



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

**MANEJO ALTERNATIVO DE PLAGAS Y
ENFERMEDADES DEL NOPAL VERDURA
(*Opuntia ficus-indica*) EN TLALNEPANTLA,
MORELOS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**

P R E S E N T A:

ALVARO GONZALEZ HERNANDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Dagoberto Guillén Sánchez (†)

Cuernavaca, Morelos. Enero de 2022



**FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 13 de diciembre de 2021.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

DR. IRÁN ALIA TEJACAL
DR. VÍCTOR LÓPEZ MARTÍNEZ
DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
DR. EDGAR MARTÍNEZ FERNÁNDEZ
DR. NELSON AVONCE VERGARA
DR. DANIEL BÁRCENAS SANTANA
COMITÉ REVISOR.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **MANEJO ALTERNATIVO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus-indica*) EN TLALNEPANTLA, MORELOS**, que presenta el **M. en C. ALVARO GONZALEZ HERNANDEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. DAGOBERTO GUILLÉN SÁNCHEZ (†)**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. DAGOBERTO GUILLEN SÁNCHEZ (†)
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

PORFIRIO JUAREZ LOPEZ | Fecha:2021-12-14 20:31:42 | Firmante

XSnUN+ghpyCxd1Je3DVfhZg1w60pmYFWq1F4Mk/1goUXHl0HTmOIHxllQbeol/jmAFZGxa9Y1UYnONMUyMutGOzHEjgyGlb97XZ0ip3sUApP1UxVYcfCUNAU6fsPLvmd8N1j0m7d8zFsSUIR9AKfDwxctjP+lmZL3T+pzFOtK52i0TnyXIEv37kz4DNlj5sc3/KMQ5QRa b1lpWqTjAgp1Nyh7SkS3U6AdqLN8VKq1/5brVSAAtALzwmjlrjKgpSaYvYOAG3JMD2oCZLz1IE/68MrHeBmM1RAHY1/Y1SRFqsUN 56X7350ILYxu5zyuk/Duzh8cuEo85mb8aLhDG1w==

DANIEL BÁRCENAS SANTANA | Fecha:2021-12-14 21:09:01 | Firmante

fnMEuEfsNynYxduj1CSlI6TrzqsgEZfu1cHc+tW5ZjVpnMo1lujjyimGOQjUFGs9kQRoa5RyJywGnvl+Gul9GAGwEiGZlZFHQXdHlhZ Wmy+fWLE9srdxpF8koaOEy98hMta0EpusFFWjpy91zGn6E5tZd8hIEcm6xwvtBp68xonxASwd7ZjRjyUBvkqF+yYBc9PLvGRHFUAIL Rb7jg38kZQVHLthWxWBnM9fyNLISIVLHBjCJLwvunT5dXzPEAVuUcJXmYIQ1KnM9bBIO6znUH5P2PymVYXosOVpq2USYjloFzz M+SmtOTFqPPBZOKeE9o7mQpw4ni5Ina42MvBkyw==

IRAN ALIA TEJACAL | Fecha:2021-12-15 06:08:45 | Firmante

YkjVKK3LsKhOehSfrBYWi5nr6QP0r3+odr8FA+z9CmyQesPOznAlgDxe8QJrFmNcGjY0L4t9F2FFeNaNG6UURnsVMEptjJ5ykkc2YWGAFe+b03+uf+J9YQkBrX60wJPUb52Zn0sJfnjzXDoJK/jr60FcN1z1ZiKsL3gbK/av7u4j4Kgbv4GdfhweDKb/lfx3dZ+sBQhXhSNA WKv4kSiWjEAFcXlK/EE2CHJfZ5KY5q6PjuijTWO+Mwne+q+DWU4FAX6WHN08fB4doYiqTPHZe1DYHhNdCuFf7bU3j5jOccVM mv6tisfb7sULRZ44vKtrFulPX/OeGpyj/lyg==

EDGAR MARTINEZ FERNANDEZ | Fecha:2021-12-15 09:25:19 | Firmante

KMM/McK9bAGaCvQUPEYpA9lzd18ouVMPqvzLCWUqdRfeJg0sBJhrpUKlxd23ZaNPPS7OtH7copIFBtqsJv4bWIBYR12S1kFhtP1jT sklvM8R29POOCX1xq+WWLQLyxD4RtO9Rl5mHVgBCn5a+k3jFxuQpt6fuyuj1TClnrDmzsv1/MrOoP2q6Dq6NOCabwoGVRlR0nTvvi Wdr3mRgQLe0lmJeS208Wffm7SRyEmUhfRv3dFvKOlNawUBKs7UPZn1t59z/ +ss2v1b6669eKnZ1SoDpsLDn6QCtKZ/9YwUfdV7akHaYiRVk6Jz6uwjv1yk1gu1ESUpxxZWAYfcl4Ug==

NELSON AVONCE VERGARA | Fecha:2021-12-15 09:41:09 | Firmante

EyQk7MuqR5RmQlBQBNUWh5buijmSys3Qs9S5B03s7ZRkJP1z/sfg+5HHHXiOpFzGz4ug7ZljpDJ00ursaxTlJxiSczPScqWzF1RTZl qPO7LjxiTQpOJ20X3ZyDptUBHjB6gsmAT1rv5r5CD1RhCDjv7m1Dp/ +qM2pKkp5EnzUsAmGezC6T2pE92oHYE3y2F2E8Psm3iPjzSLiv9bIRYavjvOIdKHk0EiewXrmZcQJMWb5uNbEUKAhCCJE3uxdx Pg+3DFjszwXBBWB9OmBvX6g8+KN3YbfCHfsYBpnAxOGEB3tD5uKlKkdQo3n9YkeQCVdRAGLoinX5DZx7aQQ==

VICTOR LOPEZ MARTINEZ | Fecha:2021-12-15 10:17:36 | Firmante

J7mSBR88wvMIUxS3OYrsQWqsQpKhKED5ALU/dP9pEo9mYBVzO+1ExuBHDxUSCeX1Ufc4D/RjW/z3p6wT/kAsYfRVBlgTRly1 iPodFv3CDx1C0hoqqMH9nb+Sz+KrmhZfCjchp1KwAZzxCDyhMpEcCAxd7PEemZ0QQ6xz3XkLkEdHfk/YghENOOgZ/ +JQVdf3KQqWbQrjB2ew+Zk3kxqp9WAHnkREkOrJEIOANFIx1pDVBCoCjGoywjz43np1kd0h7Ldv8A6aiSHFPZZ3P51IbzbLQUY BML/HvH6W8cCKzAqJd7tKXqhtrfRuQmywH/Ns/SbVcdXs9uXB8azg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



iDCI208pV

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/0mZiPEio43wudrJaAGCzVw8f7Ob3tsb8>

AGRADECIMIENTOS

Al ser supremo creador de todas las cosas, a quien debo mis logros al señor Jesucristo y mi padre Jehová.

Al honorable Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el incentivo económico y por brindarme la oportunidad de cursar un posgrado de calidad con el número de registro (No. 331402).

Un agradecimiento especial a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y al campo experimental de la misma institución por abrirme sus puertas en mis estudios de doctorado.

A la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc (EESuX) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) del municipio de Ayala, por haberme permitido trabajar en laboratorio de Fitopatología y el invernadero.

Al Centro Regional Universitario Centro Norte (CRUCEN) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), así como al Dr. Clemente Gallegos Vázquez curador de la colección constituida como Depositario Nacional de Opuntia y Coordinador Nacional de la Red Mexicana del Nopal, por la donación del material para esta investigación.

Al comité revisor del trabajo: Dr. Porfirio Juárez López, Dr. Víctor López Martínez, Dr. Irán Alía Tejacal, Dr. Edgar Martínez Fernández, Dr. Daniel Bárcenas Santana y al Dr. Nelson Avonce Vergara por sus sugerencias y correcciones en esta investigación y escrito.

Al M. C. Vladimir Lezama López, coordinador del posgrado de la facultad de Ciencias Agropecuarias y al M. A. Vicente Pineda Peralta, por su apoyo brindado.

A los productores Alfredo González, Gregorio González, Arnulfo Sánchez, Justo Alvarado, Abraham Rojas, Estaban Hernández y Martin Espín.

Al **Dr. Dagoberto Guillén Sánchez (Q.D.E.P.)**, director de esta tesis por su excepcional dirección. Haciendo una mención especial, mi más sincero agradecimiento al doctor Dago por su desinteresada atención en mis estudios de posgrado, siempre fomentando el conocimiento para incentivar a sus alumnos a ser mejores personas cada día en todos los aspectos, por su humildad y empatía admirables que siempre lo caracterizaron, por esa alegría inigualable por la vida, por el respeto demostrado hacia todas las personas y seres vivos, por el respaldo ante cualquier situación académica y por muchas cosas más que solo se quedan en la memoria. La vida es hermosa cuando nos cruza en nuestro camino con personas apreciables como usted doctor Dago, pero a la vez triste cuando inesperadamente observamos su partida, de algo estamos totalmente seguros, que tarde o temprano todos estaremos en ese lugar a donde usted se encuentra ya descansando. Le brindo una sonrisa siempre levantando la mirada hacia el cielo recordando los momentos más emotivos junto a usted, pero también puede estar seguro mi buen profesor que haré lo correcto siempre en el ámbito profesional pues usted me forjó para ser una persona de bien. Hasta el cielo, gracias mi estimado y querido profesor Dago.



DEDICATORIA

Con cariño y afecto a mis padres Alfredo González Ávila y Aurelia Hernández Campos por su amor y apoyo incondicional.

A mi esposa Jeisa Sozaya Andrade, por su comprensión, amor incondicional y a nuestra hermosa hija Sophie hermoso regalo que dios nos ha dado.

A mi hermana Marta y hermanos Pedro y Alfredo González Hernández por su comprensión, cariño y apoyo en todo momento. Y a mi hermanito David (Q.E.P.D.).

A mis sobrinos (as) y amigos (as), que esto sirva de ejemplo hoy y en un futuro.

A toda mi familia que ha contribuido en mi formación personal y profesional, los estimo y quiero a todos.

Al pueblo de Tlalnepantla estado de Morelos productor de nopal verdura, a quien orgullosamente pertenezco.

Índice general

1. Introducción general.....	1
2. Objetivos.....	5
2.1. Objetivo general.....	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. Hipótesis.....	5
3.1. Revisión de literatura.....	6
3.2. Establecimiento del cultivo.....	6
3.3. Principales plagas y enfermedades y su control.....	8
3.4. Problemática con los plaguicidas sintéticos en el cultivo.....	11
3.5. Estrategias.....	14
3.6. Literatura citada.....	17
4. Capítulo I.....	28
Primer reporte de la expansión de área del gusano de la telaraña del cactus, <i>Loxomorpha Flavidissimalis</i> (Grote) (Pyralidae: Crambidae), al centro de México y centro de Texas, USA.....	28
4.1. Resumen.....	29
4.2. Abstract.....	29
4.3. Literatura citada.....	36
5. Capítulo II.....	38
Especies de <i>Fusarium</i> asociadas a la mancha negra del nopal verdura y su control biológico in vitro en Morelos, México.....	38
5.1. Resumen.....	38
5.2. Introducción.....	41
5.3. Materiales y métodos.....	43
5.4. Aislamiento e identificación.....	43
5.5. Extracción de ADN e identificación molecular del patógeno.....	44
5.6. Ensayos de patogenicidad.....	45
5.7. Inoculación en laboratorio.....	45
5.8. Inoculación en invernadero.....	46
5.9. Elaboración de extractos.....	47
5.10. Evaluación de inhibición de extractos vegetales sobre los patógenos aislados. .	47
5.11. Resultados y discusión.....	48

5.12. Identificación morfológica.....	48
5.13. Pruebas de patogenicidad.....	51
5.13.1. Inoculaciones en laboratorio.....	51
5.13.2. Inoculaciones en invernadero.....	52
5.14. Efectividad <i>in vitro</i> de extractos vegetales.....	54
5.15. Interacciones entre los diferentes extractos y sus concentraciones.....	60
5.15.1. Extractos y sus concentraciones vs inhibición micelial de <i>F. equiseti</i>	60
5.15.2. Extractos y sus concentraciones vs inhibición micelial de <i>F. lunatum</i>	62
5.16. Conclusiones.....	64
5.17. Recomendación.....	64
5.18. Literatura citada.....	65
6. Capítulo III.....	71
Efectividad de insecticidas biorracionales para el control de la cochinilla del nopal verdura <i>Dactylopius opuntiae</i> (Cockerell) en Tlalnepantla Morelos.....	71
6.1. Resumen.....	71
6.2. Introducción.....	74
6.3. Materiales y métodos.....	76
6.4. Sitio de estudio.....	76
6.5. Productos evaluados.....	77
6.6. Diseño experimental.....	80
6.7. Tratamientos.....	81
6.8. Aplicación de tratamientos.....	82
6.9. Variables de estudio.....	82
6.10. Análisis estadístico.....	84
6.11. Resultados y discusión.....	84
6.12. Niveles de infestación.....	84
6.13. Efectividad de tratamientos.....	87
6.14. Conclusiones.....	94
6.15. Recomendación.....	94
6.16. Literatura citada.....	95
7. Capítulo IV.....	102
Adaptación, productividad, calidad poscosecha y comportamiento fitosanitario de variedades de nopal verdura (<i>Opuntia ficus-indica</i>) en Tlalnepantla, Morelos.....	102

7.1.	Resumen.....	102
7.2.	Introducción.....	106
7.3.	Materiales y métodos.....	108
7.4.	Establecimiento del cultivo.....	108
7.5.	Evaluación de las variables físicas en campo.....	109
7.6.	Análisis estadístico de variables en campo.....	110
7.7.	Experimentos en el laboratorio.....	110
7.8.	Evaluación de las variables físicas en el laboratorio.....	110
7.9.	Evaluación de variables bioquímicas en el laboratorio.....	111
7.10.	Análisis estadístico de pruebas en laboratorio.....	112
7.11.	Evaluación de plagas y enfermedades en variedades de nopal verdura.....	112
7.11.1.	Porcentaje de infestación de la Cochinilla (<i>Dactylopius opuntiae</i>) en variedades de nopal verdura.....	113
7.11.2.	Incidencia de mancha negra del nopal verdura.....	114
7.11.3.	Incidencia del picudo del nopal.....	115
7.11.4.	Incidencia por lepidópteros.....	115
7.12.	Obtención de datos climatológicos.....	115
7.13.	Resultados y discusión.....	115
7.14.	Evaluaciones en campo.....	115
7.15.	Resultados del desarrollo de cladodios del segundo nivel al transcurso de un año 123	
7.16.	Resultados físicos en laboratorio de cladodios en estado de cosecha.....	125
7.17.	Resultados Bioquímicos.....	130
7.18.	Incidencia de Plagas y Enfermedades.....	135
7.18.1.	Incidencia e infestación de la cochinilla del nopal (<i>Dactylopius opuntiae</i>) en variedades de nopal verdura cultivadas en Tlalnepantla, Morelos.....	135
7.18.2.	Porcentaje de daño de picudo del nopal (<i>Cactophagus spinolae</i>) en diferentes variedades de nopal verdura cultivadas en Tlalnepantla Morelos.....	140
7.18.3.	Incidencia de daño de larvas de lepidópteros en diferentes variedades de nopal verdura (<i>Opuntia ficus-indica</i>).....	143
7.18.4.	Incidencia de mancha negra del nopal.....	145
7.19.	Datos climatológicos en el sitio de evaluación.....	146
7.20.	Conclusiones.....	147
7.21.	Recomendación.....	147

