Pournavab, R., Bacópulos-Mejía, E. & Benavidez-Mendoza, A. (2015). Efectos de la irradiación con UV-C en la germinación y vigor de tres especies vegetales. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2 (5): 129-137.
- Forni-Martins, E. R. & Martins, F. R. (1995). Chromosome studies on Brazilian *cerrado* plants. *Genetics and Molecular Biology*, 23 (4): 947-955.
- Gandhi, N., Rahul, K., Chandana, N. Madhuri, B. & Mahesh, D. (2019). Impact of ultraviolet radiation on seed germination, growth and physiological response of Bengal gram (*Cicer arietinum* L.) and Horse gram (*Macrotyloma uniflorum* L.). *Journal of Biochemistry Research*, 2 (1): 19-34.
- Gonzalez-Pumariega, M., Vernhes-Tamayo, M. & Sánchez-Lamar, T. (2009). La radiación ultravioleta, su efecto dañino y consecuencias para la salud humana. *Theoria*, 18 (2): 69-80.
- Giordano, C. V., Galatros, A., Puntarulo, S. & Ballaré, C. L. (2004). The inhibitory effects of UV-B radiation (280–315 nm) on *Gunnera magellanica* growth correlate with increased DNA damage but not with oxidative damage to lipids. *Plant Cell and Environment*, 27: 1415-1423.
- Gleason, H. A. & Cronquist, A. (1991). *Manual of the vascular plants of Northeastern, United States and adjacent Canada*. 2a. ed. Bronx, N.Y., USA: New York Botanical Garden.
- Govindarajan, T. & Vijayakumar, N. (1986). Cytotaxonomical studies of south Indian *Solanum* and *Lycopersicum*. *J. Indian Bot. Soc.*, 66: 373–376.
- Gottschalk, W. (1954). Die chromosomenstruktur der Solanaceen unter Berücksichtigung phylogenetischer fragestellung. *Chromosoma*, 6: 539-626.
- Hernández-Sánchez, W. (2015). Los cromosomas en mitosis del achiote *Bixa orellana* (Malvales: Bixaceae). Tesis para obtener el título de licenciado en Biología. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. Pp. 22-23.

- Hock, M., Beckmann, M., Hofmann, R. W., Bruelheide, H. & Erfmeier, A. (2015). Effects of UV-B radiation on germination characteristics in invasive plants in New Zeland. *NeoBiota*, 26 (4405): 21-37.
- Hossain, M. K., Strezov, V., K. Yin Chan, K. & Nelson, P. F. (2010). Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*, 7 (9):1167- 1171.
- Hernández-Leal, E., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J., Reyes-López, D., Méndez-López, A., Bonilla-Barrientos, O. & Hernández-Bautista, A. (2013). Comportamiento agronómico de poblaciones F de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36 (3): 209-215.
- Hayes, S., Velanis, C. N., Jenkins, G. I. & Franklin, K. A. (2014). UV-B detected by the UVR8 photoreceptor antagonizes auxin signaling and plant shade avoidance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111 (32): 11894-11899.
- Heijde, M. & Ulm, R. (2012). UV-B photoreceptor-mediated signalling in plants. *Trends in Plant Science*, 17 (4): 230 -237.
- Hauvermale, A. L., Ariizumi, T. & Steber, C. M. (2012). Gibberellin signaling: a theme and variations on DELLA repression. *Plant Physiology*, 160: 83-92.
- Hanan, Alipi, A. M., Mondragon, Pichardo, J. & Vibrans, H. (2009). Malezas de México.<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersiconesculentum/fichas/ficha.htm>.
- Häder, D. P. & Sinha, R. P. (2005). Solar ultraviolet radiation-induced DNA damage in aquatic organisms: potential environmental impact. *Fundamental and Molecular Mechanism of Mutagenesis*, 571:221-233.
- Hollósy, F. (2002). Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron*, (33): 179-197.
- Hao, X., Hale, B. A., Ormrod, D.P. & Papadopoulos, A. P. (2000). Effects of pre-exposure to ultraviolet-B radiation on responses of tomato (*Lycopersicum esculentum* cv. New Yorker) to ozone in ambient and elevated carbon dioxide. *Environmental Pollution*, 110:217-224.
- Huang, S. f., Z. f. Zhao, Z. F., Chen, Z. Y., S. J. Chen, S. J. & Huang, X. X. (1989). Chromosome counts on one hundred species and intraspecific taxa. *Acta Bot. Austro Sin.*, 5: 161–176.
- Hartley, S. E. & Horne, M. T. (1985). Cytogenetic techniques in fish genetics. *J. Fish Biol.*, (26): 575-582.

- Hinegardner, R. (1976). The cellular DNA content of sharks, rays and some other fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 55 (3B): 367-370.
- (INIFAP, 2013). Manual para el cultivo del jitomate en Bioespacio e Invernadero. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacifico Sur, Campo Experimental Zacatepec. Zacatepec, Morelos. Libro técnico No. 11. 190 p.
- Jin, H. & Zhu, Z. (2019). Dark, Light and Temperature: Key Players in Plant Morphogenesis. *Plant Physiology*, 180 (4): 1793-1802.
- Jawaad, Atif, M., Jellani, G., Ahmed Malik, M. H., Saleem, N., Ullah, H., Zameer Khan, M. & Ikram, S. (2016). Different growth media effect the germination and growth of tomato seedlings. *Science, Tecnology and Development*, 35 (3): 123-127.
- Jenkins, G. I. (2014). The UV-B Photoreceptor UVR8: from structure to physiology. *The Plant Cell*, 26 (1): 21-37.
- Jansen, M. A. K., Hide, É. & Lidon, F. J. C. (2012). UV-B Radiation “when does the stressor cause stress?” *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24 (6): 1-6.
- Jansen, M. A. K. (2002). Ultraviolet-B radiation effects on plants: induction of morphogenic responses. *Physiologia Plantarum*, 116:423-429.
- Jenkins, J. A. (1948). The Origen of the Cultivated Tomato. *Econ. Bot.*, (2): 379-392.
- Jorgensen, C. A. (1928). The experimental formation of heteroploid plants in the genus *Solanum*. *Journal of Genetics*, XIX. (2): 133-211.
- Khurshid, Alam, M., Abdur, Rahim, M., Habibur, Rahman, M. D. & Jahiruddin, MD. (2014). Effects of organic fertilizers on the seed germination and seedling vigour of tomato. *Rahmann G & Aksoy U (Eds)*, 13-15. ID 23990.
- Kreslavski, V. D., Shirshikova, G. N., Lyubimov V. Y., Shmarev, A. N., Boutanaev, A. M., Kosobryukhov, A. A., Schmitt, F. J., Friedrich, T. & Allakhverdiev, S. (2013). Effect of preillumination with red light on photosynthetic parameters and oxidant-antioxidant balance in *Arabidopsis thaliana* in response to UV-A. *Journal of Photochemistry and Photobiology: Biology*, (127): 229–236.