7.22. Literatura citada.....	148
8. Conclusiones generales.....	160

Índice de figuras

Capítulo I. Primer reporte de la expansión de área del gusano de la telaraña del cactus, <i>Loxomorpha Flavidissimalis</i> (Grote) (Pyralidae: Crambidae), al centro de México y centro de Texas, USA.....	28
Figura 1. Distribución Geográfica de <i>Loxomorpha flavidissimalis</i> (Grote) (Pyraloidea: Crambidae).....	30
Figura 2. Adultos y genitalia de <i>Loxomorpha flavidissimalis</i> (Grote) (Pyraloidea: Crambidae).....	32
Capítulo II. Especies de <i>Fusarium</i> asociadas a la mancha negra del nopal verdura y su control biológico in vitro en Morelos, México.....	38
Figura 1. Morfología estructural de especies de <i>Fusarium</i>	50
Figura 2. Síntomas de la mancha negra del nopal en cladodios de nopal verdura de diferentes edades inoculadas con dos especies de <i>Fusarium</i> bajo condiciones de laboratorio.....	51
Figura 3. Promedio de diámetro del avance de la infección de dos especies de <i>Fusarium</i> en cladodios de nopal verdura de diferentes edades bajo condiciones de laboratorio.....	52
Figura 4. Síntomas de mancha negra en cladodios de nopal verdura de diferentes edades, inoculados con dos cepas de <i>Fusarium</i> en condiciones de invernadero.....	53
Figura 5. Promedio de diámetro del avance de la infección por especies de <i>Fusarium</i> en cladodios de nopal verdura de diferentes edades bajo condiciones de invernadero.....	53
Figura 6. Porcentaje de inhibición micelial de <i>F. equiseti</i> por efecto de extractos vegetales acuosos.....	55
Figura 7. Porcentaje de inhibición micelial de <i>F. lunatum</i> por efecto de extractos vegetales acuosos.....	56
Figura 8. Relación de diferentes concentraciones de extractos acuosos vegetales con respecto al porcentaje de inhibición de <i>F. equiseti</i> aislado de nopal verdura variedad Milpa alta.	61
Figura 9. Tratamientos sobresalientes de extractos acuosos vegetales en la inhibición del crecimiento micelial temporal de <i>F. equiseti</i> con respecto al tiempo.....	62
Figura 10. Relación de concentraciones de extractos vegetales acuosos con respecto al porcentaje de inhibición de <i>F. lunatum</i> aislado de nopal perdura variedad Milpa alta.....	62
Figura 11. Tratamientos sobresalientes de extractos acuosos vegetales en la inhibición del crecimiento micelial de <i>F. lunatum</i> aislado de nopal verdura variedad Milpa alta.....	63
Capítulo III. Efectividad de insecticidas biorracionales para el control de la cochinilla del nopal verdura <i>Dactylopius opuntiae</i> (Cockerell) en Tlalnepantla Morelos.....	71
Figura 1. Estructura de la planta del nopal verdura.....	81
Figura 2. Porcentaje de infestación en cladodios del segundo brote después de siete días de la cuarta aplicación de los tratamientos en su dosis alta (A) y baja (B).....	85

Figura 3. Porcentaje de infestación de cochinilla en cladodios en etapa de cosecha después de siete días de la última aplicación de los tratamientos en su dosis alta (A) y baja (B).....	86
Figura 4. Efectividad de plaguicidas biorracionales en el control de la cochinilla del nopal verdura en cladodios del segundo brote, después de la última aplicación en su dosis baja (B) y alta (A).....	88
Figura 5. Efectividad de plaguicidas biorracionales en el control de la cochinilla del nopal verdura de cladodios en estado de cosecha después de la última aplicación en su dosis baja (B) y alta (A).....	89
Figura 6. Porcentaje general del control de infestación y efectividad biológica de productos evaluados para el control de cochinilla del nopal verdura variedad Milpa alta, en Tlalnepantla, Morelos.....	92
Figura 7. Control de infestación de cochinilla en cladodios de nopal verdura de tercer brote (lado izquierdo) y en etapa de cosecha (lado derecho) a los siete días después de cuatro aplicaciones con insecticidas biorracionales en su dosis alta (DA) y baja (DA).....	93
Capítulo IV. Adaptación, productividad, calidad poscosecha y comportamiento fitosanitario de variedades de nopal verdura (<i>Opuntia ficus-indica</i>) en Tlalnepantla, Morelos.....	102
Figura 1. Crecimiento de longitud de cladodios de primer brote en 2.5 años.....	121
Figura 2. Ancho de cladodios de primer brote en 2.5 años.....	121
Figura 3. Grosor medio de cladodios en variedades de nopal verdura del primer brote en 2.5 años.....	123
Figura 4. Porcentaje de severidad de cochinilla del nopal (<i>Dactylopius opuntiae</i>) en cladodios planta madre de diferentes variedades.....	137
Figura 5. Porcentaje de severidad de cochinilla del nopal (<i>Dactylopius opuntiae</i>) en cladodios de diferentes variedades del primer brote.....	138
Figura 6. Porcentaje de severidad de cochinilla del nopal (<i>Dactylopius opuntiae</i>) en cladodios de diferentes variedades del tercer brote o nivel.....	139
Figura 7. Datos climatológicos comprendidos en el periodo del presente estudio.....	146

Índice de cuadro

Capítulo II. Especies de <i>Fusarium</i> asociadas a la mancha negra del nopal verdura y su control biológico in vitro en Morelos, México.....	38
Cuadro 1. Numero de tratamientos por edades de cladodios de nopal verdura (<i>Opuntia ficus-indica</i>) variedad Milpa alta evaluados bajo condiciones de laboratorio.....	45
Cuadro 2. Numero de tratamientos por edades de cladodios de nopal verdura (<i>Opuntia ficus-indica</i>) variedad Milpa alta evaluados bajo condiciones de invernadero.....	46
Cuadro 3. Similitud de la amplificación de las secuencias ITS, Ef 1- α y β -tubulina del ADN ribosomal con las depositadas en el GeneBank de los aislamientos de <i>Fusarium</i> spp.....	50
Capítulo III. Efectividad de insecticidas biorracionales para el control de la cochinilla del nopal verdura <i>Dactylopius opuntiae</i> (Cockerell) en Tlalnepantla Morelos.....	71
Cuadro 1. Disposición de tratamientos en el campo experimental.....	80
Cuadro 2. Productos utilizados para el control de la cochinilla del nopal verdura (<i>Dactylopius opuntiae</i> Cockerell) en Tlalnepantla, Morelos.....	81
Cuadro 3. Escala logarítmica para evaluar la severidad de infestación de la cochinilla del nopal verdura.....	83
Capítulo IV. Adaptación, productividad, calidad poscosecha y comportamiento fitosanitario de variedades de nopal verdura (<i>Opuntia ficus-indica</i>) en Tlalnepantla, Morelos.....	102
Cuadro 1. Escala de grados de infestación en cladodios de nopal verdura.....	113
Cuadro 2. Escala nominal de daño de mancha del nopal verdura.....	114
Cuadro 3. Variables evaluadas en campo en diferentes variedades de nopal verdura....	117
Cuadro 4. Producción de variedades de nopal verdura a las condiciones agroclimáticas de Tlalnepantla Morelos.....	118
Cuadro 5. Vigor de cladodios de nopal del primer brote al transcurso de dos años.....	119
Cuadro 6. Vigor de los cladodios del segundo brote.....	124
Cuadro 7. Variables físicas evaluadas en laboratorio de variedades de nopal verdura producidos en Tlalnepantla Morelos.....	128
Cuadro 8. luminosidad (L), cromaticidad (Croma) y ángulo de matiz (Hue) de nueve variedades de nopal verdura <i>Opuntia ficus-indica</i> cultivados en Tlalnepantla, Morelos..	130
Cuadro 9. Características bioquímicas de diferentes variedades de nopal verdura producidos en Tlalnepantla Morelos.....	134
Cuadro 10. Número y porcentaje de perforaciones de (<i>Cactophagus spinolae</i>) con respecto a cladodios sanos en sus tres niveles en plantas comerciales de 10 cultivares de nopal verdura <i>Opuntia ficus-indica</i> en Tlalnepantla Morelos.....	141
Cuadro 11. Número y porcentaje de nopales a comercializar afectados por picudo del nopal verdura (<i>Cactophagus spinolae</i>) de 10 cultivares de nopal verdura <i>Opuntia ficus-indica</i> en Tlalnepantla Morelos.....	142

Cuadro 12. porcentaje de incidencia de larvas de palomilla (*Piralidae*) en diferentes variedades de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en Tlalnepantla, Morelos.....144

1. Introducción general

En México se estima que la superficie cultivada de nopal verdura es aproximadamente de 12,618.3 ha con una producción nacional 864,243.5 t en el 2020, de la producción nacional total los estados de Morelos producen 404,764 t (46.83 %), Ciudad de México 209,539 t (24.25 %), Estado de México 84,809.3 t (9.81 %), Puebla 31,723.76 t (3.67%) y Jalisco 22,768.62 t (2.63 %), que aportan el 87.2 % de la producción total en nuestro país.

En el estado de Morelos se conoce a los municipios de Tepoztlán, Totolapan, Tlayacapan y Tlalnepantla como los principales productores de nopal verdura con 4,222 ha sembradas y una producción de 404,764 t en el año, siendo este último municipio el de mayor importancia del estado y de todo el país (SIAP, 2020). Estas cifras mantienen al estado de Morelos como el principal productor de este producto hortícola el cual tiene un consumo per cápita de 6.4 kg por persona y que en los últimos años ha ido en ascenso aceleradamente. Se destaca también que los nopalitas tienen el 5.1 % de la participación nacional en la producción de hortalizas. El estado continúa sumando más hectáreas a la siembra de nopal, con una curva de producción que le confiere los mayores ingresos por su venta, 730 millones de pesos en 2018 (SADER, 2020).

Las exportaciones del nopal verdura son de aproximadamente 20 millones de dólares anuales, sobre todo para los mercados de Estados Unidos, Corea del Sur, Bélgica, Japón, República Checa, Tailandia, El Salvador, Emiratos Árabes Unidos, Taiwán, Reino Unido y Suiza. También cabe resaltar que esta verdura forma parte del grupo vegetativo de las cactáceas, siendo el más importante cultivo comercial dentro de su género, ya que el cultivo requiere una menor cantidad de agua comparado con otro tipo de productos agrícolas (FNDARFP, 2020).

El nopal verdura contiene una alta cantidad de fibra soluble (pectina, gomas y mucílagos), a la cual se le atribuye una acción medicinal que beneficia a los procesos digestivos. La fibra que contiene reduce la cantidad de lipoproteínas y

disminuye el colesterol en la sangre. De igual manera, se destaca su acción hipoglucemiante ya que su alto contenido de fibra soluble y pectinas intervienen favorablemente en la absorción de glucosa a nivel intestinal. Se enfatiza que el nopal verdura posee un alto contenido de calcio (Ca) (93 mg/100 g) y potasio (K) (166 mg/100 g) dicha concentración de calcio beneficia al control de la osteoporosis (Torres-Ponce *et al.*, 2015).

Su contenido de fibra cruda está entre 12-18 % de peso seco, propiedad que le ha permitido posicionarse como una buena fuente de fibra dietética (Osorio-Córdoba *et al.*, 2011). Otros minerales que contiene el nopal verdura además del calcio y el potasio son el magnesio, silicio, sodio y pequeñas cantidades de fierro y aluminio, entre algunos otros. La proporción de minerales también cambia con la edad del cladodio (Hernández-Urbiola *et al.*, 2010).

Los cladodios tiernos del nopal son utilizados usualmente como tratamiento alternativo en pacientes no dependientes de insulina, a los cladodios se les retira las espinas, se licuan en crudo y se consumen por las mañanas, el resultado es una disminución de los niveles de glucosa postprandial (Andrade y Wiedenfeld, 2011). Todas estas propiedades benéficas para la salud humana hacen que el nopal verdura sea un alimento muy importante en la dieta diaria, además que sus cladodios comúnmente se consumen en fresco, aunque tienen una gran variedad de formas de preparación (Pimentel y Delgadillo, 2015).

En México se presenta la mayor diversidad de nopales silvestres y cultivados muchas de ellas aptas para el consumo como verdura o fruta frescas, por esta razón es de suma importancia producir un alimento inocuo ya que la acumulación de sustancias de difícil degradación y sus constantes aplicaciones son algunas de las causas más importantes que alteran el medio ambiente y por consecuencia una elevada residualidad en los productos cosechados (Ferreira *et al.*, 1987).

El uso de los productos sintéticos generalmente se les atribuye a las propiedades biocidas que poseen y forman parte del método que de manera

convencional se utilizan en la producción de cultivos, sin embargo, estos insumos tienen una relevancia en la aplicación de la agricultura moderna para atenuar plagas y enfermedades, así como para elevar la productividad de los cultivos (Cortés *et al.*, 2006; Cooper y Dobson 2007). Tanto la manipulación como la aplicación de plaguicidas pueden tener riesgos para el ser humano, ya sea como manipulador o consumidor directo de vegetales tratados.

El riesgo existe también para el cultivo y su entorno, el ganado, la fauna silvestre, acuícola y en general para el equilibrio ecológico (Sánchez, 2002; Fenik *et al.*, 2011). En muchos de los casos los límites de riesgo en la aplicación de plaguicidas sintéticos son rebasados, o peor aún, se tiene la presencia de varios residuos en un mismo producto, y pese a que las concentraciones estén por debajo de los valores aceptables, al considerar un efecto aditivo el riesgo potencial se eleva (Van der Hoff y Van Zoonen, 1999; Pérez *et al.*, 2009).

Los beneficios aportados por estos productos han estado acompañados de una serie de detrimentos, algunos de ellos muy graves que ahora representan una amenaza para la supervivencia de importantes ecosistemas a largo plazo y altas consecuencias en la salud humana. Además, Camino-Sánchez *et al.* (2011) mencionaron que la presencia de residuos de plaguicidas en los alimentos es una preocupación muy significativa para los consumidores, debido a los posibles efectos adversos en la salud.

Ramírez-Bustos *et al.* (2018) encontraron que en la región nopalera del estado de Morelos los ingredientes activos más utilizados pertenecen a los grupos químicos de organofosforados, carbamatos, piretroides y organoclorados estos últimos de muy difícil degradación que representan una alta amenaza para la salud humana ya que existen compuestos que producen mutagénesis (alteración del ADN o de los cromosomas); teratogénesis (malformaciones en el embrión) y que alteran muchos procesos metabólicos y de reproducción, además casi el 16% de insecticidas pertenecen a la categoría (I) reconocidos por su etiqueta roja y que son considerados como extremadamente tóxicos. También reportaron a

monocrotofos y metamidofos compuestos activos prohibidos por la Convención de Rotterdam (FAO, 2015), pues representan un peligro de toxicidad aguda. Por otra parte, cerca del 80% de los productos utilizados pertenecen a plaguicidas con un alto grado de peligrosidad (PAN, 2016).

Emplear una gran cantidad de plaguicidas sintéticos considerados como altamente peligrosos se debe a la necesidad y a la falta de alternativas de manejo ya que más de diez insectos se consideran plaga en el cultivo del nopal verdura en la nación mexicana (Badii y Flores, 2001; López-Martínez *et al.*, 2016; Reyes-Pérez *et al.*, 2013; Vargas *et al.*, 2008).

Ramírez-Bustos *et al.* (2018) también mencionaron que encontraron 5 grupos químicos de fungicidas utilizados en el cultivo del nopal verdura que se encuentran en la clasificación toxicológica (IV) pero que al mismo tiempo el 100 % de estos productos identificados son apreciados como altamente peligrosos (PAN, 2016), por lo que se deben implementar el uso de alternativas con nulo o mínimo efecto perjudicial (Hernández-Sánchez *et al.*, 2014).

Por la problemática expuesta anteriormente, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar otras variedades de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*), su tolerancia a plagas y enfermedades así como implementar estrategias de manejo alternas y efectivas en beneficio de los productores del municipio de Tlalnepantla, Morelos, para minimizar el impacto negativo de los plaguicidas, con la finalidad generar conocimientos y su posible implementación en la zona productora de nopal verdura más grande del estado y de todo México.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Evaluar diferentes variedades de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*), su tolerancia a plagas y enfermedades e implementar estrategias de manejo alternas y efectivas en el municipio de Tlalnepantla para minimizar el impacto negativo de los plaguicidas.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar el crecimiento y desarrollo de variedades de nopal verdura a las condiciones edafoclimáticas de Tlalnepantla, Morelos.
- Determinar la incidencia y severidad de las plagas y enfermedades en diferentes variedades de nopal verdura en los altos de Morelos.
- Integrar una estrategia de manejo de las principales plagas y enfermedades del nopal verdura que sea compatible con el medio ambiente y que disminuya los riesgos en la producción y consumo de esta hortaliza.

3. Hipótesis

- Al menos una variedad se adaptará a las condiciones edafoclimáticas del municipio de Tlalnepantla Morelos con una producción igual o superior que la variedad local.
- Al menos un cultivar tendrá algún grado de tolerancia a ciertas plagas y enfermedades aceptable para reducir aplicaciones de productos químicos.
- Al menos algún insecticida será eficaz y efectivo para el control de cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae*) en el cultivo de nopal verdura.
- Al menos un extracto vegetal tendrá buen efecto antifúngico para el control de la mancha negra del nopal verdura bajo condiciones de laboratorio.

3.1. Revisión de literatura

3.2. Establecimiento del cultivo

Selección del material vegetal. Pimentel y Delgadillo, (2015) mencionaron que el establecimiento se hace mediante propagación vegetativa, con la selección y uso de pencas o cladodios. Se debe tomar en cuenta la uniformidad en tamaño, grosor y color del cladodio. Los cladodios a utilizar en la plantación deben ser cosechados de plantas formadas, en etapas productivas, libres de plagas y enfermedades.

Una vez seleccionados los cladodios o pencas madre, se colocan bajo sombra para su secado y cicatrización para evitar pudriciones posteriores a la siembra. Existe un tratamiento previo a los cladodios que consiste en sumergirlos en una solución de caldo bordelés (2 k de cal más 2 k de sulfato de Cobre tribásico disueltos en 100 litros de agua) y dejarlos secar a la sombra por 15 días para favorecer la cicatrización de las heridas ocasionadas por la colecta.

Preparación y trazado del terreno. Se debe nivelar al máximo el terreno a cultivar. Se recomienda efectuar de 3 a 4 pasos de barbecho cruzados y rastreos hasta dejar el terreno listo para la siembra. Antes de la siembra es conveniente realizar 2 a 3 rastreos y dejar en reposo 2 días entre rastreo, para ayudar a que la población de plagas presentes en el suelo disminuya al exponerse a solarización continua. En terrenos planos o de poca pendiente no hay mayor problema que colocar rafia y marcar las distancias entre surcos y entre plantas (Pimentel y Delgadillo, 2015).

Época y densidad de siembra. En el estado de Morelos la siembra se lleva a cabo en los meses de sequía que va de febrero a abril y se efectúa colocando las dos terceras partes del cladodio dentro del suelo. La densidad de siembra recomendada es de 10 mil a 30 mil cladodios por hectárea con una distancia entre 30 y 40 cm entre plantas (Pimentel y Delgadillo, 2015).

Fertilización. Suele dar mayores resultados cuando se aplica 200 g de sulfato de amonio o bien 100 g de urea por planta estos resultados mejoran

significativamente si el fertilizante es combinado con abono orgánico a razón de 10 kg por planta, es recomendable hacer esta aplicación dos o tres meses después de haber establecido el cultivo y en presencia de humedad (De la rosa y Santana, 1992). La combinación ha generado buena respuesta al cultivo tomando en cuenta la fuente de abono orgánico que puede ser estiércol de ovino o gallinaza (Orona, 2000).

La CONAZA (1992) ha determinado que, con la aplicación de 10 kg de estiércol, de cabra o de vaca, semiseco por planta se obtiene buena producción de brotes tiernos. Para tener mayor uniformidad en la producción, el estiércol puede dividirse en dos aplicaciones: una al inicio y otra al final de la época de lluvias. El Colegio de Posgraduados (COLPOS) recomienda aplicar la fórmula 120-100-00, es decir, 505 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio y 217 kg de superfosfato de calcio simple, fraccionándolo en dos aplicaciones: a principios y finales de la época de lluvias.

Poda. La finalidad de la poda es facilitar el manejo del cultivo y estimular el rebrote de cladodios. En la producción de nopal verdura se recomiendan 4 tipos.

1. Poda de formación, se efectúa en la primera brotación dejando de 2 a 3 cladodios por planta madre con la finalidad de darle forma para un mejor manejo eliminando los cladodios juntos, mal formados o con orientación negativa.
2. Poda de saneamiento, principalmente en sembradíos longevos se deben de retirar cladodios viejos, improductivos, mal formados y enfermos.

3. Poda de estimulación de renuevos: al cosechar los nopales, prácticamente se realiza una poda que promueve la estimulación de nuevos brotes (Aguilar, 2000). Se efectúa principalmente en cultivos a cielo abierto, donde los renuevos no son cosechados por un tiempo determinado (épocas de precios bajos) y que el productor decide el tiempo en retirar a estos cladodios calculando la época donde se obtendrán ventas con precios relativamente más altos en año (meses de invierno). Se cortan todos los cladodios quedando únicamente las

pencas en donde después de 20 días se espera que brotaran de 8 a 15 nopalitos para comercializar al mercado (Ríos y Quintana, 2004).

4. Poda de rejuvenecimiento, se efectúa cuando la plantación es muy vieja e improductiva la cual se recomienda hacerla a la altura de la base del primer o segundo brotes, después de esta poda emergerán nuevos brotes de los cuales se seleccionan de dos a tres con una buena ubicación los cuales formaran la nueva planta productiva, prácticamente este tipo de poda es propiciada a cultivos con 10 o 15 años de antigüedad (De la Rosa-Santana, 1992; Ríos y Quintana, 2004).

Requerimientos hídricos. Para tener una alta producción del cultivo se recomienda adaptar un sistema de riego que suministre agua constantemente. En forma excepcional, en el estado de Morelos, la producción se realiza bajo condiciones de temporal ya que las condiciones topográficas impiden el establecimiento de sistemas de riego. Sin embargo, De la Rosa y Santamaría (1998) señalaron que la precipitación media anual requerida para la supervivencia del nopal verdura es de 116 mm distribuida en todo el año.

Cosecha. Los cladodios tiernos generalmente son cosechados entre los 30 y 60 días después de la brotación, cuando logren un peso de entre 80-120 g y una longitud de 15-25 cm (Flores-Valdés, 1995). Debido a que los cladodios de cosecha tienen espinas y gloquidas usualmente se requiere utilizar guantes de cuero. Las pencas tiernas son removidas cuidadosamente insertando el cuchillo en la base del nopalito, una operación que requiere habilidad para cosecharlos intactos, posteriormente son depositados en cajas de plástico o madera y seleccionados de acuerdo a los tamaños estándar requeridos por el mercado: pequeño o cambray, mediano y grande.

3.3. Principales plagas y enfermedades y su control

La diferencia de los cultivos de nopal verdura en Tlalnepantla, Morelos, se debe a las condiciones de humedad relativa alta y ausencia de bajas temperaturas en invierno, condiciones que son favorables en el desarrollo de algunas plagas y sus

afectaciones en el cultivo del nopal (Flores y Olvera, 1995). En la zona productora más grande del país, se resalta la importancia por daño significativo: la grana cochinilla (*Dactylopius opuntiae*), el picudo del nopal (*Cactophagus spinoleae*) y una enfermedad de origen fungoso (*Pseudocercospora opuntiae*) que se conoce como mancha negra del nopal (Venegas-Rico *et al.*, 2010).

Moran *et al.* (1987) mencionan que la cochinilla del nopal posee un cuerpo blando con estructuras cuticulares que excretan una especie de cera blanquecina como algodoncillo, esta envuelve al cuerpo del insecto y lo protege contra factores ambientales, depredadores e incluso contra plaguicidas. Pacheco-Rueda *et al.* (2011) mencionaron que el daño causante de este insecto es directamente al succionar la savia para alimentarse, esto ocasiona clorosis en los cladodios, debilitando a la planta y con posibilidad de provocar una caída prematura de los mismos y de los frutos, de esta forma también favorece la entrada de agentes patógenos. Así mismo se reporta que elevadas densidades de esta plaga puede causar la muerte de la planta entera.

La mayoría de los productores y técnicos realizan comúnmente aplicación de insecticidas para el control de esta plaga, tales como malatión, triclorfon y paratión metílico (Badii & Flores, 2001). Existen otras opciones de manejo, como control físico mediante el cepillado de cladodios, uso de jabones (Palacios *et al.*, 2004) así como la aplicación de bioinsecticidas (Vigueras *et al.*, 2009).

En México, el picudo del nopal, *Cactophagus spinolae* (Gyllenhal), es una plaga primaria en el cultivo de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) en Tlalnepantla, Morelos, municipio que se destaca por ser el principal productor a nivel estatal y nacional. Sus larvas se desplazan en el interior de los cladodios maduros (más de un año de edad), avanzan en dirección del cladodio más viejo. Perforan la superficie de los cladodios para realizar intercambio gaseoso, la planta responde con secreciones gomosas para cubrir la herida y evitar ingreso de agentes infecciosos.

Las galerías que forman debilitan a la planta y pueden ocasionar desprendimiento de cladodios. Posteriormente desarrollan su pupario y cambian al siguiente estado, la pupa. Permanecen dentro hasta el siguiente año, el incremento de humedad, producto de las precipitaciones reblandecerá el pupario, lo cual facilita la emergencia del adulto, mismo que se presenta de mayo a octubre (Ramírez-Delgadillo *et al.*, 2011).

En los métodos de control de la plaga se hace referencia al control mecánico el cual consiste en capturar manualmente los insectos adultos, esto es posible ya que tienen una escasa movilidad, además se reporta que la hora de mayor visibilidad de estos especímenes fluctúa entre las 16:00 y 18:00 horas del día. Referente al control químico la CICOPRAFEST, (2010) menciona que, en el municipio de Tlalnepantla, el control químico es el método más recurrente por los productores; además la condición univoltina (una sola generación por año) de estos especímenes y la dificultad para combatir sus estadios larvales, ocasionan el uso irracional de insecticidas contra los adultos. Sin embargo, la residualidad de estos productos sintéticos resulta en un ineficiente y perjudicial método (Cerón-González *et al.*, 2012). Aunado a esto, en México no existen insecticidas autorizados para su aplicación en el control de esta plaga.

La mayoría de las enfermedades de origen fúngico que proliferan en el nopal verdura son las que tienen condiciones favorables para su desarrollo tales como: plantas expuestas a algún tipo de sombra como lomeríos u árboles, alta humedad relativa y temperaturas moderadas de 17 °C (Ochoa, 2012). Otro aspecto importante son las heridas causadas por algunos insectos, roedores, aves y también por daños mecánicos que sufren los nopales por acción de herramientas a la hora de realizar las labores de cultivo, también se pueden tomar en consideración acciones como el nulo o deficiente manejo agronómico del cultivo y al desconocimiento de los síntomas (Confusión del daño, sinonimia y agentes que la causan) además de las estrategias de control (Méndez-Gallegos *et al.*, 2009).

En el municipio de Tlalnepantla la enfermedad de origen fúngico que afecta con mayor frecuencia a las nopaleras es conocida como mancha negra del nopal (GIIN, 2005). La vida en producción de las plantaciones se reduce significativamente hasta en un 50% o más (Saénz *et al.*, 2006). En la región nopalera del estado de Morelos esta enfermedad es la responsable de la baja productividad y hasta de la pérdida parcial o total de muchos cultivos, se menciona como agentes causales a *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium solani* y a *Pseudocercospora* sp, este último como primer agente infeccioso (Osada y Cárcamo 1991; Morales y Hernández 2002; Quezada-Salinas *et al.*, 2006).

Los productos químicos empleados en el control de la enfermedad son generalmente productos de contacto algunos de estos pertenecen a las categorías III y IV (moderada y ligeramente tóxicos) en base a su toxicidad aguda (CICOPLAFEST, 2004). En general para el control de la enfermedad se utilizan productos a base de oxiclورو de cobre, benomilo, mancozeb, los cuales suelen ser aplicados hasta en un 68.5%, sin tener opción, lo que podría dar origen a problemas de resistencia a mediano plazo a tales ingredientes además no existen estudios que respalden su uso y eficiencia (GIIN, 2005).

3.4. Problemática con los plaguicidas sintéticos en el cultivo

En una entrevista con agricultores de nopal verdura en Tlalnepantla Morelos, Hernández (2017) investigó que estas personas no pueden exportar su producto a otros países debido a los residuos tóxicos que estos alimentos tienen desde la producción, aunado muchas veces también al contacto con otras plantas que se siembran en el mismo espacio. Por otra parte, Ruiz (2019) comentó que el nopal, uno de los principales emblemas del escudo nacional mexicano, es una planta cultivada en los altos de Morelos, donde la mayoría de los agricultores se dedica al cultivo de esta hortaliza, el cual ha tenido un gran problema con las exportaciones, pues no se ha logrado certificar a muchas plantaciones; su principal problema es el uso intensivo de plaguicidas.

Encaminado al mismo problema también reconocieron que las aplicaciones se realizan en días determinados mientras que al transcurso de 8 días el cultivo está siendo cosechado, cuando se necesitan al menos 30 días para que los químicos sean mínimamente dañinos según las etiquetas de los productos, del mismo modo indicaron que el objetivo primordial del productor es controlar la plaga sin importar el consumidor, pudiéndose encontrar en un dilema “perder el cultivo o enfermar a la gente” (Hernández, 2020).

Aldana *et al.* (2008) y Cerón-González *et al.* (2012) mencionaron que el nopal verdura ha tenido serios problemas con el uso irracional de plaguicidas sintéticos ya que es el método más utilizado para controlar plagas y enfermedades. A este problema se suma el uso inapropiado de los mismos, aumentando la posibilidad de obtener productos que contengan residuos de sustancias químicas (Aldana *et al.*, 2008; Ángeles-Núñez *et al.*, 2014). Esto induce a elevados costos de producción, daño al medio ambiente e intoxicaciones de personas relacionadas con el manejo de plaguicidas (Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2013).

El SENASICA (2014), realizó monitoreos en el periodo de 2011 al 2013, en 29 cultivos de 22 estados incluyendo al estado de Morelos y al cultivo de nopal verdura, para la determinación de contaminantes en la producción primaria de vegetales con el objetivo de conjuntar acciones y actividades a nivel nacional. En esta hortaliza se obtuvieron 132 muestras, de estas el 39% presentó moléculas por arriba del límite máximo de residuos (LMR), debajo del (LMR), no establecidas para el cultivo (NE) y no cuantificable (NC trazas de moléculas). Se encontraron un total de 22 moléculas activas: Carbendazim (benzimidazol IV), Clorpirifós etil (Organofosforado-clorado II), Cipermetrina (piretroide II), Dimetoato (organofosforado III), Fenclorfos (organofosforado III), Ometoato (organofosforado I), Paratión metílico (organofosforado II), Malatión (organofosforado IV), Metamidofos (organofosforado II), Metidation (organofosforado II), Acetamiprid (neonicotenoide III), Carbofuran (carbamato II), Permetrina (piretroide II), Metomilo

(carbamato II), Piretrina (piretroide IV), Imidacloprid (neonicotenoide IV), Terbutrina (triazina II), Trans-permetrina (piretroide IV), Fosfato de trifenilo (aril fosfato II), Clorotalonil (cloronitrilo IV), Monocrotofos (organofosforado II) y Lambdacialotrina (piretroide, clorado, fluorado III).

En el estudio realizado por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA, 2014) el nopal verdura ocupó el sexto lugar de los cultivos vegetales con mayor número de contaminantes de plaguicidas clasificados con toxicidad categoría I (Extremadamente tóxica) y II (Altamente tóxica). Según la COFEPRIS (2021) de todos los ingredientes activos detectados en los muestreos, solo Lambdacialotrina con categoría III está registrado en nopal verdura para el control de la cochinilla del nopal a pesar de estar en la lista de los plaguicidas con alta peligrosidad, también se sabe que existen otros 6 productos con categoría toxicológica de 5 para dicha plaga.

Aunado a este problema, existen plaguicidas que interfieren con procesos endocrinos ya que son capaces de interferir con la recepción de las hormonas y su síntesis, estas sustancias al bloquear una hormona natural, llevan a un mal funcionamiento del sistema endocrino y alteran diversas funciones biológicas y fisiológicas, que conducen a muchas enfermedades e incluso la muerte (UNEP, 2013).

En nopal verdura se utilizan dos moléculas activas: Clorpirifos y el Glifosato, el primero sin registro, los cuales, interfieren de forma negativa en los procesos biológicos relacionados con el sistema endocrino (Gore *et al.*, 2014). Por otra parte, los plaguicidas del grupo químico de los Neonicotinoides introducidos en 1991 y que, según Watts (2011) causan la muerte de abejas; el Imidacloprid y Acetamiprid son ingredientes activos que pertenecen a este grupo utilizados en este cultivo, aunque no están autorizados para nopal (COFEPRIS, 2021).

Según Bejarano (2017) en México se encuentran autorizados 183 ingredientes activos de plaguicidas altamente peligrosos en los distintos usos (agrícola, doméstico, jardinería, industrial). En cuanto a las características de su

peligrosidad para la salud humana casi un tercio, 63 ingredientes activos, tienen una toxicidad aguda alta (34.43 %), según clasificación de la OMS 1A y 1B, más los que pueden ser mortales por inhalación y que no están incluidos en la clasificación anterior de la OMS.