- Kravets, E; Zelena, L. B; Zabra, E. P. & Blume, Y. B. (2012). Adaptation strategy of barley plants to UV-B radiation. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24 (6): 632-645.
- Karsburg, I.V., Carvalho, C. R. & Clarindo, W.R. (2009). Identification of chromosomal deficiency by flow cytometry and cytogenetics in mutant tomato (*Solanum lycopersicum*, Solanaceae) plants. *Australian Journal of Botany*, 57: 444-449.
- Kakani, V., Reddy, G., Zhao, K. R. & Mohammed, A. R. (2003). Effects of ultraviolet-B radiation on cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Morphology & Anatomy*, 91(7): 817–826.
- Krizek, D. T. (1975). Influence of ultraviolet radiation on germination and early seedling growth. *Physiol. Plant*, 34: 182-186.
- León-Chan, R. G., López-Meyer, M., Osuna-Enciso, T., Sañudo-Barajas, J. A., Basilio Heredia, J. & León Félix J. (2017). Low temperatura and ultraviolet-B radiation affect chlorophyll content and induce the accumulation of UV-B-absorbing and antioxidant compounds in bell pepper (*Capsicum annuum*) plants. *Envirometal and Experimental Botany*, 139:143-151.
- Llorens, L., Badenes-Pérez, F. R., Julkunen-Tiitto, R., Zidorn, Ch., Fereres, A. & Jansen, M. A. K. (2015). The role of UV-B radiation in plant sexual reproduction. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 17 (3): 243-254.
- Lira, B. S., de Setta, N., Rosado, D., Almeida, J., Freschi, L. & Rossi, M. (2014). Plant degreening: evolution and expression of tomato (*Solanum lycopersicum*) dephytylation enzymes. *Gene*, 546: 359-366.
- Liu, L., Shao, Z., Zhang, M. & Wang, Q. (2014). Regulation of carotenoid metabolism in tomato. *Molecular Plant*, 8 (1): 28-39.
- Lépiz, R. & Rodríguez, E. (2006). Los recursos fitogenéticos de México. In: Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura: Informe Nacional 2006. J C Molina, L Córdoba (eds). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. Pp: 1-58.
- Long, T. J. (2001). Una semblanza de las Solanáceas. *Etnobiología*, (1): 18-24.
- Lichtenthaler, H. K. & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Caracterización by UV-VIS Spectroscopy. *Corrent Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1: F4.3.1-F4.3.8.

- Livingstone, K. D., Lackney, V. K., Blauth, J. R., van Wijk, R. & Jahn, M. K. (1999). Genome mapping in *Capsicum* and the evolution of genome structure in the Solanaceae. *Genetics*, 152, 1183–1202.
- Logemann, E., Wu, S.C., Schröder, J., Schmelzer, E., Somssich, I.E. & Hahlbrock, K. (1995). Gene activation by UV light, fungal elicitor or fungal infection in *Petroselinum crispum* with repression of cell cycle-related genes. *Plant Journal*, 8 (6): 865-876.
- Louis, R. & Buchanan, B. B. (1994). Severe sensitivity to ultraviolet radiation in an *Arabidopsis* mutant deficient in flavonoids accumulation. II. Mechanisms of UV-resistance in *Arabidopsis*. *Planta*, 194: 504-509.
- Lesser, M. P. & Shich, J. M., (1990). Effects of visible and ultraviolet radiation on the ultrastructure of zooxanthellae (*Symbiodinium sp*) in cultures and insitu. *Cell and Tissue Research*, 261: 501-508.
- Levan, A., Fredga K. & Sandberg A. A. (1964). Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Institute of genetics. Hereditas*, 52: 201-220.
- Luckwill, L.C. (1943a). The genus *Lycopersicum*: an historical, biological, and taxonomical survey of the wild and cultivated tomatoes. *Aberdeen Univ. Stud.*, 120:1-44.
- Luckwill, L.C., (1943). The genus *Lycopersicum*. *Aberd. Univ. Stud.*, 20:120.
- Luckwill, L.C. (1943b). The evolution of the cultivated tomato. *J. R. Hortic. Soc.*, 68: 19-25.
- Lesley, J. W., (1935). A tomato relative from Perú. *Journal of Heredity*, 26 (11):451-453.
- Lichtenthaler, H. K. & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophyll *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5): 591-592.
- Marta-Sanz, Murillo, M., Xub, J., A. Belogurovd, G., Calvoe, O., Gil-Cartanf, D., Moreno- Morcilloa, M., Wangb, D. & Fernández-Torneroa, C. (2018). Structural basis of RNA polymerase I stalling at UV light-induced DNA damage. *PNAS*, 115 (36):8972-8977.
- Martínez, M., Vargas-Ponce, O., Rodríguez, A., Chiang, F. & Ocegueda, S. (2017). Solanaceae family in México. *Botanical Sciences*, 95 (1): 131-145.
- Machado, F., Celeste, M., Guedes, de Pinho, P., Maragarida, A., Pinto, D., Silva, A., Correia, C., Moutinho, J. & Santos, C. (2017). Photosynthetic performance and volatile organic compounds profile in *Eucalyptus globulus* after UVB radiation environmental and experimental botany, 140 (2017): 141–149.

- Medawar, G., Srour, G. & El Azzi, D. (2016). Comparison of chlorophyll content in greenhouse tomato and cucumber leaves after HBED-Fe and EDDHA-Fe applications. *Frontier in life science*, 9 (3): 1-8.
- Miranda, M. P., Dos Santos, F. L., Felipe, M. R., Moreno, A. & Fereres, A. (2015). Effect of UV-Blocking plastic films on take-off and host plant finding ability of diaphorina citri (Hemiptera: Liviidae). *Horticultural Entomology*, 108 (1):245-251.
- Morales, L. O., Tegelberg, R., Brosché, M., Keinanen, M., Lindfors, A. & Aphalo, P. J. (2010). Effects of solar UV-A and UV-B radiation on gene expression and phenolic accumulation in *Betula pendula* leaves. *Tree Physiology*, (30): 932-934.
- Martínez, E., Carbonell, M. V., M. Flórez, M., Amaya, J. M., & Maqueda, R. (2008). Germination of tomato seeds (*Lycopersicum esculentum* L.) under magnetic field. *International Agrophysics*, 23: 45-49.
- Matsumoyo, A., Imanishi, S., Hossain, M., Escalante, A & Egashira, H. (1997). Fertile somatic hybrids between F1 (*Lycopersicon esculentum* x *L. peruvianum* var. *humifusum*) and *Solanum lycopersicoides*. *Breed. Sci.*, 47: 327-333.
- Miller, J. C. & Tanksley, S. D. (1990). RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied genetics*, 80: 437-448.
- Májovský, J. (1978). Index of chromosome numbers of Slovakian flora (Part 6). *Acta Fac. Rerum Nat. Univ. Bot.*, 26: 1-42.
- Müller, C. H. (1940a). A revision of the genus *Lycopersicum*. U.S. Dep. Agric. Misc. Publ., 382: 1-28
- Müller, C. H. (1940b). The taxonomy and distribution of the genus *Lycopersicum*. *National Horticultural Magazine*, 19: 157-160.
- Moore, J. A. (1935). The early history of the tomato or loveapple. *Missouri Botanical Garden Bulletin*, 23: 134-138.
- Nawkar, G. M., Maibam, P., Park, J. H., Sahi, V.P., Lee, S. Y. & Kang, Ch. H. (2013). UV-Induce Cell Death in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14:1608-1628.
- Noble, R. E. (2002). Effects of UV- Irradiation on seed germination. *The science of the total Environment*, 299: 173-176.

- NASA, (2008). Global Climate Change: Evidence. (2008, June 15). Retrieved January 20, 2018, from <http://climate.nasa.gov/evidence/>
- Nuez, F. (1999). El cultivo del tomate. 2da ed. Ediciones Mundi-Prensa Libros. Madrid.
- Nee, M., (1986). Solanaceae I. En: Sosa, V. (ed.). Flora de Veracruz. Fascículo 49. Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México.
- Okoli, B. E. (1992). Field, herbarium and laboratory techniques. Mbeyi and associates (Nigeria) Ltd., Laos, Nigeria.
- Özbingöl, N., Corbineau, F., Groot, S. P. C., Bino, R. J. & Come, D. (1999). Activation of the cell cycle in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds during Osmoconditioning as related to temperature and oxygen. *Annals of Botany*, 84: 245-251.
- Pérez-Patricio, M., Camas-Anzueto, J. L., Sánchez-Alegría, A., Aguilar-González, A., Gutiérrez-Miceli, F., Escobar-Gómez, E., Voisin, Y., Ríos-Rojas, C. & Grajales-Coutiño, R. (2018). Optical Method for Estimating the Chlorophyll Contents in Plant Leaves. *Sensors*, 18 (650): 1-12.
- PengZhu, J. Y., Sae-Seaw, J. & Wang, Z. Y. (2013). Brassinosteroid signaling. *Development at a Glance*, 140:1615-1620.
- Piri, E., Mahdi, B., Tavassoil, A. & Esmaelian, Y. (2011). Effects of UV irradiation on plants. *African Journal of Microbiology Research*, 5 (14): 1710-1716.
- Peralta, I. E. & Spooner, D. M. (2006). History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). *Genetic Improvement of Solanaceous Crops: Tomato*, (2): 1-24.
- Pérez, G. M., F. Márquez, S. & A. Peña, L. (1997). Mejoramiento genético de hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 149-181.
- Prince, J., Pochard, P. E. & Tanksley, S. D. (1993). Construction of a molecular linkage map of pepper, and a comparison of synteny with tomato. *Genome*, 36:404–417.
- Razifard, H., Ramos, A., Della Valle, A. L., Bodary, C., Goetz, E., Manser, J. E., Li, X., Zhang, L., Visa, S., Tieman, D., Van der Knaap, E. & Caicedo, A. L. (2020). Genomic Evidence for Complex Domestication History of the Cultivated Tomato in Latin America. *Molecular Biology and Evolution*, 37 (4): 1118-1132.
- Ruhland, C. T. & Eatwell, M. F. (2017). The effects of ultraviolet radiation on the brown midrib mutants of *Zea mays* and *Sorghum bicolor*. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 2017 (29):87–94.

- Raghuvanshi, R. & Sharma, R. K. (2016). Response of two cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. (French beans) plants exposed to enhanced UV-B radiation under mountain ecosystem. *Environ Sci Pollut Res*, (23):831–842.
- Reboredo, F. & Lidón, F. J. C. (2012) UV-B radiation effects on terrestrial. A perspective. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(6): 502-509.
- Rahman, M. A., Khan, M. A. I., Jobair Hossain, M. S., Hossain, M.A. & Haque, S. S. (2002). Quantitative karyotype analysis of *Lycopersicum esculentum* cv. Oxheart. *Pakistan Journal of Biological Science*, 5 (5): 581-584.
- Rizzini, L., Favory, J. J., Cloix, C., Faggionato, D., O'Hara, F. A., Kaiserli, E., Baumeister, R., Schäfer, E., Nagy, F., Jenkins, G. I. & Ulm, R. (2011). Perception of UV-B by the Arabidopsis UVR8 protein. *Science*, 332 (6025): 103-106.
- Rzedowski, G. & Rzedowski, E. 2004). Manual de malezas de la región de Salvatierra, Guanajuato. (2004). *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. XX: 1-316.
- Rodríguez Mendoza, Ma. N., Alcántar González, G., Aguilar Santelises, A., Etchevers Barra, J. D. & Santizó Rincón, J. A. (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Tierra Latinoamericana*, 16 (2): 135-141.
- Rick, C. M. & Holle, M. (1990). Andean *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*. Genetic variation and its evolutionary significance. *Economy Botany*, 44: 69-78.
- Suchar, V. A. & Robberecht, R. (2017). Integration and scaling of UV-B radiation effects on plants: the relative sensitivity of growth forms and interspecies interactions. *Journal of Plant Ecology*, 11 (4): 656-670.
- Salgado-Meraz, L., Lobato-Ortiz, R., Pérez-Flores, L. J., Cruz-Izquierdo, S., Peña-Valdivia, C. & García-Zavala, J. (2018). Diversidad agronómica de poblaciones de jitomate tipo “cherry” *S. lycopersicum* L. y *S. pimpinellifolium* L. con potencial en el mejoramiento genético. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41 (4): 499-507.
- Sanz-Murillo, M., Xu, J., Belogurovd, G. A., Calvoe, O., Gil-Carionf, D., Moreno-Morcilloa, M., Wangb, D. & Fernández-Torneroa, C. (2018). Structural basis of RNA polymerase I stalling at UV-light-induced DNA damage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (36): 8972-8977.

- Salter, W. T., Turnbull, T. L., Rennenberg, H. & Adams, M. A. (2017). Solar UV Upregulates photoprotection but slows photosynthesis in subalpine Australian plants. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 49 (4): 673-685.
- Schieber, A. & Weber, F. (2016). Carotenoids. *Handbook on Natural Pigmentos in Food and Beverages*, 101-123.
- SAGARPA, (2016). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Monografías de Cultivos. Subsecretaria de Fomento a los Agronegocios. Extraído el 20 de Octubre de 2017. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>
- SAGARPA, (2018). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Subsecretaria de Agricultura. Extraído el 20 de Octubre de 2018. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>
- Sierra-Muñoz, J. C., Siqueiros-Delgado, M. E., Flores-Ancira, E., Moreno-Rico, O. & Arredondo-Figueroa, J. L. (2015). Riqueza y distribución de la familia Solanácea en el estado de Aguascalientes, México. *Botanical Sciences*, 93 (1): 97-117.
- Sandoval, C. & Edding, M. (2015). Efecto de la radiación UV sobre la fotosíntesis de *Zostera Chilensis*, proveniente de dos localidades del norte de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 50 (S1): 187-192.
- Sidler, C., Li, D., Kovalchuk, O. & Kovalchuk, I. (2015). Development-Dependent expression of DNA repair genes and epigenetic regulators in *Arabidopsis* plants exposed to ionizing radiation. *Radiation Research*, 183: 219-232.
- Särkinen, T., Bohs, L., Olmstead, R. & Knapp, S. (2013). A phylogenetic framework for evolutionary study of the nightshades (Solanaceae): a dated 1000- tip tree. *BMC Evolutionary Biology*, 13 (214): 1-15.
- San Martín-Hernández, C., Ordaz Chaparro, M., Sánchez-García, P., Beryl, Colinas-León, M. T. & Borges-García, L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L). Producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencias*, 46 (3): 243-254.
- Sarghein, S. H., Carapetian, J. & Khara, J. (2011). The effects of UV radiation on some structural and ultrastructural parameter in pepper (*Capsicum logum* A. D. C.). *Turk J Biol.*, (35): 69-77.