Considerando la toxicidad crónica, están autorizados 43 plaguicidas probables causantes de cáncer en humanos (23.50 %) según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, más otros clasificados por otros organismos; 35 plaguicidas considerados como perturbadores endocrinos (19.13%) según criterios del Sistema Global Armonizado aceptados por la Unión Europea, 21 plaguicidas que son tóxicos a la reproducción (11.48%) y dos que son mutagénicos.

De los 22 ingredientes activos que se encontraron en el estudio realizado por la SENASICA (2014) veinte de estos se encuentran en la lista de los plaguicidas considerados como altamente peligrosos según la Red Internacional de Acción de Plaguicidas por sus siglas en inglés PAN, 10 moléculas activas entre las categorías I (extremadamente tóxicos) a II (altamente tóxicos), y 10 entre las categorías III (Moderadamente tóxico) y IV (ligeramente tóxico).

3.5. Estrategias

Referente a este importante problema, en la tercera reunión de la Conferencia Internacional sobre Gestión de Productos Químicos por sus siglas en inglés (ICCM) celebrada en septiembre de 2012, se presentó una propuesta de resolución que llamaba a realizar mayores acciones sobre los plaguicidas altamente peligrosos. En su cuarta reunión regional del Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional por sus siglas en inglés SAICM (2013) de América Latina y el Caribe, celebrada en la Ciudad de México del 19 al 22 de agosto de 2013, se abordó el tema sobre los plaguicidas altamente peligrosos y sobre las alternativas más seguras existentes incluyendo los enfoques basados en los ecosistemas.

En la reunión de la PAN (2015), se discutió el intercambio de información y la promoción de alternativas agroecológicas en el manejo de cultivos y la prevención y reducción de riesgos a la salud y el medio ambiente. Durante la cuarta reunión de la ICCM celebrada en Ginebra, Suiza, en el 2015, se consensó una resolución política donde se recomienda que se promuevan las alternativas agroecológicas en donde se alienta a las partes interesadas a implementar dicha estrategia a nivel local, nacional, regional e internacional con énfasis en la promoción de alternativas agroecológicas. Tal estrategia propone un cambio en la definición del problema para prevenir y controlar el surgimiento de plagas, enfermedades y plantas indeseables, desde un enfoque ecosistémico como el que propone la agroecología, en el que queda claro que la intención es reducir la dependencia de los plaguicidas.

La estrategia se basa principalmente en la falta de concientización para alcanzar logros como “sensibilizar” a las distintas partes interesadas sobre los riesgos que entrañan los plaguicidas altamente peligrosos, la existencia de alternativas más seguras y la conveniencia de concretar la transición hacia enfoques agroecológicos y más sostenibles para el control de los problemas fitosanitarios; encontrar y compartir información sobre alternativas viables, como controles culturales, plaguicidas biológicos y menos peligrosos y medidas de reducción de riesgos en los casos en los que los plaguicidas no puedan sustituirse y sigan utilizándose (ICCM, 2015).

Las prácticas agronómicas para un manejo agroecológico de plagas y enfermedades que se practican en México incluyen métodos de control cultural que diversifican el agroecosistema (asociación y rotación de cultivos, manejo de densidades y fechas de siembra, provisión de refugio para depredadores y parasitoides de insectos-plaga con el manejo de arvenses), controles físicos y mecánicos (como el uso de trampas, barreras físicas y naturales), control biológico aplicado (estrategias de conservación de enemigos naturales nativos o introducidos, uso de hongos, bacterias y virus benéficos), mejoramiento genético

para el uso de variedades más tolerantes al ataque de insectos y enfermedades, uso de extractos vegetales (como el neem, ajo, gobernadora, epazote, higuera, paraíso, hierba de la cucaracha, entre muchas otras), aceites vegetales y preparados minerales (cal, azufre, sulfato de cobre, ceniza). Todo ello realizado junto con el muestreo de las poblaciones de insectos, para aplicar solo cuando esté justificado (Rodríguez, 2000, 2005; Bahena, 2008; Trujillo, 2018).

Se debe considerar que no solo se trata de utilizar un conjunto de recetas o de insumos alternativos sino de entender las causas de la aparición de insectos plaga, de malezas o de enfermedades, que son el resultado de un desequilibrio de las poblaciones y de las interacciones e interdependencias de los componentes de un agroecosistema, en territorios y comunidades específicos.

3.6. Literatura citada

- Aguilar, Z.A. 2000. El cultivo de nopal verdura en Milpa Alta, D. F. INIFAP- Grupo produce A.C.-D.F. Folleto para productores No. 1, diciembre del 2000. 22 p.
- Andrade, C.A. y Wiedenfeld, H. 2011. Anti-hyperglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lem. J. Ethnopharmacol. 133:940-943.
- Aldana, M.L., García, M.C., Rodríguez, G., Silveira, M.I. y Valenzuela, A.I. 2008. Determinación de insecticidas organofosforados en nopal fresco y deshidratado. Revista Fitotecnia Mexicana 31(2): 133-139.
- Ángeles-Núñez, J.G., Anaya-López, J.L., Arévalo-Galarza, M.L., Leyva-Ruelas, G., Anaya, S. y Martínez-Martínez, T.O. 2014. Análisis de la calidad sanitaria de nopal verdura en Otumba, Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(1): 129-141.
- Badii, M.H. y Flores & A.E. 2001. Prickly pear cacti pest and their control in Mexico. Florida Entomologist 84:503-505.
- Bahena, F. 2008. Enemigos naturales de las plagas agrícolas del maíz y otros cultivos. Texcoco. SAGARPA, INIFAP, RAPAM, RAP-AL. 184 p.
- Bejarano G.F. 2017. Los plaguicidas altamente peligrosos en México. Primera edición. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A. C. (RAPAM). 364 p.
- Camino-Sánchez, F.J., Zafra-Gómez, A., Oliver-Rodríguez, B., Ballesteros, O., Navalón, A., Crovetto, G. y Vílchez, J.L. 2011. Accredited method for the determination of 121 pesticide residues in fruits and vegetables by gas chromatography tandem mass spectrometry. J. Food Compos. Anal. 24: 427-440.
- Cerón-González, C., Rodríguez-Leyva, S.J.E., Lomelí-Flores, R., Hernández-Olmos, C.E., Peña-Martínez, R. y Mora-Aguilera, G. 2012. Evaluación de

insecticidas sintéticos sobre adultos de *Metamasius spinolae* (Coleoptera: Curculionidae) procedentes de Tlalnepantla, Morelos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3(2): 217-229.

Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. Secretaría de Salud (CICOPLAFEST). 2004. Catálogo Oficial de Plaguicidas, México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 493 p.

Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios. (COFEPRIS). 2021. Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR. [Citado en febrero del 2021] Disponible en: <http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.ap>

Comisión Nacional de Zonzas Áridas (CONAZA). 1992. Aspectos técnicos y socioeconómicos del nopal para producción de verdura. Serie: Fichas técnicas de especies forestales (Mimeografiado) Saltillo, Coah., México. 35 p.

Cooper, J. y Dobson, H. 2007. The benefits of pesticides to mankind and the environment. Crop Prot. 26: 1337- 1348.

Cortés, J., Sánchez, R., Díaz, P.E., Villen, J. y Vázquez, A. 2006. Large volume GC injection for the analysis of organophosphorus pesticides in vegetables using the through oven transfer adsorption desorption (TOTAD) Interface. J. Agric. Food Chem. 54: 1997-2002.

De la Rosa-Hernández, J.P. y Santana-Amaro, D. 1992. El Cultivo del nopal (*Opuntia* spp). Diferentes usos agronómicos y costos de producción. Memoria Chapingo, México. 153 p.

- De la Rosa, P. y Santamaria, A.D. 1998. El nopal: Usos, manejo agronómico y costos de producción en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 183 p.
- Fenik, J., Tankiewicz, M. y Biziuk, M. 2011. Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. *Trends Anal. Chem.* 30: 814-826.
- Ferreira, J.R., Falcao, M.M. y Tainha, A. 1987. Residuos de dimetoato y ometoato en elocotones y manzanas después de aplicaciones repetidas de dimetoato. *Revista de Química Agrícola y de Alimentos* 35 (4): 506-508.
- Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero (FNDARFP, 2020). Blog. El nopal un alimento muy mexicano. [Consultado en febrero de 2021]. Disponible en:
<https://www.gob.mx/fnd/articulos/el-nopal-un-alimento-muy-mexicano?idiom=es>
- Flores, C.A. y Olvera, J. 1995. La producción de nopal verdura en México. Memorias del VI Congreso Nacional y IV Congreso Internacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad de Guadalajara, Guadalajara Jalisco México. P. 289-382.
- Flores-Valdez, C.A. 1995. Nopalitos: Production, processing and marketing. In: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta Barrios, eds. *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*, FAO Plant Production and Protection Paper No. 132. Rome, FAO. P. 92–99.
- Gore, C., Crews, D., Doan, L., La Merrill, M., Ptisaul, H. y Zota, A. 2014. *Introducción a las Sustancias Químicas que Perturban el Sistema Endocrino (EDCs). Guía para las organizaciones de interés público y para los responsables de formular políticas públicas.* San Francisco, Endocrine Society- IPEN. 84 p.

Grupo Interdisciplinario de Investigación del Nopal (GIIN). 2005. Diagnóstico fitosanitario del nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en Tlalnepantla, Morelos. Colegio de Postgraduados. 85 p.

Gutiérrez-Ramírez, A., Robles-Bermúdez, A., Santillán-Ortega, C., Ortiz-Catón, M. y Cambero-Campos, O.J. 2013. Control biológico como herramienta sustentable en el manejo de plagas y su uso en el estado de Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias* 2(3): 102-112.

Hernández, R. 2017. Imposible exportar nopal morelense. *El sol de Cuernavaca*. [Consultado en marzo del 2021] Disponible en:

<https://www.elsoldecuernavaca.com.mx/local/imposible-exportar-nopal-morelense-1210218.html>

Hernández, R. 2020, Local (La falta de apoyos contamina el nopal) *El sol de Cuernavaca*. [Consultado en marzo del 2021]. Disponible en:

<https://www.elsoldecuernavaca.com.mx/local/la-falta-de-apoyos-contamina-el-nopal-5107066.html>

Hernández-Sánchez, E., Mora-Aguilera, G., Tlapal-Bolaños, B., Rodríguez-Leyva, E., y Alvarado-Rosales, D. 2014. Efecto de la intensidad inicial de enfermedad en la caracterización temporal y espacial de la mancha negra del nopal (*Opuntia ficus indica*). *Revista Mexicana de Fitopatología* 32: 132-146.

Hernández-Urbiola, M.I., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., Hernández-Quevedo, G., Rojas-Molina, J.I., Cortez, M.E. y Rodríguez-García, M.E. 2010. Study of nutritional composition of nopal (*Opuntia ficus-indica* cv. Rendonda) at different maturity. *Open Nutr. J.* 4:11-16.

International Conference of Chemicals Management (ICCM). 2015. (Conferencia Internacional sobre Gestión de Productos Químicos). Draft resolution on

highly hazardous pesticides. Submission by Albania, Angola, Bangladesh, Belarus, Bhutan, Cameroon, Dominican Republic, Egypt, El Salvador, Ethiopia, Gambia, Georgia, Ghana, Honduras, Jordan, Liberia, Libya, Moldova, Morocco, Nigeria, Oman, Palestine, Panama, Perú, Sudán, Tanzania, Tunisia, Yemen, International Trade Union Confederation, International Pops Elimination Network, Pesticide Action Network and International Union of Food, Agricultural, Hotel, Restaurant, Catering, Tobacco and Allied Worker's Associations. Geneva.

[Consultado en diciembre del 2020]. Disponible en:

<http://www.saicm.org/Meetings/ICCM4/tabid/5464/language/en-US/Default.aspx>

- López-Martínez, V., De Jesús-Gonzalez, A.B., Aragón-García, A., Lopez-Olguin J.F. y Rivera, A. 2016. Entomofauna asociada al nopal verdura (*Opuntia ficus-sindica* Miller) en San Andrés Cholula, Puebla, México. *Southwestern Entomologist* 41(1): 259-265.
- Méndez-Gallegos, S.J., Talavera-Magaña, D. y García-Herrera, E.J. 2009. Identificación y control de las principales enfermedades del Nopal. *Revista Salud Publica y Nutrición* 2:2-13.
- Morales, L.J. y Hernández, L. 2002. Efecto de biofungicidas en el control de la mancha foliar del nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* Mill) en Tlalnepantla, Morelos, Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco estado de México. 74 p.
- Morán, V.C., Hoffmann, J.H. y Basson, N.C. 1987. The effects of simulated rainfall on cochineal insects (Homoptera: Dactylopiidae): Colony composition and survival on cactus cladodes. *Ecological Entomology* 12:51-60.

Ochoa, M.J. 2012. Mancha negra "*Pseudocercospora opuntiae*": una importante enfermedad en plantaciones de Opuntias (tunas) para fruta, forraje y nopalitas. CACTUSNET, 63 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2015. Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. Roma, Italia. 60 p.

Orona, C.I., Flores, H.A. y Rivera, G.M. 2000. Manual para el establecimiento y manejo del nopal verdura bajo condiciones de riego por goteo en la Comarca Lagunera. Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias (INIFAP). 34 p.

Osorio-Córdoba, J., Pelayo-Zaldívar, C., Verde-Calvo, J.R., Ponce-Valades, M., Díaz de León-Sánchez, F., Bósquez-Molina, E. y Rodríguez-Hueso, M.E. 2011. Conservación del nopal verdura "Milpa Alta" (*Opuntia ficus indica* Mill.) desespinado en envases con atmósfera modificada. Rev. Mex. Ing. Quim. 10:93-104.

Osada, K. S. y R. A. Cárcamo. 1991. Etiología de la mancha negra del nopal. In: Congreso Nacional de Fitopatología. Memorias de Resúmenes. Sociedad Mexicana de Fitopatología. México. 28 p.

Pesticide Action Network International (PAN). 2015. Red Internacional de Plaguicidas. Carta abierta dirigida al ejecutivo del PNUMA, FAO y OMS firmada por más de 100 toxicólogos y profesionales de la salud. [Consultado en marzo del 2021]. Disponible en:

<http://pan-international.org/release/over-100-international-health-experts-and-toxicologists-call-for-an-end-to-the-use-of-highly-hazardous-pesticides/>

y en español: http://www.rap-al.org/index.php?seccion=8&f=news_view.php&id=656

- Pesticide Action Network International (PAN). 2016. PAN International List of highly hazardous pesticides. PAN International. Hamburg, Germany. 46 p.
- Palacios-Mendoza, C., Nieto-Hernández, R., Llanderal-Cazares, C. y González – Hernández, H. 2004. Efectividad biológica de productos biodegradables para el control de la cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Homoptera; Dactylopiidae). Acta Zoológica Mexicana 20: 99-106.
- Pacheco-Rueda, I., Lomelí-Flores, J.R., Rodríguez-Leyva, E. y Ramírez-Delgado, M. 2011. Ciclo de vida y parámetros poblacionales de *Sympherobius barberi* Banks (Neuroptera: Hemerobiidae) criado con *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae). Acta Zoológica Mexicana 27(2): 325-340.
- Pérez, A., Segura, A., García R., Colinas, T., Pérez, M., Vázquez, A. y Navarro, H. (2009). Residuos de plaguicidas organofosforados en cabezuela de brócoli (*Brassica oleracea*) determinados por cromatografía de gases. Rev. Int. Contam. Ambient. 25: 103-110.
- Pimentel, A.O. y Delgadillo, S.A. 2015. Agenda técnica agrícola de Morelos. Segunda edición. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [Consultado en febrero del 2021]. Disponible en: https://issuu.com/senasica/docs/17_morelos_2015_sin
- Quezada-Salinas, A., Sandoval-Islas, J.S., Alvarado-Rosales, D. y Cárdenas-Soriano, E. 2006. Etiología de la mancha negra del nopal (*Opuntia ficus-indica* Mill) en Tlalnepantla, Morelos, México. Agrociencia 40: 641-653.
- Ramírez-Bustos. I.I., López-Martínez. V., Juárez-López. P., Guillén-Sánchez. D., Alía-Tejacal, I., Rivera-León, I., Saldarriaga-Noreña, H.A. y Jiménez, G.D.

2018. Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria* 4 (1): 18-25.

Ramírez-Delgadillo, J.J., Rodríguez-Leyva, E., Livera-Muñoz, M., Pedroza-Sandoval, A., Bautista-Martínez, N. y Nava-Díaz, C. 2011. First report of *Cactophagus spinolae* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae) on three species of *Hylocereus* (Cactaceae) in Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.), 27:863-866.