- Sun, Z. H., Chen, Z. Y., Zhang, Q. A., Fang, L., Li, J. A., Jiang, S.T. & Cao, S. Q. (2011). A role for Ethylene Insensitive 2 gene in the regulation of the ultraviolet-B response in Arabidopsis. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33:1025-1030.
- Scott, J. W. (2008). Fresh Market Tomato Breeding in the USA. *Acta Horticulturae*, 789: 21-25.
- Schmidt, A., Ormrod, D. P., Livingston, N. J. & Misra, S. (2000). The interaction of ultraviolet-B radiation and water deficit in two Arabidopsis thaliana genotypes. *Annals of Botany*, 85 (4):571–575.
- Stevens, P. F. (2001). Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017.  
<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.
- Staxén, I., Bergounioux, C. & Bormann, J. F. (1993). Effect of ultraviolet radiation on cell division and microtubule organization in petunia hybrid protoplast. *Protoplasma*, 173: 70-76.
- Tesema-Terfa, M., Roro, A. G., Olsen, J. E. & Torre, S. (2014). Effects of UV radiation on growth and postharvest characteristics of three pot rose cultivars grown at different altitudes. *Scientia Horticulturae*, 178 (2014): 184-191.
- Tafurt-Cardona, Y. & Martin-Morales, M. A. (2014). Principales mecanismos de reparación de daños en la molécula de AND. *Revista Biosalud*, 13(2): 95-110.
- Torres-Nájera, M. A., López, L. I.; De La Cruz, G. & Silva, S. (2013). Solanáceas Mexicanas: Una Fuente de Nuevos Agentes Farmacológicos. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5 (10): 27-32.
- Techawongstien, S., Lapjit, Ch., Khamkula, K., Komnoo, J., Yokla, W., Prasomsuay, T. & Suemanotham, P. (2009). Varietal improvement of cherry tomato for good quality and high yield. *Khon Kaen Agr. J.*, 37, 51-60.
- Tuteja, N., Ahmad, P., Panda, B. B. & Tuteja, R. (2009). Genotoxic stress in plants: Shedding light on DNA damage, repair and DNA repair helicases. *Mutation Research*, 681: 134-149.
- Thompson, C. L. & Sancar, A. (2002). Photolyase/cryptochrome blue-light photoreceptors use photon energy to repair DNA and reset the circadian clock. *Oncogene*, 21: 9043-9056.
- Tierch, T. R., Chandler, R.W., Wachtel, S. S. & Elias, S. (1989). Reference Standards for Flow Cytometry and Application in Comparative Studies of Nuclear DNA Content, 10: 706-710.
- Tevini, M., Iwanzik, W. & Teramura, A.H. (1983). Effects of UV-B radiation on plants during mild water stress, II. Effects on growth, protein and flavonoid content. *Z. Pflanzenphysiol*, 110: 459-467.
- Tevinj, M., Thoma, U. & Iwanzik, W. (1982). Effects of Enhanced UV-B Radiation on Germination Seedling Growth, Leaf Anatomy and Pigments of Some Crop Plants. *Zeitschrift Für Pflanzenphysiologie*, 109 (5): 435-448.

- Titu, H. (1966). Studil microsporogenezei la haploidul de *Lycopersicum esculentum* Mill. Stud. Si Cercet. Biol. Ser. Bot., 18: 455-460.
- Ulm, R. & Jenkins, G. I (2015). Q & A: How do plants sense and respond to UV-B radiation? BMC Biology, (2015):13:45.
- Ugborogho, R. E. & Sodipo, E. O. (1985). Cytomorphological studies on *Lycopersicum esculentum* Miller complex (Solanaceae) in Nigeria. Bol. Soc. Brot., 58: 27–42.
- Upcott, M. (1935). The cytology of triploid and tetraploid *Lycopersicum esculentum*. Journal of Genetics, 31 (1): 1-19.
- Václavík, T., Beckmann, M., Cord A. F. & Bindewald, A.M. (2017). Effects of UV-B radiation on leaf hair traits of invasive plants-Combining historical herbarium records with novel remote sensing data. Plos One. 12 (4): 1-18.
- Vivek, P. & Duraisamy, V. M. (2017). Study of growth parameters and germination on tomato seedlings with different growth media. International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR), 7 (3):461-470.
- Verdaguer, D., Jansen, M. A. K., Llorens, L., Morales, L. O & Neugart, S. (2017). UV-A radiation effects on higher plants: Exploring the known unknown. Plant Science, (255): 72–81.
- Vanhaelewyn, L; Prinsen, E., Van Der Straeten, D. & Vandebussche, F. (2016). Hormone-controlled UV-B responses in plants. Journal of Experimental Botany, 67 (15): 4469–4482.
- Vargas, L. A. (2014). Recursos para la alimentación aportados por México al mundo. Arqueología Mexicana, 130: 36-45.
- Vera, C., Hinojosa, A., Tapia, M. L., González, D., Bustamante, A. Luchsinger, L. & Escalona, V. (2014). Efecto de la radiacion UV-B sobre los pigmentos y compuestos funcionales en dos cultivares de acelga “tipo Baby”. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 15 (2): 193-200.
- Vásquez-Ortiz, R., Carrillo-Rodríguez, J.C. & Ramírez-Vallejo, P., (2010). Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del Centro y Sureste de México. Naturaleza y Desarrollo, 8 (2):492-63.
- Vallejo, F. & Estrada, S. (2002). Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional, sede Palmira, Colombia. Ed. Feriva. Palmira.

- Villaseñor-Ríos, J. L. & Espinosa-García, F. J. (1998). Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica, Pp. 448.
- Wu, F. & Tanksley, S. D. (2010). Chromosomal evolution in the plant family Solanaceae. *BMC Genomics*, 11 (182): 1-11.
- Williams, B. & Dickman, M. (2008). Plant programmed cell death: can't live with; can't live without it. *Molecular plant pathology*, 9 (4): 531-544.
- Wellburn, A. L., (1994). The spectral determination of Chlorophylls a and b, as well as total Carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal plant physiology*, 144: 307-313.
- Yang, T. J. (2005). In-depth sequence analysis of the tomato chromosome 12 centromeric region: identification of a large CAA block and characterization of pericentromere retrotransposons. *Chromosoma*, 114: 103–117.
- Zheng, W., Komatsu, S., Zhu W, Zhang, L., Lil, X., Cuil, L. & Tian, J. (2016). Response and Defense Mechanisms of *Taxus chinensis* Leaves Under UV-A Radiation are Revealed Using Comparative Proteomics and Metabolomics Analyses. *Plant and Cell Physiology*, 57 (9): 1839–1853.
- Zlatev, Z. S., Lidon, F. J. C. & Kaimakanova, M. (2012). Plant physiological responses to UV-B radiation. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24 (6): 481-501.
- Zhang, Z. P., Wu, L. H. & Hou, X. G. (1996). Karyotype analysis of four cultivars of tomato. *J. Henan Vocational-Techn. Teaching Coll*, 24 (2): 31–34.

**CAPÍTULO XI**

**11.0-ANEXOS**

**11.1-FORMATO DE ALOJAMIENTO DE LA TESIS EN EL  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**11.2-ANEXO FOTOGRÁFICO**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

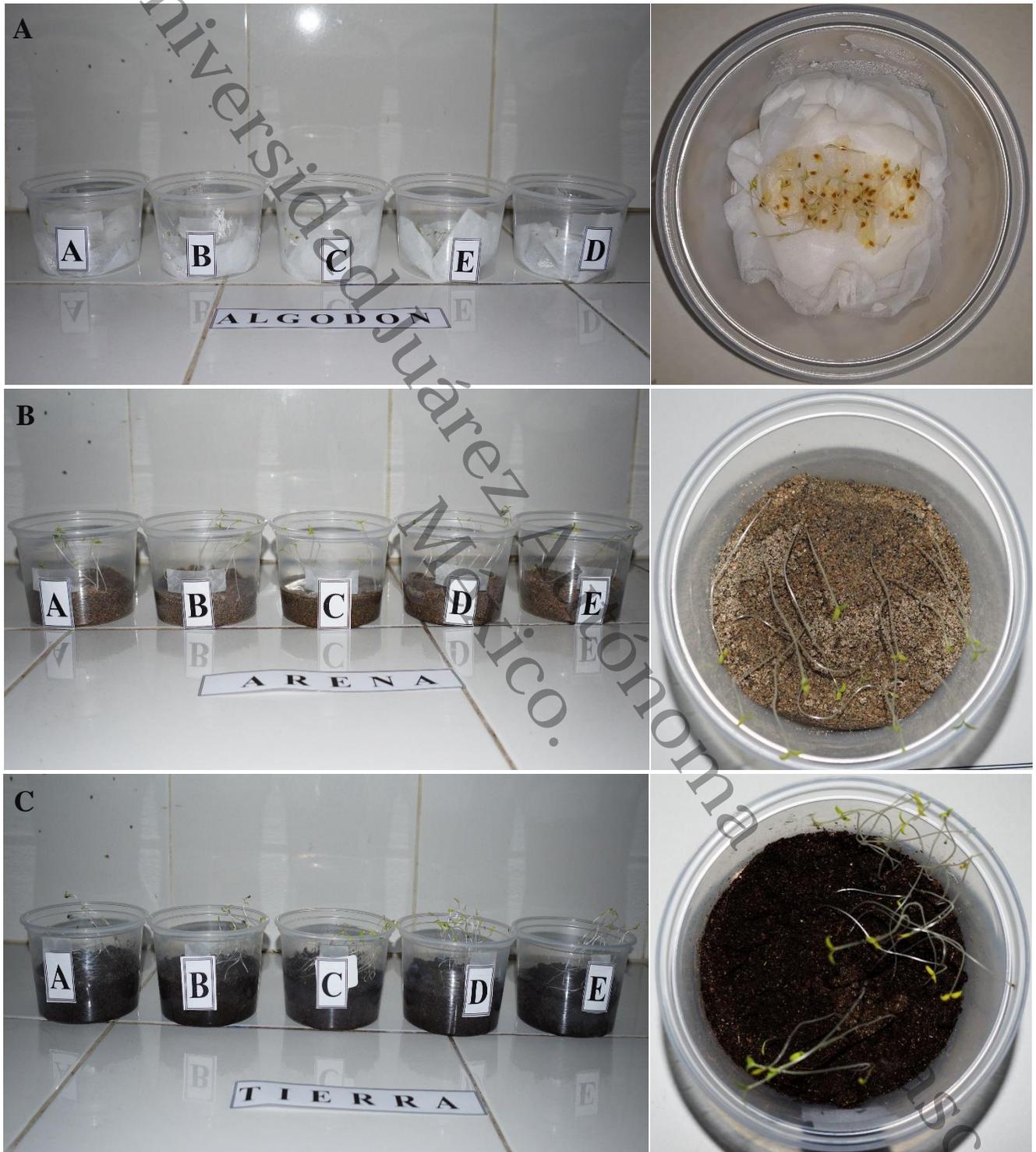
## 11.1-FORMATO DE ALOJAMIENTO DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de Tesis:	FENOLOGÍA, FISIOLOGÍA, CITOLOGÍA Y EFECTOS DE LA RADIACIÓN (UV) SOBRE LA SOBREVIVENCIA, ESTRUCTURA INTRACELULAR Y EXTRACELULAR DE GERMINADOS TEMPRANOS DEL TOMATILLO SILVESTRE <i>Solanum lycopersicum</i> L.
Autor(a) o autores(ras) de la Tesis:	WILBERT HERNÁNDEZ SÁNCHEZ LENIN ARIAS RODRIGUEZ
ORCID:	Your ORCID iD: 0009-0008-4574-2936 Your ORCID record is <a href="https://orcid.org/0009-0008-4574-2936">https://orcid.org/0009-0008-4574-2936</a>
Resumen de la Tesis:	El tomate es una planta nativa de América, la cual cuenta con una amplia diversidad de parientes silvestres, tales como el tomatillo silvestre <i>Solanum lycopersicum</i> L. La planta, es común en las regiones tropicales de México y considerado el ancestro del tomate domesticado con importancia económica y cultural. Es por ello, que en la presente investigación se evaluó la diversidad morfológica, morfológica y fenológica de frutos recolectados en seis municipios del estado de Tabasco en México, se determinó la capacidad de germinación y el establecimiento de las mejores condiciones de sustrato para la germinación en condiciones de laboratorio, para la producción y estudios en plántulas cultivadas "in vitro". También, se estudió el ciclo de vida del tomatillo tabasqueño en condiciones de invernadero desde la germinación, la producción de frutos y hasta la senescencia de las plantas. Por otro lado, mediante técnicas de citología de alto contraste, se determinó el ciclo celular en mitosis y se estableció un nuevo citotipo de esta especie de 2N=14 cromosomas. Por último, se evaluó los efectos de once dosis de radiación ultravioleta (UV) sobre germinados tempranos, todo ello con el fin de desarrollar un modelo biológico de origen nativo para su empleo en condiciones naturales de cultivo en sistemas tradicionales del trópico mexicano. Todo lo anterior, ha contribuido de manera significativa, en la generación de valiosa información de una variedad de tomate silvestre con valor histórico, cultural, económico y agronómico; y con ello generar estrategias que garanticen su permanencia en su medio silvestre y que permanezca como patrimonio de valor incalculable dentro de la diversidad de las riquezas vegetales de México.

Palabras claves de la Tesis:	TOMATILLO SILVESTRE, SUSTRATO, GERMINACIÓN, PLANTULAS, CICLO CELULAR, CROMOSOMAS, RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.
Referencias citadas:	FORMATO APA, SEXTA EDICIÓN 183 REFERENCIAS CITADAS CONSULTAR DE LA PAGINA 105 A LA PAGINA 120