Reyes-Pérez, N., Villanueva-Jiménez J.A., Vargas-Mendoza, M.C., Cabrera-Mireles, H., y Otero-Colina. G. 2013. Parámetros poblacionales de *Tetranychus Merganser Boudreaux* (Acari: Tetranychidae) en papayo (*Carica papaya* L.) a diferentes temperaturas. *Agrociencia* 40(2): 641-653.

Ríos, R.J. y Quintana, M.V. 2004. Manejo general del cultivo del nopal, Manual del participante, Colegio de Postgraduados y secretaria de la Reforma Agraria. [Consultado en marzo del 2021]. Disponible en:

http://www.elquiglobalenergy.com/datos/Manejo_general_cultivo_Nopal.pdf

Rodríguez, C. 2000. Plantas contra plagas. Potencial práctico de ajo, anona, neem, chile y tabaco. Texcoco. RAPAM-RAAA. 133 p.

Rodríguez, C. 2005. Plantas contra plagas 2. Epazote, hierba de la cucaracha, paraíso, higuierilla y sabadilla. Texcoco. Colegio de Postgraduados. Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala, RAP-AL, RAPAM, SOMAS. 115 p.

Ruiz, E. 2019. Emmanuel Ruiz, (Finanzas, Frena la producción de nopal de Morelos) *El sol de Cuernavaca*. [Consultado en febrero del 2021]. Disponible en:

<https://www.elsoldecuernavaca.com.mx/finanzas/frenada-la-comercializacion-de-nopal-en-los-altos-de-morelos-3710687.html>

Saénez, H.C., Esparza, F.G., Valdez, C.R.D. y Méndez, S.G. 2006. Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia* spp. El Nopal. Tópicos de actualidad. Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo. México, p. 211-221.

Sánchez, R.A.J. 2002. Plaguicidas y fitosanitarios. Memorias. XIII Congreso Nacional Farmacéutico. Granada, España. 15-18 de octubre, 2002. 21 p.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2020). Crece producción de nopal verdura en Morelos, México. [Consultado en diciembre del 2020]. Disponible en:

Crece producción de nopal verdura en Morelos | Delegación SADER Morelos | Gobierno | gob.mx (www.gob.mx)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020). Atlas Agroalimentario. [Consultado en enero de 2020]. Disponible en:

<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Strategic Approach for International Chemicals Management (SAICM). 2013. Enfoque estratégico para la gestión de productos químicos a nivel internacional), documento de reflexión inicial sobre los plaguicidas disruptores endocrinos y el enfoque estratégico para la gestión de productos químicos a nivel internacional (SAICM) remitido por Pesticide Action Network (PAN) e International POPs Elimination Network (IPEN) 23 agosto. 195 p.

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (SENASICA). 2014. Programa nacional de monitoreo de contaminantes en la producción primaria de vegetales. 54 p.

Torres-Ponce, R.L., Morales-Corral. D., Ballinas-Covarrubias, M.L., y Nevárez-Moorillón, G.V. 2015. El nopal: Planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. [Consultado en mayo del 2020]. Disponible en:

[http:// www.redalyc.org/articulo.oa?id=263139893015](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263139893015)> ISSN 2007-0934

Trujillo, D.I.E. 2018. Programa educativo ambiental para la promoción del manejo integrado de residuos sólidos, en el instituto de estudios científicos y tecnológicos de la unesr. Universidad Nacional Experimental “Simón Rodríguez” Venezuela. Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos (IDECYT). Centro de Estudios para el Desarrollo Agroecológico Tropical (CEDAT). Laboratorio de Biotecnología Agrícola. Rev. Tekhné. Vol. 21, Núm 1 (2018):108-113

United Nations Environment Programme (UNEP). 2013. State of the science of endocrine disrupting chemicals, Geneve. [Consultado en mayo del 2020]. Disponible en:

<http://www.who.int/ceh/publications/endocrine/en/>

Van der Hoff G.R. y van Zoonen P.1999. Trace analysis of pesticides by gas chromatography. Chromatogr. A 843: 301-332.

Vanegas-Rico, J.M., Lomeli-Flores, J.R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera, G. y Valdez, J.M. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el Centro de México. Acta Zoológica Mexicana 26(2): 415-433.

Vigueras, A., Cibrian-Tovar, J. y Pelayo-Ortiz, C. 2009. Use of botanical extracts control wild cochineal (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) on cactus pear. In: F. A. P. (eds.) Proceedings of the VI Internacional congress on cactus and cochineal. Acta Horticulturae 811: 229-234.

Watts, M., Clausing, P., Lyssimachou, A., Schutte, G., Guadagnini, R. y Marquez, E. 2016. Glyphosate, PAN Asia Pacific, PAN Germany, PAN UK, PAN Europe, PAN North America. [Citado en octubre 2016]. Disponible en línea: <http://pan-international.org/wp-content/uploads/Glyphosate-monograph.pdf>

4. Capítulo I

Primer reporte de la expansión de área del gusano de la telaraña del cactus, *Loxomorpha Flavidissimalis* (Grote) (Pyralidae: Crambidae), al centro de México y centro de Texas, USA.

First report of range expansion of the cactus webworm, *Loxomorpha flavidissimalis* (Grote) (Pyralidae: Crambidae), to central Mexico and central Texas, USA

Álvaro González-Hernández, Víctor López-Martínez, M. Alma Solís, Dagoberto Guillén-Sánchez ^(†), Armando Burgos-Solorio

1. Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuernavaca.

2. Systematic Entomology Laboratory, USDA-ARS, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. 10th St. & Constitution Ave. NW, Washington, DC 20560, Estados Unidos.

3. UAEM, Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, Av. Nicolás Bravo s/n, Parque Industrial Cuautla, Ayala Morelos.

4. UAEM, Centro de Investigaciones Biológicas, Cuernavaca, Morelos, CP 62209, México.

Fuente: Florida Entomologist, 102(3): 638-641

Publicado por: Florida Entomological Society

URL: <https://doi.org/10.1653/024.102.0329>

4.1. Resumen

El nopal verdura *Opuntia ficus-indica* (L.) (Cactaceae) es cultivado en México para su consumo en fresco. Aquí, reportamos a *Loxomorpha flavidissimalis* (Grote) (Lepidoptera: Crambidae), el gusano telarañero, afectando a plantaciones en Morelos, ampliando su distribución al sur, desde sus registros previos al norte de México hasta la zona central del país. La genitalia de la hembra y macho es ilustrada para facilitar su identificación. El gusano telarañero representa una plaga potencial adicional a los nopales cultivados en el centro de México.

Palabras Clave: nopalitos, plaga, gusano telarañero, Lepidoptera, Morelos.

4.2. Abstract

Prickly pear cactus pads of *Opuntia ficus-indica* (L.) (Cactaceae) are cultivated in Mexico for fresh consumption. We report that *Loxomorpha flavidissimalis* (Grote) (Lepidoptera: Crambidae), the cactus webworm, was observed recently in farms in Morelos and has expanded its distribution south from its previously known distribution of northern to central Mexico. Female and male genitalia are fully illustrated to facilitate identification. The cactus webworm represents an additional potential pest to cultivated prickly pear cactus in central Mexico.

Key Words: prickly pear pads, pest, cactus webworm, Lepidoptera, Morelos.

En México, el nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), se cultiva ampliamente por su valor nutricional (Hernández-Urbiola *et al.*, 2011) y farmacéutico (Shetty *et al.*, 2012). Su consumo como verdura fresca es un elemento común de la cultura mexicana (Russell y Felker, 1987). El estado de Morelos produce el 30,9% de los nopalitos comestibles del país (3.905 ha) con una producción anual de 367.836 toneladas (SIAP 2018). Las plagas tradicionales en la región son el picudo del nopal, *Cactophagus spinolae* (Gyllenhal) (Coleoptera: Dryophthoridae) (López-Martínez *et al.*, 2016), la cochinilla,

Dactylopius opuntiae (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) (Vanegas-Rico *et al.*, 2010), y una especie de trips, *Sericothrips opuntiae* Hood (Thysanoptera: Thripidae) (Pérez *et al.*, 2016). Sus daños periódicos requieren estrategias de control para reducir su impacto económico y ambiental.

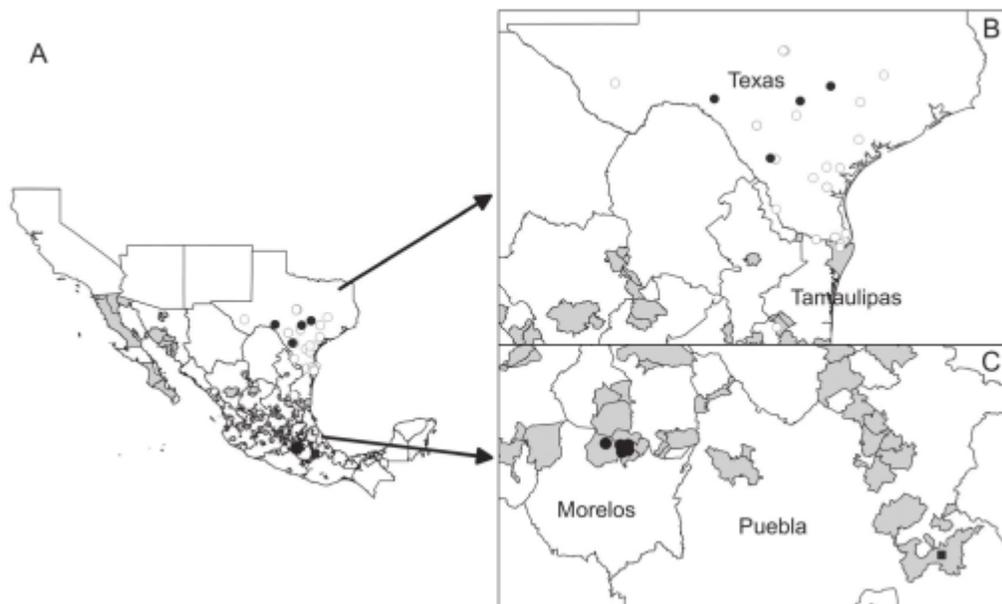


Figura 1. Distribución Geográfica de *Loxomorpha flavidissimalis* (Grote) (Pyraloidea: Crambidae)

(A) distribución completa; (B) detalles de la distribución del norte: círculos blancos = registros anteriores, círculos negros = nuevos registros para Texas; (C) detalles de la distribución sur: cuadrados negros = nuevos registros para México. Los polígonos grises en México representan municipios donde se cultiva *Opuntia ficus-indica* (L.).

Recientemente, los agricultores locales de nopal en Morelos nos informaron de un nuevo problema de plagas que no había sido reportado anteriormente. Se informó

que las larvas de un lepidóptero indeterminado (que se cubren con una telaraña de seda) se alimentan de los cladodios jóvenes, lo que resulta una reducción de la calidad y el rendimiento de los cultivos de *Opuntia* (Cactaceae) afectados. El daño larvario fue similar al del gusano de la telaraña de los cactus, *Loxomorpha flavidissimalis* (Grote) (Lepidoptera: Crambidae), una plaga menor de lepidópteros, de la que se informó recientemente que se alimentaba de *Opuntia ficus-indica* en Tamaulipas, México; se informó que su distribución era desde el centro de Texas hasta el norte de México (Lara-Villalón *et al.*, 2016).

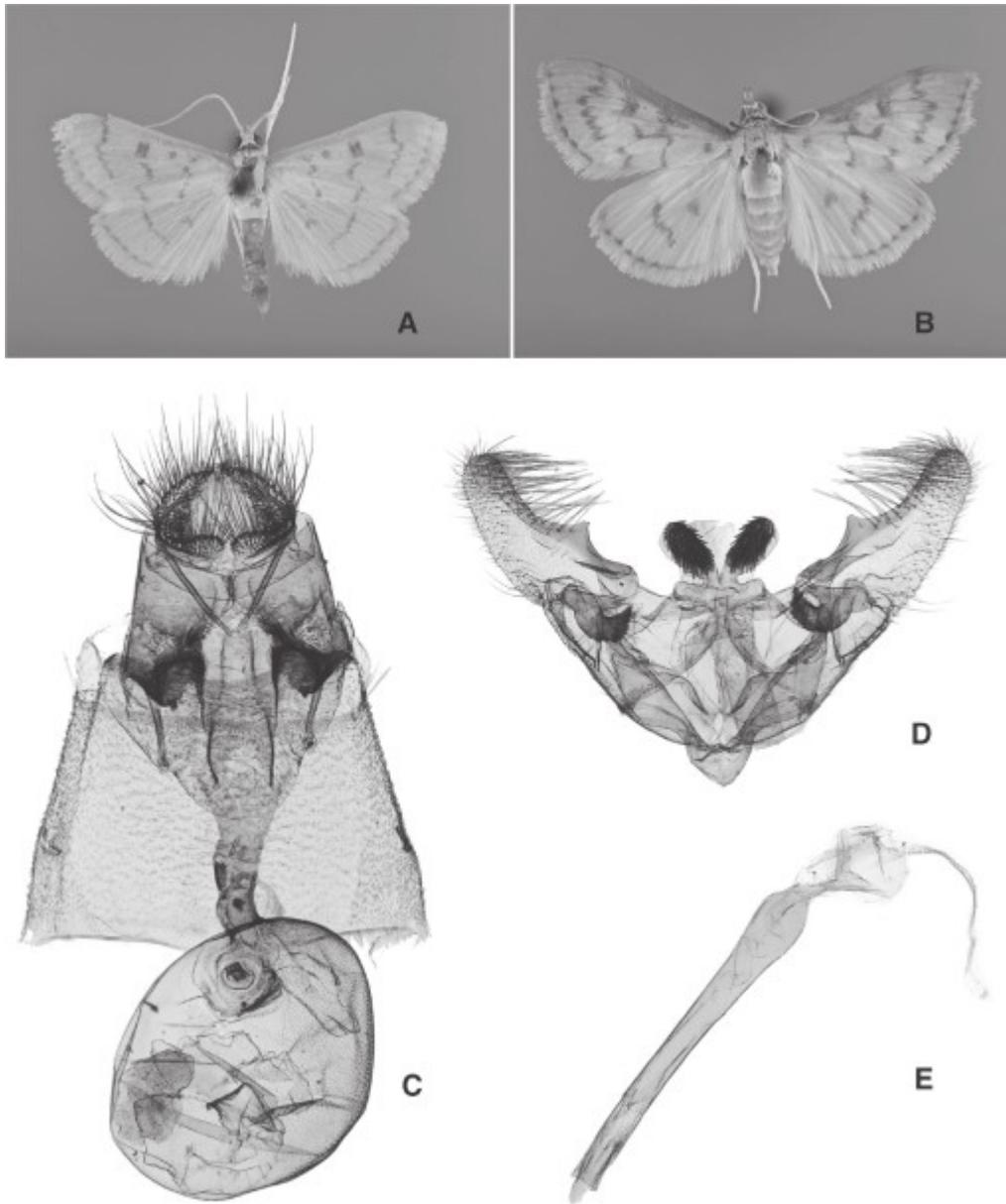


Figura 2. Adultos y genitalia de *Loxomorpha flavidissimalis* (Grote) (Pyraloidea: Crambidae)

(A) macho, Brownsville, Texas, Estados Unidos, agosto de 1909; (B) hembra, Morelos, México; (C) genitales femeninos, muestra del Museo Nacional de Estados Unidos #115749, Morelos, México, noviembre de 2017; (D) genitales masculinos, muestra del Museo Nacional de Estados Unidos #115750, Morelos,

México; (E) phallus masculino, muestra del Museo Nacional de Estados Unidos #115750, Morelos, México.

Para confirmar su presencia y determinar la identidad taxonómica de esta larva desconocida, se realizaron colectas en los 3 principales municipios de producción de nopalitos en Morelos (Tepoztlán, Tlalnepantla y Tlayacapan). Las larvas se recolectaron de los cladodios jóvenes infestados, y se mantuvieron en jaulas de cría con cladodios jóvenes como alimento hasta la emergencia de los adultos.