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

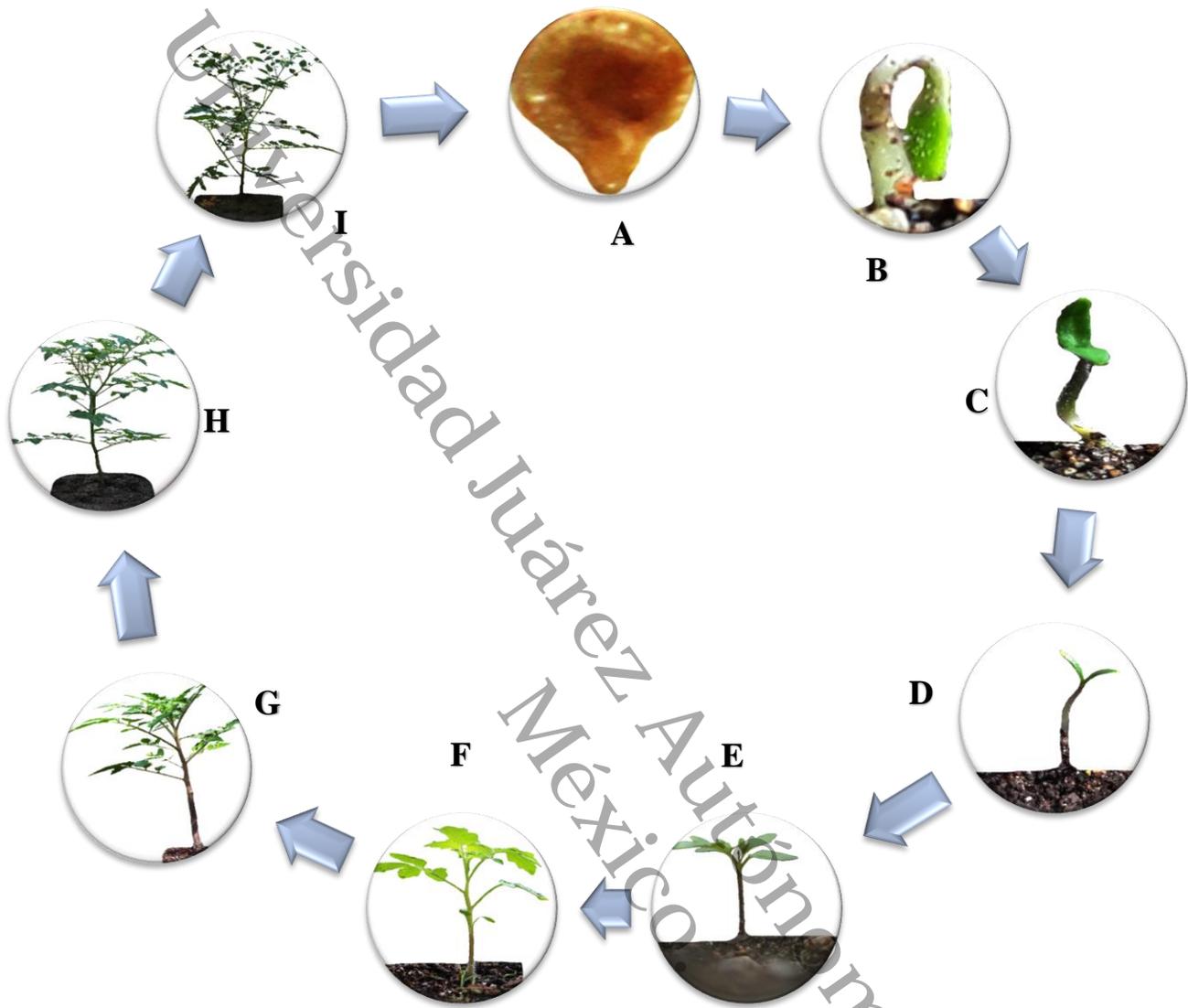
## 11.2-ANEXO FOTOGRAFICO



**Figura 32.** Fotografías que representan la germinación de semillas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L, en condición de laboratorio y empleando cuatro diferentes sustratos; Algodón (A), Arena (B), Tierra (C); el sustrato Agarosa se representa en la figura 32 y en donde se continúa con las imágenes que representan el resto de los análisis de germinación. Fotografías Original por el Autor W. H. S., tomada con cámara Sony Alfa 3500.



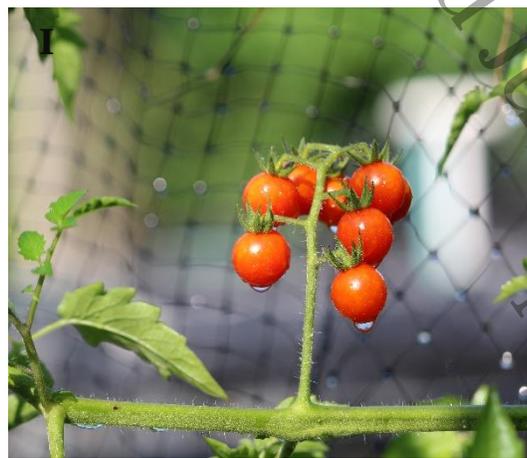
**Figura 33.** Fotografías que representan la germinación de semillas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L, en condición de laboratorio y empleando cuatro diferentes sustratos y en donde la primer imagen corresponde a la Agarosa (D), sustrato en el que se observaron los mayores niveles de germinación. Las siguientes imágenes representan el análisis de germinación en condición de invernadero (E) y en la última imagen (F) se aprecia el sustrato orgánico empleado para este análisis y el crecimiento de las plántulas en este material. Fotografías Originales por el autor W. H. S., tomado con Cámara Sony Alfa 3500.



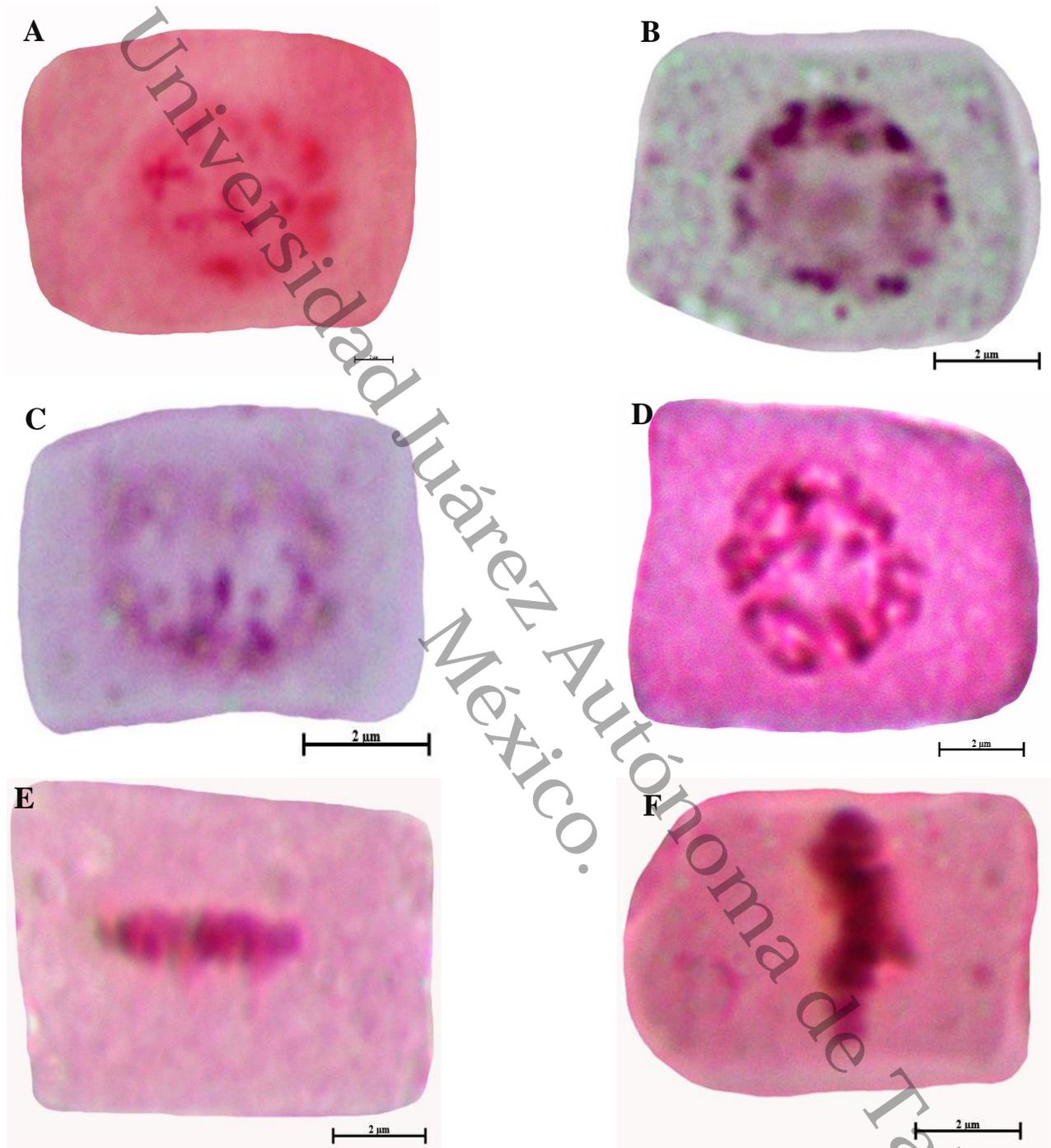
**Figura 34. Ciclo Fenológico** en condición de invernadero de una planta del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L, desde semilla (A), germinación durante la primer semana; un día, altura de 0.5 cm (B), Dos días, altura de 1.2 cm (C), tres días, altura de 2 cm (D), siete días, altura de 5 cm (E), planta de 15 días de crecimiento (F), planta con crecimiento de 30 días (G), planta con crecimiento de 45 días ( y planta con crecimiento de 60 días, con flores y primeros frutos (I). Fotografías Originales por el autor W. H. S., tomado con Cámara Sony Alfa 3500.



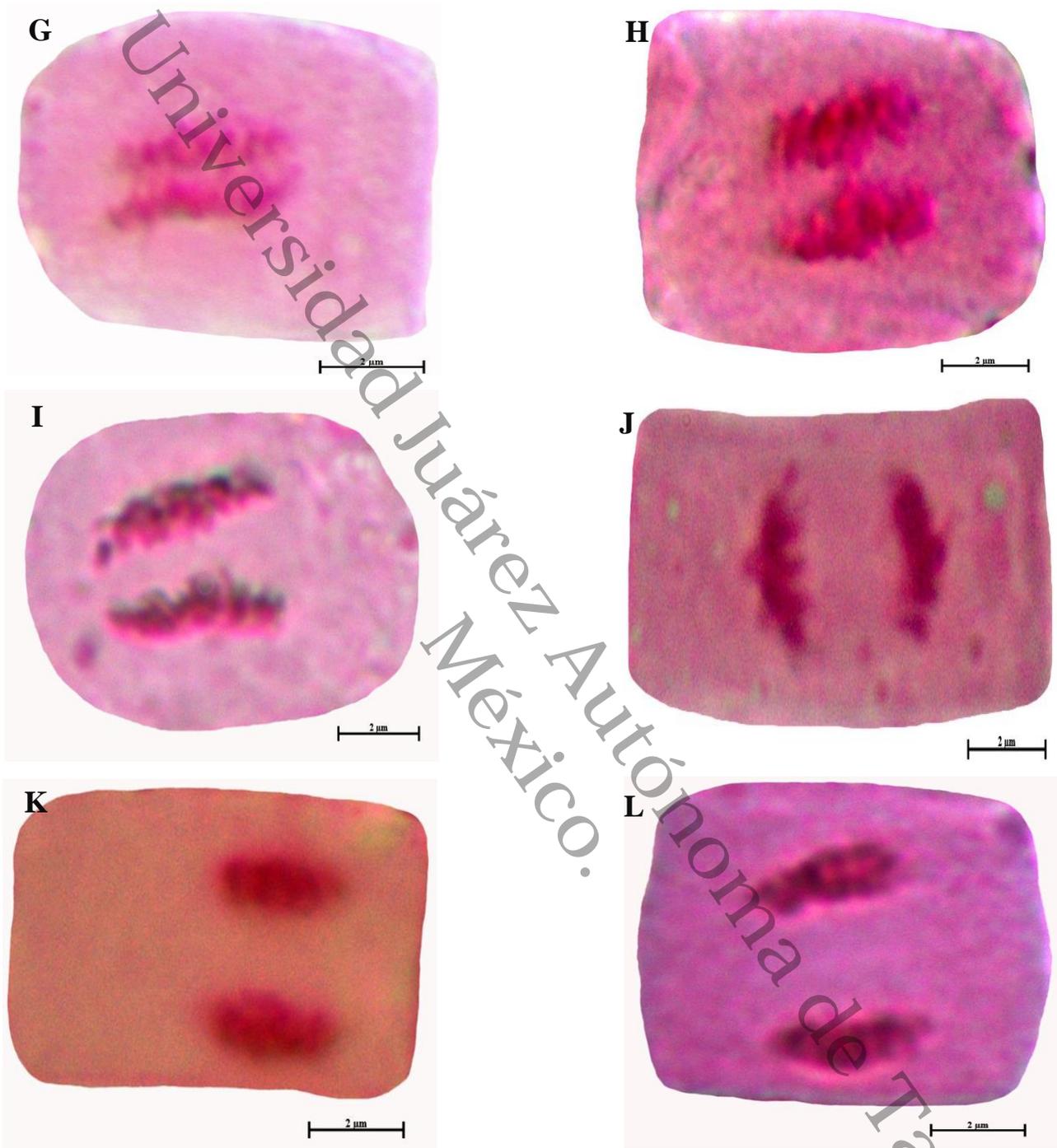
**Figura 35.** Fotografías que representan etapas del proceso fenológico del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L, desde plántula (A), floración (B), cuajado de los primeros frutos (C), crecimiento de frutos, hasta alcanzar la talla de madurez (D, E y F), el resto del proceso fenológico continúa en la siguiente página. Fotografías Originales por el autor W. H. S., tomado con Cámara Sony Alfa 3500.



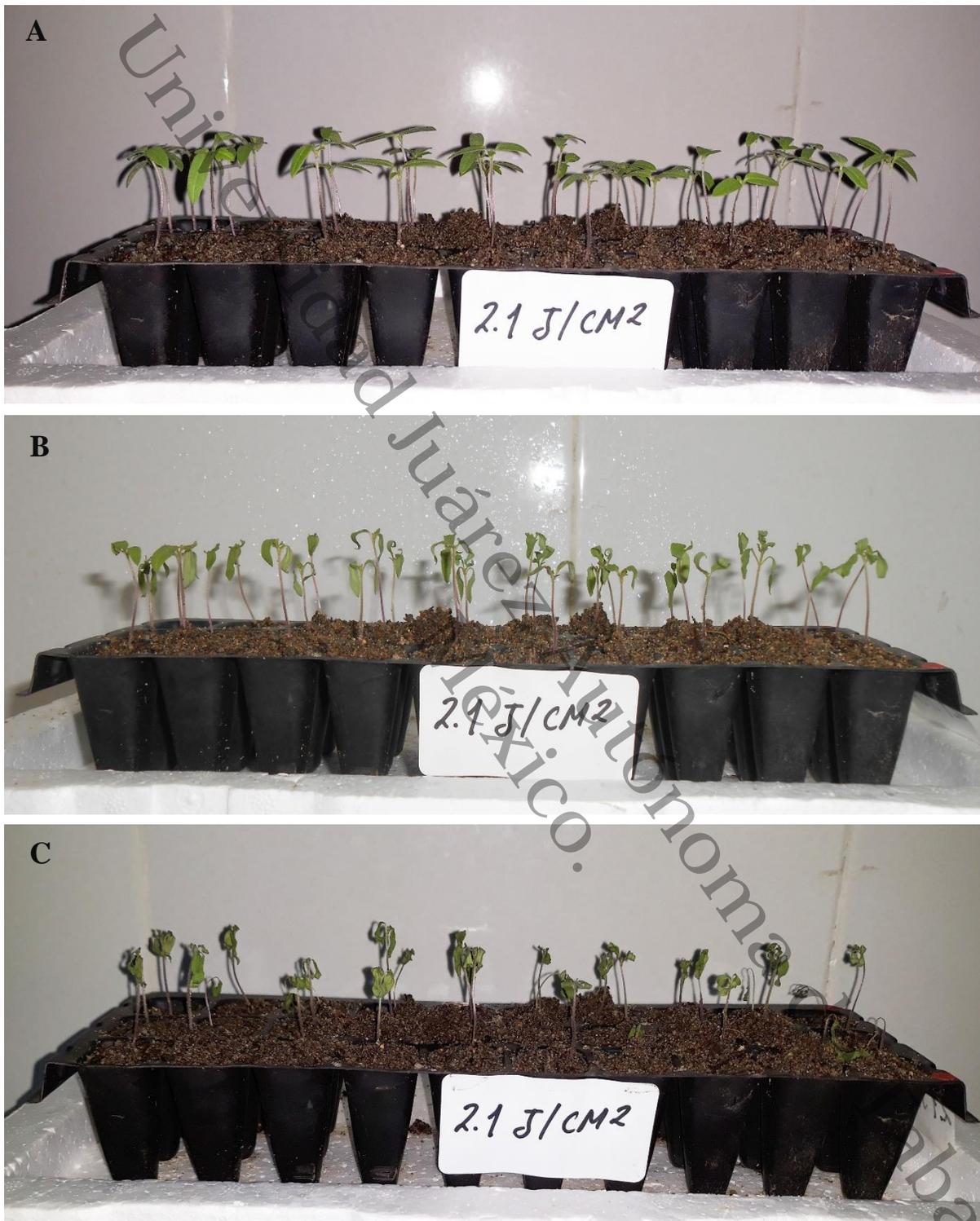
**Figura 36.** Imágenes que dan continuidad al proceso fenológico representado en la figura 30, inicio de la etapa de maduración (G y H), etapa de maduración de los frutos en donde sobresale un color rojo intenso (I, J y K) y en la última fase del proceso fenológico, está la cosecha y aprovechamiento de los frutos maduros del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L (L). Fotografías Originales por el autor W. H. S., tomado con Cámara Sony Alfa 3500.