Las colectas de los siguientes lugares dieron como resultado el siguiente material: 11 ejemplares México: Morelos, Tlalnepantla, La Vía, 18.996778°N, 98.979583°W, 14/11/2017, 2070 msnm, A. González Hernández coll, Museo Nacional de Historia Natural; Tlalnepantla, Ahuacomulco, 8/11/2017 y 5/12/2017, 19.007861°N, 98.980022°W; Tlalnepantla, La Vía, 8/11/2017 y 5/12/2017, 18.996777°N, 98.979583°W; Tlayacapan, San José, 9/11/2017 y 7/12/2017, 18.973027°N, 99.007277°W; Tlayacapan, San Agustín, 9/11/2017 y 7/12/2017, 18.981111°N, 98.975750°W; Tepoztlán, San Juan, 13/05/2018, 19.015666°N, 99.088583°W; y se incluyeron datos de un espécimen depositado en NMNH: Puebla, Tehuacán, 10/10 (USNMENT01464127), y de especímenes de la Colección de Insectos de la Universidad de Austin, Texas, USA: Dimmit Co, Catarina, 12 mi. E., 24 a 28 VII 76. 28.347500°N, 99.614722°W; Kendall Co., Boerne, Delmar Cain, fotógrafo, 29.880779°N, 98.614313°N; Travis Co: Austin, Lab, Campo Brackenridge 30.284166°N, 97.778333°W, 24 Jul 1999, BL trap, J. E. Gillaspay coll.; los mismos datos, pero del 1 agosto de 1999; los mismos datos, pero del 21 de octubre de 1996; Val Verde Co., Dolan Falls, Dev[ils] River, 28 octubre de 1995, J. Gillaspay coll., 29.884400°N, 100.993400°W. Estas localidades se muestran en los mapas de la Fig. 1.

Los adultos enviados al autor M. Alma Solís fueron disecados siguiendo las instrucciones de Brown *et al.* (2009). Los genitales masculinos y femeninos se compararon con especímenes de especies de *Loxomorpha* (Lepidoptera:

Crambidae) del hemisferio occidental, depositados en el National Museum of Natural History, Washington, DC, USA. Los especímenes de muestra están depositados en el Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Ciudad de México, México, y en el Museo Nacional de Historia Natural, Washington, DC, Estados Unidos. Se confirmó que la especie es el gusano de los cactus, *Loxomorpha flavidissimalis*, que anteriormente se informó que estaba restringido al sur de Texas y al noreste de México por Lara-Villalón *et al.* (2016). El espécimen de Tehuacán (USNMENT01464127) fue recolectado en octubre de 1910, y representa el registro mexicano más antiguo conocido. Demuestra que esta especie es nativa de México y ha expandido su distribución desde el centro de Texas hasta el centro de México, donde se alimenta naturalmente de *Opuntia engelmannii* subsp. *lindheimeri* (Engelm.) U. Guzmán & Mandujano (Cactaceae), y con poca frecuencia de *Cylindropuntia leptocaulis* (DC) F.M. Knuth (Cactaceae) (Mann 1969). A medida que los monocultivos de *Opuntia* se expanden en tamaño, es posible que el gusano de los cactus también aumente su tamaño poblacional, amenazando la calidad y el rendimiento de los nopalitos comestibles en las plantaciones.

Aunque muchas especies de pirálidos "amarillos" se encuentran en varias subfamilias de Crambidae, es la Pyraustinae la que está compuesta por estas polillas de color. Sin embargo, *Loxomorpha flavidissimalis* es una especie "amarilla" inusualmente brillante que se asigna a los Spilomelinae, basándose en las estructuras genitales internas (Fig. 2C, D, E). Encontramos que las hembras (Fig. 2B) son ligeramente más grandes (10 mm; n = 5) que los machos (Fig. 2A) (8 mm; n = 5). Los especímenes frescos (Fig. 2B, recolectados y criados en 2017) son de color amarillo más brillante, con líneas marrones más oscuras que los especímenes más antiguos recolectados en el campo (Fig. 2A, recolectados en 1909); los especímenes que han perdido las escamas no tienen un color tan brillante y puede parecer que carecen de líneas por completo. Las líneas de las alas de las hembras (Fig. 2B) son considerablemente más festoneadas que las de

los machos (Fig. 2A). De hecho, las hembras (Fig. 2B) pueden tener (o a veces carecer) de una línea marrón distintiva a lo largo de la vena Cu entre la línea media y la basal, pero este carácter siempre falta en los machos (2A). Además, el material recién criado proporcionó la oportunidad de fotografiar los genitales de ambos sexos (Fig. 2C, D) para facilitar la correcta identificación.

Agradecemos a los productores de nopal verdura por el acceso a sus cultivos en Morelos. También agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgar una beca de doctorado al autor principal en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (No. 331402). Alex Wild (Colección de Insectos de la Universidad de Texas) que proporcionó material fotográfico con datos sobre las polillas pirálidas a su cargo. Ben Proscheck (Laboratorio de Entomología Sistemática, USDA) que diseccionó y fotografió los especímenes adultos y los genitales para esta publicación.

4.3. Literatura citada

1. Brown, R.L., Lee, S. and MacGown, J.A., 2009. Video of the dissection of the male genitalia of the cactus moth, *Cactoblastis cactorum*. https://mississippientomologicalmuseum.org.msstate.edu/Researchtaxapages/CactusMoths/Cactoblastis_cactorum/VideoMaleGenitaliaDissection.html(last accessed 8 Mar 2019). Google Scholar
2. Hernández-Urbiola, M.I., Pérez-Torrero, E., and Rodríguez-García, M.E. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8: 1287–1295. Google Scholar
3. Lara-Villalón, M., Solís, M.A, Sánchez-Ramos, G. and Mora-Olivo A. 2016. The cactus webworm, *Loxomorpha flavidissimalis* (Grote, 1878) (Pyraloidea, Crambidae): its distribution and potential as a pest of cultivated cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., var. Copena V-1) (Cactaceae) in Tamaulipas, Mexico. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 118: 109–114. Google Scholar
4. López-Martínez, V., Pérez-De-la-O, N.B., Ramírez-Bustos, II., Alia-Tejacal, I, and Jiménez-García, D. 2016. Current and potential distribution of the cactus weevil, *Cactophagus spinolae* (Coleoptera: Curculionidae), in Mexico. *The Coleopterists Bulletin* 70: 327–334. Google Scholar
5. Mann, J. 1969. Cactus-feeding insects and mites. *United States National Museum Bulletin* 256: 1–158. Google Scholar
6. Pérez, J.J., Ortiz, R., Ramírez, M.L., Olivares, J., Ruíz, D. and Montiel, D. 2016. Presence of organochlorine pesticides in xoconostle (*Opuntia joconostle*) in the central region of Mexico. *International Journal of Food Contamination* 3: 21. <https://doi.org/10.1186/s40550-016-0044-4> Google Scholar

7. Russell, C.E., and Felker, P. 1987. The prickly-pears (*Opuntia* spp., Cactaceae): a source of human and animal food in semiarid regions. *Economic Botany* 41: 433–445. Google Scholar
8. Shetty, A.A., Rana, M.K. and Preetham, S.P. 2012. Cactus: a medicinal food. *Journal of Food Science and Technology* 49: 530–536. Google Scholar
9. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. (online) http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/ (last accessed 17 Feb 2019). Google Scholar
10. Vanegas-Rico, J.M., Lomelí-Flores, J.R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera, G. and Valdez, J. M. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 26: 415–433. Google Scholar

5. Capítulo II

Especies de *Fusarium* asociadas a la mancha negra del nopal verdura y su control biológico in vitro en Morelos, México

Fusarium species associated with black spot of prickly pear cactus and their in vitro biological control in Morelos, Mexico.

Álvaro González-Hernández, Dagoberto Guillén-Sánchez ^(†), Víctor López-Martínez, Irán Alía-Tejacal, Porfirio Juárez-López, Edgar Martínez-Fernández, Daniel Bárcenas-Santana y Nelson Avonce Vergara. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc (EESuX), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM).

5.1. Resumen

México es el mayor productor de nopal verdura a nivel mundial, ya que se cultiva en 27 estados siendo el estado de Morelos el principal productor a nivel nacional con casi la mitad de la producción total. El nopal verdura es considerado como indispensable en la dieta de los mexicanos, principalmente se consume como verdura fresca. Por otro lado, la mancha negra del nopal disminuye significativamente la producción y es el problema fitopatológico más importante de este cultivo. El propósito del presente estudio fue identificar especies de *Fusarium* relacionadas con la mancha negra del nopal, evaluar su patogenicidad y encontrar alguna alternativa biológica en condiciones de laboratorio para su control. Las muestras fueron colectadas en plantaciones de Tlalnepantla, Tlayacapan y Totolapan, Morelos, se procesaron e identificaron morfológica y molecularmente. Las pruebas de patogenicidad se realizaron en cladodios de 7 y 18 meses de edad en condiciones de invernadero y laboratorio con un diseño cinco de oros, los cuales se mantuvieron en cámaras húmedas a 26 ± 2 °C, con un 90% de HR y un fotoperiodo de 12 h luz, las evaluaciones en ambas pruebas se hicieron cada tercer día. Se elaboraron 8 extractos vegetales y se evaluó su efectividad a concentración de 50, 75 y 100% bajo un diseño completamente al azar,

posteriormente se realizó el análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ($P \geq 0.5$) con el programa estadístico SAS 9.0. Las características morfológicas, así como la amplificación de la PCR con los primers ITS, Actina, EF1- α y RpB2 corroboraron la identificación de las especies de *Fusarium equiseti* y *Fusarium lunatum*. Los cladodios que sufrieron un mayor daño bajo condiciones de laboratorio e invernadero fueron los ocasionados por *F. equiseti* en ambas pruebas con lesiones de 16.5 y 24.6 mm de diámetro respectivamente. En las pruebas de efectividad biológica para *F. equiseti* los extractos de sauce en las 3 dosis, así como el de neem al 100% tuvieron una efectividad entre el 75 y 83 %; por otro lado, para *F. lunatum* los extractos de eucalipto, neem, ajo, manzanilla y chirimoyo tuvieron una efectividad del 100% así también con el mismo resultado neem y chirimoyo al 75%. Algunos extractos pueden ser una alternativa viable para el control de especies de *Fusarium* asociados a la mancha negra del nopal dado al grado de patogenicidad que estas especies pueden presentar.

Palabras clave: nopal verdura, mancha negra del nopal, extractos, efectividad biológica.

Abstract

Mexico is the largest producer of prickly pear cactus worldwide, as it is grown in 27 states, with the state of Morelos being the main producer at the national level with almost half of the total production. The nopal vegetable is considered an indispensable part of the Mexican diet, mainly consumed as a fresh vegetable. On the other hand, cactus black spot significantly reduces production and is the most important phytopathological problem of this crop. The purpose of the present study was to identify *Fusarium* species related to the black spot of prickly pear, to evaluate its pathogenicity, and to find a biological alternative for its control under laboratory conditions. Samples were collected from plantations in Tlalnepantla, Tlayacapan and Totolapan, Morelos, processed and identified morphologically and molecularly. Pathogenicity tests were carried out on 7 and 18 months old cladodes

under greenhouse and laboratory conditions with a five-osmosis design, which were kept in humid chambers at 26 ± 2 °C, with 90% RH and a photoperiod of 12 h light, the evaluations in both tests were done every third day. Eight plant extracts were elaborated and their effectiveness was evaluated at concentrations of 50, 75 and 100% under a completely randomized design, then the analysis of variance and Tukey's test of means ($P \geq 0.05$) were performed with the statistical program SAS 9.0. Morphological characteristics, as well as PCR amplification with ITS, Actin, EF1- α and RpB2 primers corroborated the identification of *Fusarium equiseti* and *Fusarium lunatum* species. The cladodes that suffered the most damage under greenhouse and laboratory conditions were those caused by *F. equiseti* in both tests with lesions of 16.5 and 24.6 mm in diameter, respectively. In the biological effectiveness tests for *F. equiseti*, willow extracts in the 3 doses, as well as neem at 100% had an effectiveness between 75 and 83%; on the other hand, for *F. lunatum*, eucalyptus, neem, garlic, chamomile and custard apple extracts had an effectiveness of 100%, as well as neem and custard apple at 75% with the same result. Some extracts can be a viable alternative for the control of *Fusarium* species associated with cactus black spot, given the degree of pathogenicity that these species can present.

Key words: vegetable cactus, cactus black spot, extracts, biological effectiveness.

5.2. Introducción

El nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* Mill) se cultiva principalmente por su alto contenido nutricional (Hernández-Urbiola *et al.*, 2011) y por sus propiedades farmacéuticas (Shetty *et al.* 2012). México se sitúa como el principal productor de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* Mill) a nivel mundial con una producción de 853,495.23 ton, así mismo este vegetal se cultiva en 27 estados del país, siendo el estado de Morelos el principal productor con 396,874.20 t que significan el 46.6% de la producción total en el territorio nacional (SIAP, 2018).

Por otra parte, se sabe que su consumo como verdura fresca es tradicional en la cultura mexicana (Russell y Felker 1987). Se conoce que la producción de esta hortaliza es severamente afectada por problemas de carácter fitosanitario. La mancha negra es la enfermedad causada por el hongo *Pseudocercospora opuntiae*, siendo el problema de origen fúngico más grave para la producción de nopal verdura en el estado de Morelos (Ayala *et al.* 2006).

Existen hongos que representan un problema complejo por su posible interacción con otros fitopatógenos (Quezada-Salinas *et al.*, 2006; Rodríguez-Leyva *et al.*, 2008), entre estos se encuentran los del género *Fusarium* (Méndez *et al.*, 2002). Se reporta que algunas especies del género *Fusarium* como *F. oxysporum* y *F. solani* junto a géneros como *Phytophthora* spp., *Rhizoctonia* spp., *Phytium* spp., entre otros son considerados como un complejo fitopatogenico y que son reportados como los principales agentes causantes de la marchitez, además en condiciones favorables provocan altas pérdidas económicas al afectar del 60% al 100% de la superficie cultivada (Rivera, 2009).

También existen asociaciones importantes con nematodos como lo reporta Hadian *et al.* (2011), quienes encontraron una asociación sinérgica de *Meloidogyne incognita* y *F. oxysporum* en el cultivo de tomate, en Irán. Los hongos de este género incluyen a muchos patógenos de vegetales de importancia agrícola que en conjunto propician enfermedades caracterizadas por marchitez, tizones y pudriciones en una amplia gama de cultivos agrícolas y de importancia forestal (Ma *et al.*, 2013). Su importancia se destaca ya que los hongos de este género

son considerados principalmente como patógenos en el ámbito agrícola (Sumalan *et al.*, 2013).

Sus daños se presentan en el hospedante en una amplia serie de afecciones generalmente de carácter irreversible, originando pérdidas económicas de muy alta magnitud (García *et al.*, 2007). Se menciona que el género *Fusarium* es uno de los más importantes patógenos de plantas cultivadas, con un elevado número de infecciones destructivas de muchos cultivos importantes económicamente, especialmente de cereales, pero también de verduras y frutas. Además, este género contiene especies importantes productoras de micotoxinas que han sido asociadas a enfermedades humanas y animales (Logrieco *et al.*, 2003).

En el mismo contexto, desde hace varios años, el control de las enfermedades de origen fúngico ha dependido principalmente de tratamientos químicos. Sin embargo, estos agroquímicos representan un alto riesgo para la salud humana, así como a la contaminación ambiental (Abdel-Monahim *et al.*, 2011). Esto ha originado la selección de microorganismos resistentes que conducen a enfermedades fungosas con elevada incidencia, severidad y mayor dificultad de controlar. Con la finalidad de disminuir el problema, existe la necesidad de buscar y adoptar estrategias que sean accesibles, sencillas de aplicar y no tóxicas para seres humanos y animales (Naeini *et al.*, 2010).

Teniendo en cuenta la interacción de hongos secundarios de alta relevancia agrícola a los que se les da poca o nula importancia en este problema, el objetivo de esta investigación fue determinar las especies de *Fusarium* asociadas a la mancha negra del nopal, evaluar su patogenicidad en cladodios de diferentes edades, así como la eficacia en la inhibición micelial de algunos extractos vegetales a nivel de laboratorio.

5.3. Materiales y métodos

5.4. Aislamiento e identificación

En 2019 se colectaron muestras de cladodios con síntomas de la enfermedad en plantaciones comerciales de la variedad milpa alta en los municipios de: Tlalnepantla (19.001626, -99.021386, 2214 msnm, Ometuzco) y (18.996778, -98.979583, 1858 msnm, La vía), Tlayacapan (18.973028, -99.007278, 1794 msnm, San José de los Laureles) y (18.981111, -98.975750, 1747 msnm, San Agustín) y Totolapan (18.995139, -98.939111, 1998 msnm, Nepopualco), en el estado de Morelos, México. Las colectas se realizaron de julio a diciembre periodo con mayor prevalencia de la enfermedad.