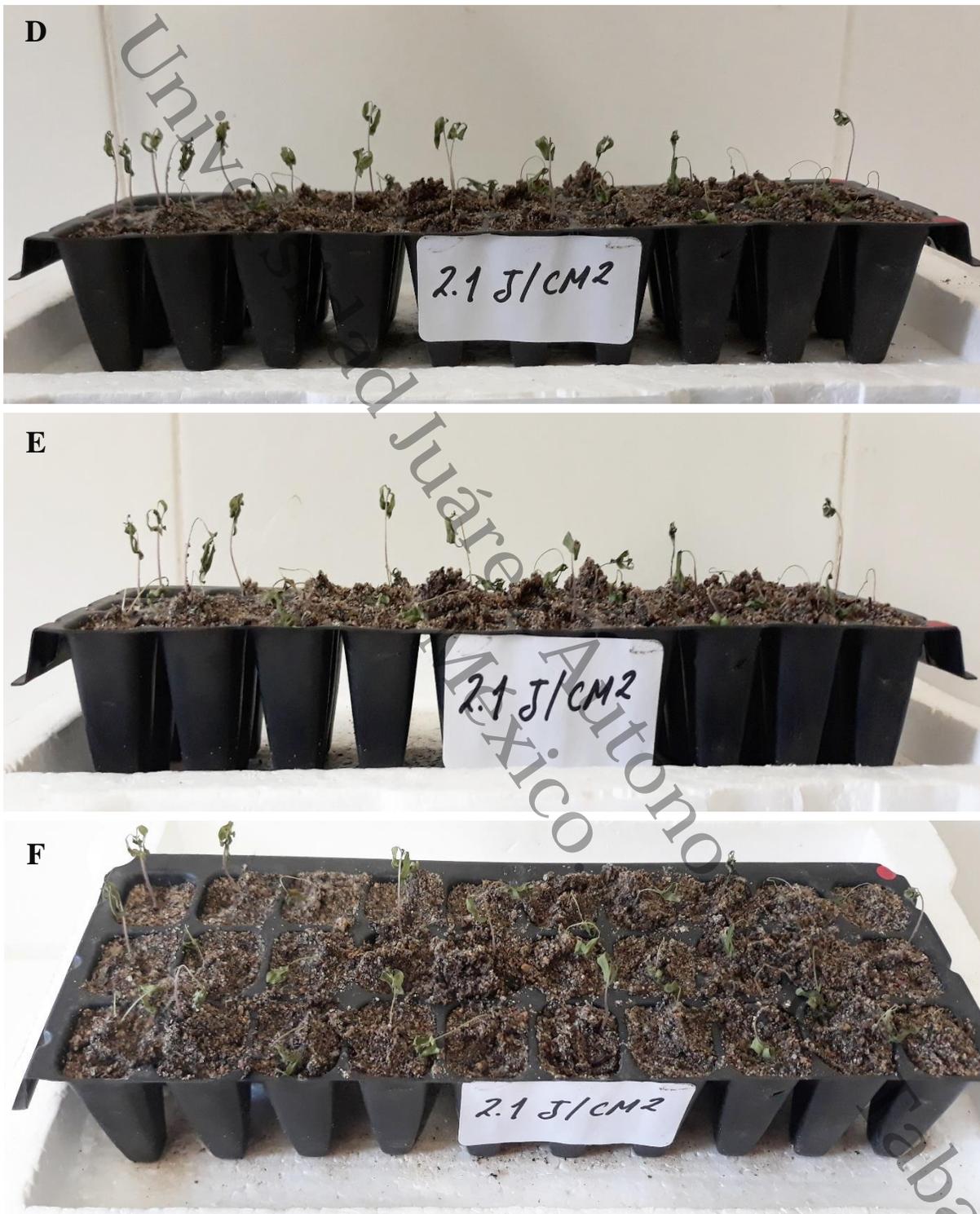
**Figura 37.** Etapas del ciclo celular en mitosis del ciclo celular del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L, Interfase con núcleo central (A, B), en la profase media se observan núcleos con presencia de una par de nucléolos semitransparentes fusionándose en el núcleo en crecimiento (C, D), en la metafase temprana, se observa el alineamiento de los cromosomas, aun no se han separado por completo, cada uno de ellos establecidos temporalmente en regiones propias (E y F). El resto de las fases del ciclo celular del tomatillo silvestre continúa en la **Figura 38**.



**Figura 38.** Continuación del ciclo celular del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L, en la que se observan la Anafase temprana en la que se puede apreciar dos conjuntos diploides de cromosomas que inician la separación, pero aún se mantienen en contacto (G), en la Anafase media se observa la migración de las dotaciones cromosómicas en sentidos opuestos (H), en la Telofase se puede apreciar la configuración típica de dos paquetes cromosómicos semisólidos en movimiento, ambos ocupan polos opuestos a lo largo del citoplasma celular (I y J), por último en la Citocinesis se puede apreciar la cromatina altamente dispersa en varias regiones y puntos más densos (K y L).



**Figura 39.** Imágenes que muestran, los efectos de la Radiación UV, sobre plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L, irradiadas con la dosis  $2.1 \text{ J/cm}^2$ ; el efecto a que representado es a nivel foliar; estos efectos se documentaron cada 24 horas. En la primer imagen se aprecian plántulas antes de ser irradiadas (A), en la siguiente imagen se aprecian las mismas plántulas estresadas, 24 horas posteriores de ser irradiadas (B), 48 horas después, había ejemplares muertos y con daños de clorosis y quemaduras en las hojas (C). El análisis continúa en la siguiente página, **Figura 40.**



**Figura 40.** En la imagen (D), se muestran los efectos de la radiación UV, en plántulas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., 72 horas posteriores a la irradiación, se aprecian ejemplares muertos y con quemaduras en hojas, en la imagen (E), se aprecia que de 30 ejemplares irradiados, solo nueve están aún vivos, pero con severo daño en hojas y tallos, 21 plántulas han muerto, al cuarto día del experimento; en la imagen (F), corresponde al quinto día de análisis y en el que prácticamente todos los irradiados han muerto, cabe mencionar que estas imágenes corresponden a una réplica de la dosis 2.1J/cm.



**Figura 41.** Fotografías de algunos insectos plaga, localizados en plantas del tomatillo silvestre *S. lycopersicum* L., que causaron daños en hojas y frutos durante el ciclo de vida de las plantas, empleadas en esta investigación; Gusano soldado *Spodoptera exigua* (A), Gusano alfiler *Keiferia lycopersicella* (B), Mosca blanca *Bemisia tabaco* (C), Gusano falso medidor *Trichoplusia ni* (D), piojo harinoso *Planococcus citri* (E) y palomillero dorso de diamante *Plutella xylostella* (F). Fotografías Original por el autor W. H. S, tomado con Cámara Sony Alfa 3500.