Las muestras fueron colectadas y etiquetadas con los datos correspondientes y se llevaron al laboratorio de fitopatología de la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc (EESX). Se procesaron de acuerdo con la metodología propuestas por Quesada-Salinas *et al.* (2006). Los cladodios muestreados se lavaron con agua, y se cortaron segmentos de ~ 1 cm de tejidos sanos y enfermos. Fueron desinfectados superficialmente con hipoclorito de sodio al 1% por 1 min, se lavaron a fondo tres veces con agua destilada estéril y se colocó sobre papel secante esterilizado para su secado.

Los fragmentos de tejido se transfirieron en medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) (Difco® cat. BD 213400) y se incubaron en una cámara de ambiente controlado (CYRLAB® modelo C1000D, con 80% de HR, luz blanca fluorescente continua a 26±2 °C., durante ocho días. Finalmente se tomó una porción de micelio con una aguja de disección colocando sobre un portaobjetos una gota de azul de metileno, y se observó al microscopio óptico (microscopio motic BA310, imágenes más 2.0 con cámara moticam 5.0 mp) con los objetivos 10, 40 y 100X.

Las cepas identificadas, se aislaron por la técnica de cultivos monospóricos (Burgess *et al.*, 1994); para evaluar sus características morfológicas confirmando su especie por medio de las claves taxonómicas para el género *Fusarium* (Leslie y Summerell, 2006) y (Schroers *et al.* 2009).

5.5. Extracción de ADN e identificación molecular del patógeno

La extracción del ADN genómico se realizó de acuerdo con el método del bromuro de cetil-trimetil-amonio (CTAB). De cada aislado se raspó la superficie usando una espátula de acero inoxidable estéril, el micelio se depositó en un mortero estéril, se le agregó nitrógeno líquido y se maceró con un pistilo y se transfirió a un tubo de microcentrifuga de 1.5 mL con 500 μ L de solución buffer Dellaporta, se mezcló con vórtex por 10 s y se incubó por una hora a 65 °C. Se agregaron 700 μ L de Cloroformo-alcohol isoamílico (24:1v/v) posteriormente se pasó por vórtex por 10 s y se centrifugó (Centrifuge 5810 R Eppendorf) a 13 000 g durante 10 minutos. Con una micropipeta, el sobrenadante se transfirió a un tubo nuevo de microcentrifuga de 1.5 mL y se agregó 700 μ L de isopropanol. Los tubos se mezclaron por inversión de cuatro a cinco veces y se almacenaron a -20 °C durante 10 minutos, luego se centrifugó a 13 000 g durante 10 minutos, para sedimentar el DNA y desechar el sobrenadante. Se agregó a cada tubo 500 μ L de etanol al 70 %, se centrifugó a 13 000 g por 5 minutos y se desechó de nuevo el sobrenadante. En papel absorbente se colocaron los tubos hacia abajo para escurrir el etanol, posteriormente cuando la pastilla se secó se agregaron 100 μ L de agua estéril libre de DNAsa y RNAsa. La calidad y concentración del ADN se cuantificó con un espectrofotómetro Nanodrop Lite (Thermo Scientific ®, EE.UU.), Finalmente el DNA se almacenó a -20°C para su uso posterior.

Las regiones que se probaron de acuerdo con la identificación morfológica previa fueron ITS y Actina para el aislamiento I y EF 1- α y RPB2 para el aislamiento II mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) con los iniciadores. Los productos de PCR fueron purificados mediante el protocolo de DNA clean & concentratorTM-5 (Zymo Research, EE. UU.). Dichos fragmentos obtenidos de DNA purificados se mandaron a secuenciar a Corea a la empresa MacroGen®. Las secuencias obtenidas fueron comparadas con la base de datos en NCBI con el BLAST (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

5.6. Ensayos de patogenicidad

Se sembraron cladodios de la variedad milpa alta con suelo previamente esterilizado en un invernadero de la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc de la UAEM y se les dio mantenimiento durante un año. También se colectaron cladodios de 7 y 18 meses de un huerto comercial en producción de 4 años de edad y se transportaron al laboratorio de fitopatología de la EESX para realizar las pruebas correspondientes.

5.7. Inoculación en laboratorio

Los cladodios colectados en campo fueron desinfectados con hipoclorito de sodio (NaClO) al 1% durante 1 min y tres lavados consecutivos de un minuto con agua destilada estéril, se utilizó un cladodio por cada edad de 7 y 18 meses al cual se inoculo en 5 puntos en un arreglo cinco de oro realizando un corte con un bisturí y colocando un disco de 0.5 cm de la cepa de 7 días de edad en cada punto, posteriormente se colocó algodón esterilizado humedecido con agua destilada estéril en cada uno de los puntos con el objetivo de tener abundante humedad, los cladodios inoculados se colocaron en cámaras húmedas a 26 ± 2 °C, con un 90% de HR y a fotoperiodo de 12 h luz proporcionada con 10 lámparas LED de 36 w. Las evaluaciones se realizaron con un calibrador vernier Mitutoyo®, modelo 500-197-30 de 8 pulgadas cada tres días por un lapso de un mes. En el Cuadro 1 se aprecian los tratamientos con las respectivas edades de los cladodios.

Cuadro 1. Numero de tratamientos por edades de cladodios de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) variedad Milpa alta evaluados bajo condiciones de laboratorio

Tratamiento	Cepa	Edad de cladodio
1	C1	18 meses
2	C1	7 meses
3	C2	18 meses
4	C2	7 meses
5	Solo medio PDA (Testigo)	18 meses
6	Solo medio PDA (Testigo)	7 meses

*C1 y C2 cepas identificadas en este estudio.

5.8. Inoculación en invernadero

Del cladodio base (planta madre) se seleccionaron 4 puntos en la misma cara, mientras en los cladodios adyacentes fueron seleccionados 4 cladodios por planta y solo se realizó una inoculación a cada uno de estos. Los puntos de inoculación se desinfectaron con hipoclorito de sodio (NaClO) al 1% y se les dio un enjuague con agua destilada estéril retirando el sobrante con un algodón, a estos puntos se les realizó una herida con un bisturí previamente estéril y fue depositado a cada herida un disco de 0.5 cm de diámetro de una cepa de 7 días de edad, posteriormente con el propósito de mantener húmeda el área de inoculación se utilizó algodón previamente esterilizado el cual fue embebido en agua destilada estéril y sujetando a la superficie del cladodio con cinta adhesiva, el algodón fue humedecido cada tercer día verificando en ese lapso de tiempo el avance de la infección, se midió con un calibrador vernier Mitutoyo[®], modelo 500-197-30 de 8 pulgadas. En el Cuadro 2 se observan los tratamientos con cladodios y sus respectivas edades.

Cuadro 2. Numero de tratamientos por edades de cladodios de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) variedad Milpa alta evaluados bajo condiciones de invernadero

Tratamiento	Cepa	Edad de cladodio
1	C1	18 meses
2	C1	7 meses
3	C2	18 meses
4	C2	7 meses
5	Solo medio PDA (Testigo)	18 meses
6	Solo medio PDA (Testigo)	7 meses

*C1 y C2 son las cepas identificadas en este estudio.

Los cladodios fueron inoculados los días 27 y 28 de noviembre del 2019 y evaluados en el transcurso de 30 días. Al término de las evaluaciones se promediaron los resultados y se realizaron las gráficas del avance de la infección con respecto al tiempo.

5.9. Elaboración de extractos

Se realizaron extractos acuosos de ajo (*Allium sativum*), neem (*Azadirachta indica*), eucalipto (*Eucalyptus melliodora*), manzanilla (*Chamaemelum nobile*), zacate limón (*Cymbopogon* spp.), albahaca (*Ocimum basilicum*), sauce (*Salix* spp.) y chirimoyo (*Annona cherimola*). Las plantas de hojas y bulbos fueron adquiridas en un mercado de Cuautla, Morelos; las semillas de neem fueron cosechadas de árboles de la EESX de la UAEM y se molieron en un molino de aluminio para granos marca Estrella®, modelo 11540. El proceso de desinfección de hojas, tallos y semillas se realizó con hipoclorito de sodio (NaClO) al 3%, durante 1 min, posteriormente se sometieron a tres enjuagues consecutivos con agua destilada estéril y se sumergieron en alcohol al 70% por un lapso de 1 min después se lavaron 3 veces con agua destilada estéril, los materiales vegetales se dejaron secar a temperatura ambiente durante 24 horas.

Los extractos vegetales fueron preparados con base al proceso de elaboración descrito por Marín *et al.* (2008), el cual consistió en triturar y licuar durante 3 min el material vegetal, luego fueron depositados en recipientes de plástico con tapa, a cada recipiente se le agregó agua destilada estéril a una proporción de 2.5:1 (volumen: peso), en el caso de las hojas fueron pesados 500 g y se utilizaron 1.25 litros de agua y en bulbos y pasta de semillas la proporción fue de 400 g en 1 L de agua, posteriormente se dejaron en reposo durante 24 horas, se procedió a realizar el filtrado utilizando 4 capas de gasa previamente esterilizada y se envasaron para su evaluación previa.

5.10. Evaluación de inhibición de extractos vegetales sobre los patógenos aislados

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 25 tratamientos incluyendo al testigo y cuatro repeticiones, la unidad experimental fue una caja Petri. Para cada cepa se utilizaron 8 extractos en tres concentraciones, se prepararon 2.5 L de PDA por evaluación de cada cepa, tomando en cuenta que a cada caja se agregó 25 mL de medio preparado; se utilizaron 75, 81.25 y 87.5 mL

de PDA en estado líquido adicionando 25, 18.75 y 12.5 mL de extracto líquido consecutivamente para definir las concentraciones de 100, 75 y 50% removiendo constantemente.

La siembra fue realizada con la fragmentación de discos de 0.5 cm de diámetro de una cepa de 7 días de edad y se tomó un disco depositándolo en el centro de cada caja compuesta, al testigo solo se le colocó un disco de medio PDA, posteriormente fueron incubadas a 24 °C y fotoperíodo 12:12 h (luz: oscuridad). Se evaluó el diámetro de crecimiento de la colonia cada 24 h con un vernier Mitutoyo®, modelo 500-197-30 de 8 pulgadas, las evaluaciones se realizaron durante un mes.

Para determinar la efectividad biológica se utilizó la fórmula descrita por Abbott (1925).

$$ET = \frac{ST - St}{ST} \times 100$$

Dónde:
ET = Efectividad del tratamiento
ST = Porcentaje de infección del testigo
St = Porcentaje de infección en cada tratamiento

Los datos se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$), se utilizó el programa SAS (SAS institute Inc, 1996).

5.11. Resultados y discusión

5.12. Identificación morfológica

Se obtuvieron 24 aislados de los cuales 14 se identificaron como fitopatógenos pertenecientes al género *Fusarium* y el resto fueron saprofitos de poco interés agrícola. Las 14 cepas obtenidas de *Fusarium* sp. se subclasificaron tomando en cuenta las características morfológicas como el tipo de micelio, color de la cepa, tipo de crecimiento, producción de micro y macro conidios y clamidosporas al

formar dos grupos: grupo 1 colonia de color blanco y grupo 2 colonia de color anaranjado (Figuras 1a y 1e). Dichos grupos de patógenos fueron aislados de la mancha negra del nopal en las diferentes zonas de colecta (Rivera, 2009; Hadian *et al.*, 2011).

En medio PDA presentó micelio con lento crecimiento, colonias similares a levaduras, de color naranja parduzco, carente de micelio aéreo (Figura 1a); presenta macroconidios frecuentemente de 0 a 2 septos, 10.5-13 x 3-3 μm (Figura 1b); microconidios curvados, ya sea casi uniformemente redondeados en ambos extremos o con un pico puntiagudo y un extremo distal y proximal ligeramente puntiagudo, en su mayoría 0, rara vez 1 o 2 septos, 9-11.5 x 3-3.5 μm (Figura 1c); con presencia de clamidosporas agrupadas en conjuntos (Figura 1d). Características morfológicas que coinciden con las descritas por Schroers *et al.* (2009) para *F. lunatum*.

En medio de cultivo PDA se identificó por la presencia de abundante micelio en crecimiento, inicialmente de color blanquecino (Figura 1e); Se observaron abundantes macroconidios desarrollados ramificados dorsoventralmente curvos, usualmente con cinco a siete septos marcados, con una longitud de 20-30 μm , con pared gruesa que en su parte ventral se arquea ligeramente y en su lado dorsal se arquea abruptamente, con una célula basal en forma de pie y la parte apical filamentosa (Figura 1f); las estructuras macroconidiales se formaron en monofiliades (Figura 1g); clamidosporas presentes arregladas en cadenas (Figura 1h). Las características morfológicas mencionadas anteriormente, coincidieron con las descritas por Leslie y Summerell (2006) para *F. equiseti*.



Figura 1. Morfología estructural de especies de *Fusarium*

Identificación molecular

El análisis molecular confirmó la identificación de las especies de *Fusarium* como agentes asociados a la mancha negra del nopal. Las secuencias de las regiones ITS, Actina, EF1- α y RPB2 del ADN ribosomal (LAN19-BIM-009 y LAN19-BIM-011) los dos aislados representativos utilizados en las pruebas de patogenicidad fueron depositados en el NCB1 GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

La amplificación de la PCR con los primers ITS, Actina, EF1- α y RPB2 corroboraron la identificación de las especies de *Fusarium equiseti* y *Fusarium lunatum* con una similitud por superior al 95 % con las secuencias MH496038, GQ91549, EU926223 y KM231192 reportadas en Serbia, EE.UU., Eslovenia y Países bajos respectivamente (Cuadro 3)

Cuadro 3. Similitud de la amplificación de las secuencias ITS, Ef 1- α y β -tubulina del ADN ribosomal con las depositadas en el GeneBank de los aislamientos de *Fusarium* spp.

Muestra	Marcador	Especie alineada	Similitud (%)	No. de acceso de secuencia alineada	País de la secuencia alineada
LAN19-BIM-009	EF11- α	<i>F. equiseti</i>	97.59	MH496038	Serbia
	RPB2	<i>F. equiseti</i>	99.10	GQ915491	EE. UU.
LAN19-BIM-011	ITS	<i>F. lunatum</i>	99.07	EU926223	Eslovenia
	Actina	<i>F. lunatum</i>	95.80	KM231192	Países bajos

En comparación con otros estudios con respecto a la enfermedad, se han identificado a algunas especies de *Fusarium* relacionadas con la mancha negra

del nopal como son: *Fusarium sporotrichoides* (Swart y Kriel, 2002) y *Fusarium lunatum* (Flores-Flores et al., 2013), pero no se ha reportado a *Fusarium equiseti*.

5.13. Pruebas de patogenicidad

5.13.1. Inoculaciones en laboratorio

En la Figura 2 se observan perforaciones de los cladodios principalmente en los de 7 meses de edad que fueron atravesados por completo, por otra parte, en los cladodios de 18 meses las perforaciones llegaron a más de la mitad de su grosor pudiéndose observar el daño interno que causaron estos patógenos.



Figura 2. Síntomas de la mancha negra del nopal en cladodios de nopal verdura de diferentes edades inoculadas con dos especies de *Fusarium* bajo condiciones de laboratorio

Los cladodios inoculados con las dos especies de *Fusarium* aislados mostraron síntomas característicos de la enfermedad en el área inoculada 10 días después de la inoculación. Los cladodios presentaron un avance de la infección de manera externa e interna correspondiente a los inóculos de *F. equiseti* en cladodios de 18 (Figura 2a) y 7 meses de edad (Figura 2b) casi como en cladodios inoculados con *F. lunatum* en cladodios de 18 (Figura 2c) y 7 meses de edad (Figura 2d), en comparación con los testigos en cladodios de 18 (Figura 2e) y 7 meses de edad (Figura 2f). Estos resultados son similares a los obtenidos por Swart y Kriel (2002), quienes aislaron a *Fusarium sporotrichoides* de cladodios de *Opuntia* sp en África en donde las lesiones se extendían a través del tejido hasta el lado opuesto del cladodio.

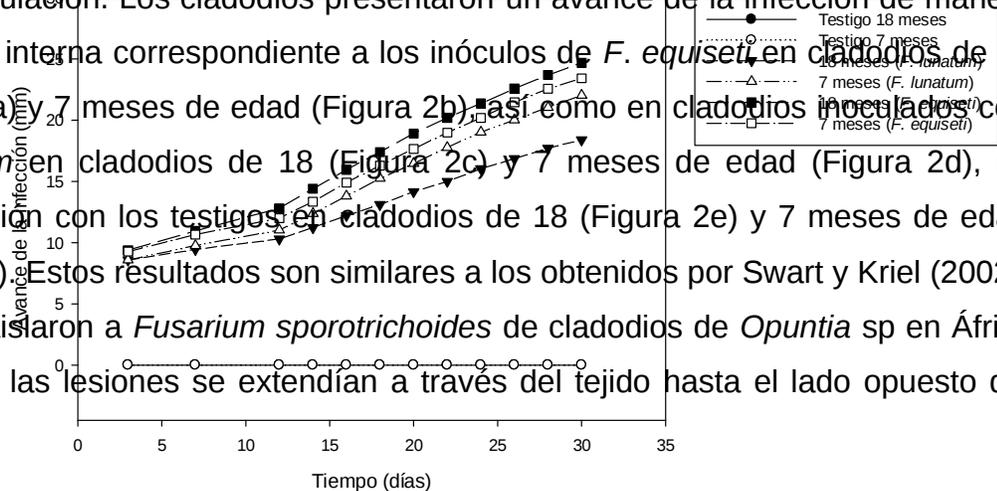


Figura 3. Promedio de diámetro del avance de la infección de dos especies de *Fusarium* en cladodios de nopal verdura de diferentes edades bajo condiciones de laboratorio.

En la Figura 3 se muestra a los cladodios de 18 meses de edad inoculados con *F. equiseti* que tuvieron un avance infeccioso de un 25.4% mayor que los inoculados con *F. lunatum*; mientras que los resultados en cladodios inoculados de 7 meses de edad presentaron un comportamiento similar, puesto que *F. equiseti* causó 5.9% más con respecto a *F. lunatum*.

5.13.2. Inoculaciones en invernadero.

En la Figura 4 se pueden observar orificios en los cladodios producto de la infección principalmente en cladodios secundarios de la planta.



Figura 4. Síntomas de mancha negra en cladodios de nopal verdura de diferentes edades, inoculados con dos cepas de *Fusarium* en condiciones de invernadero.

En la Figura 4 se observa el avance de la enfermedad en cladodios inoculados en el transcurso de 30 días con *F. lunatum* en planta madre (Figura 4a) y cladodios secundarios (Figura 4b); así como *F. equiseti* en planta madre (Figura 4c) y cladodios secundarios (Figura 4d); testigos planta madre (Figura 4e) y cladodio secundario (Figura 4f). Así como en las pruebas de laboratorio se presentó una mayor infección en cladodios inoculados con *F. equiseti*.

Al reaislar los aislamientos iniciales de los cladodios inoculados y observar las mismas características morfológicas se cumplieron los postulados de Koch.

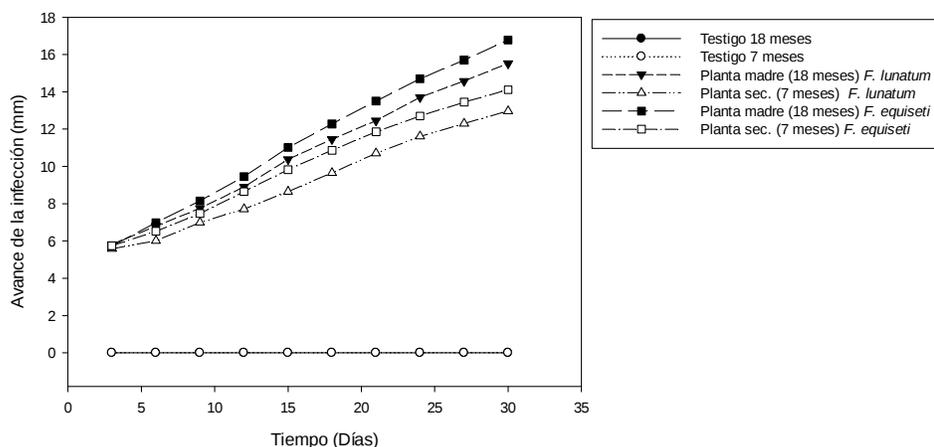


Figura 5. Promedio de diámetro del avance de la infección por especies de *Fusarium* en cladodios de nopal verdura de diferentes edades bajo condiciones de invernadero.

En la Figura 5 se observa que la cepa de *F. equiseti* en la planta de 18 meses de edad presentó un mayor avance de la infección con 7.4 % más que *F. lunatum*. Por otra parte, en cladodios de 7 meses de edad de igual manera *F. equiseti* fue más patógeno con un promedio de la lesión mínimo de 0.9 % mayor que *F. lunatum*. Las dos especies tuvieron una infección progresiva.

Estos resultados son inferiores a los obtenidos por Swart y Kriel (2002), quienes aislaron e inocularon a *Fusarium sporotrichoides* en cladodios de *Opuntia* sp. y obtuvieron resultados de 27 mm de diámetro, 2 y 11 mm más con respecto a

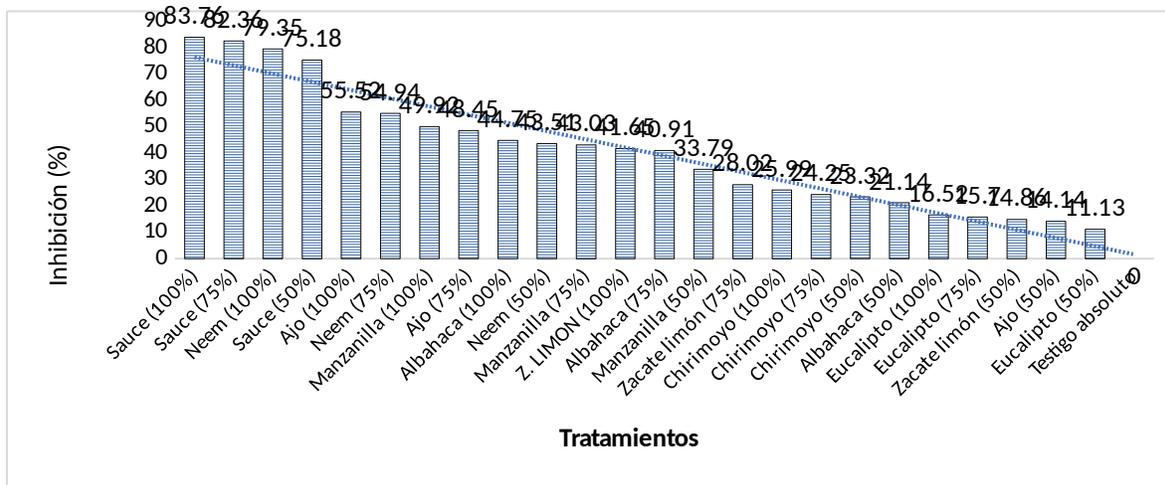
las pruebas realizadas en invernadero y laboratorio para *F. equiseti* inoculo de mayor infección en cladodios de 18 meses.

Las pruebas realizadas en invernadero y laboratorio muestran que *F. equiseti* tiene mayor patogenicidad con un promedio del avance de la infección más elevada en cladodios de diferentes edades con respecto a *F. lunatum*, esto podría deberse a que las condiciones preferenciales de *F. equiseti* incluye los cultivos de regiones templadas como lugares en donde se cultivan granos y hortalizas, siendo las condiciones óptimas de desarrollo temperaturas entre 21 y 25°C y un 87-88% de humedad relativa, condiciones similares a las zonas donde se cultiva el nopal verdura en el estado de Morelos, y dada su importancia por ser un micopatógeno que sintetiza metabolitos secundarios como la micotoxina F2 o Zearalenona en granos que incluyen a *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. verticillioides* y *F. equiseti*, especies con mayor prevalencia en estos ambientes climáticos, según la AECOSAN (2015).

Su ingesta a niveles altos vía consumo de alimentos puede producir trastornos en el sistema reproductor en desarrollo y puede afectar al sistema inmunológico, disminuyendo las defensas del organismo (Elika, 2013). Debido a su actividad estrogénica y la de sus metabolitos, niveles plasmáticos altos de zearalenona pueden relacionarse con alteraciones endometriales en las mujeres y crecimiento de carcinomas mamarios.

5.14. Efectividad *in vitro* de extractos vegetales

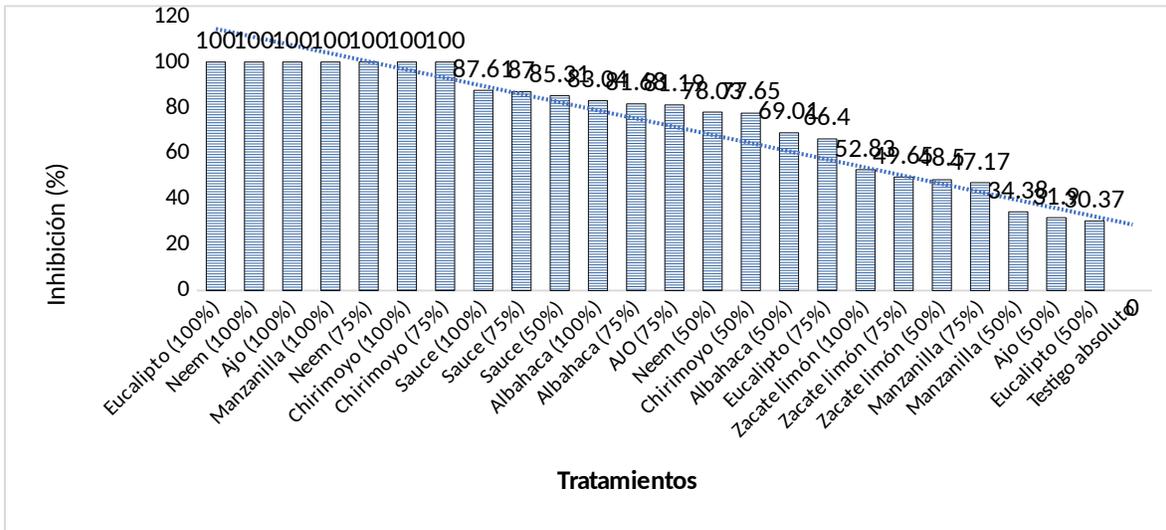
En la inhibición de *F. equiseti* se puede apreciar en la Figura 6 que el extracto de neem al 100% y Sauce en sus tres concentraciones tuvieron los porcentajes más altos de inhibición micelial del hongo de 75 a 83%, por otra parte, todos los demás extractos tuvieron una inhibición menor a 55%, especialmente los extractos de chirimoyo, zacate limón y eucalipto en sus tres dosis, albahaca al 75 y 50% y ajo al 50% con porcentajes menores al 42% de inhibición micelial.



Las medias de los tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Figura 6. Porcentaje de inhibición micelial de *F. equiseti* por efecto de extractos vegetales acuosos

En la Figura 7 se presenta la inhibición de *F. lunatum* donde se observa que la mayor inhibición micelial de *F. lunatum* fueron con los extractos de eucalipto, neem, ajo, manzanilla y chirimoyo, a concentraciones del 100%, neem y chirimoyo al 75% con inhibición micelial de 100%; también resaltan los extractos de sauce en sus tres dosis, albahaca al 75 y 50% y ajo al 75% que lograron inhibir el crecimiento del micelio de 80 a 87%. No obstante, el zacate limón en sus tres dosis, la manzanilla al 75 y 50%, el ajo y eucalipto a 50% de concentración lograron porcentajes de inhibición menores a 53%.



Las medias de los tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Figura 7. Porcentaje de inhibición micelial de *F. lunatum* por efecto de extractos vegetales acuosos.

Se pueden citar algunas referencias en donde se menciona la descripción de más de 30 taninos los cuales son un grupo de sustancias fenólicas poliméricas, que pueden inhibir hongos y bacterias como el tanino que se encuentra en el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (Cruz *et al.* 2001). Lo anterior coincidió con este estudio en donde extractos de eucalipto a una concentración de 100% inhibió completamente el crecimiento micelial de *F. lunatum*, pero no tuvo buen efecto en *F. equiseti* en sus tres concentraciones, lo cual coincide con Barrera y García (2008), quienes reportaron en su estudio de evaluación de aceites esenciales entre ellos el de eucalipto, que contiene un monoterpeno conocido como linalool pero que mostró un bajo efecto inhibitorio del crecimiento micelial del hongo *Fusarium* sp. aislado de frutos de papayo.

En experimentos realizados por Alkali (2005) con extractos acuosos de ajo (*Allium sativum*), neem (*Azadirachta indica*) y zacate limón (*Cymbopogon proxims*), para inhibir el crecimiento micelial de *F. oxysporum*, los cuales obtuvieron una eficiencia inhibitoria de más del 60%, en base a esto el mejor tratamiento fue el extracto acuoso de ajo que logró 95% en la inhibición del patógeno. Los resultados anteriores presentan cierta similitud con esta investigación, donde el extracto de ajo al 100% redujo el crecimiento de *F. equiseti* en más del 55%, mientras que inhibió completamente el crecimiento micelial de *F. lunatum*. Resultados similares fueron reportados por Chacin *et al.* (2013) quienes en un estudio con extractos acuosos de ajo obtuvieron una inhibición del 60% de *Colletotrichum* sp aislado de papayo.

En este sentido Pezzuti *et al.* (1994) mencionan que el ajo posee algunos compuestos azufrados como la alicina, aliina, cicloide de alicina y sulfuro de dialil, los cuales poseen propiedades repelentes, fungicidas y actúan como bactericidas. La alicina (S-2-propenil éster del ácido 2-propenol-1- sulfino) representa típicamente el 70% de los compuestos sulfurados presentes en ajo, siendo el

tiosulfinato el compuesto de mayor abundancia en la planta, este compuesto se forma a través de la interacción de su precursor (aliina) y la enzima aliinasa.

La aliinasa constituye el 0.24 % del peso total de la parte comestible, se encuentra en las vacuolas celulares y es el principal componente (farmacológicamente inactivo e inodoro) del cual se deriva la sustancia activa. La enzima aliinasa se encuentra en el citoplasma, de manera que el sustrato sólo tiene entrada a los precursores cuando se fractura el tejido al ser triturado o molido y así se induce la formación de alicina acompañada del olor que caracteriza al ajo. El bulbo fresco tiene entre 62 - 64 % de humedad, sus sólidos secos están formados principalmente por polisacáridos (80%) y proteínas azufradas (14-16%).

En este estudio los extractos acuosos de zacate limón lograron promedios de inhibición del crecimiento micelial menores de 52% en las dos especies de *Fusarium* en sus tres concentraciones, resultados que fueron diferentes a los obtenidos por Alkali (2005), quien reportó a varios extractos acuosos entre ellos al de zacate limón con más del 60% de inhibición micelial, a pesar de tener aceites esenciales ricos en citral conocidos también por sus propiedades bactericidas y fungicidas (Guenther, 1950; Pattmaik y Subramanyam 1985).

Los extractos de semillas de Neem al 100% en este estudio logró una inhibición micelial superior al 79% en ambas especies de *Fusarium*, resultados que superaron a los reportados por Alkali (2005) y Chacin *et al.* (2013). Por otro lado, Joseph *et al.* (2008), obtuvieron mayor inhibición de *F. solani*, causante de la marchitez, en tratamientos con extracto acuoso de neem en semillas de berenjena (*Solanum melongena*). El Neem está compuesto por un conjunto de principios activos entre los cuales se aprecian la azadiracthina, meliantriol, salannim y nimbin con posibles actividades antimicóticas por su elevada concentración de estos compuestos especialmente en sus semillas.

Los resultados obtenidos en este estudio con extractos de hojas de sauce, coinciden con los reportados por Hanaa (2011) en donde menciona la reducción de un 30% de la marchitez en plántulas de tomate causada por *F. oxysporum*,

mientras que en esta investigación se obtuvieron resultados de inhibición superiores al 75% en las dos especies de *Fusarium* en sus tres concentraciones.

El efecto inhibitorio del extracto de sauce contra la marchitez causada por *Fusarium* podría deberse a la presencia de salicina que es un glucósido de alcohol salicílico, esta se puede unir a los receptores en la superficie de las células patógenas y penetrar en las células de *Fusarium* el cual puede destruirse mediante la desnaturalización de algunas enzimas y proteínas. La salicina puede ser el compuesto principal que muestra el efecto antifúngico, pero otros metabolitos pueden aumentar la potencia de este extracto en comparación con la salicina pura (El-Shemy *et al.*, 2007).

En el presente trabajo el extracto de manzanilla al 100% inhibió completamente el crecimiento micelial de *F. lunatum*, mientras que en *F. equiseti* solo logró un 49.9% de inhibición, resultados similares a los obtenidos por Villacís-Aldaz *et al.* (2017), quienes reportaron que el extracto de manzanilla inhibió en más del 50% el crecimiento de *Colletotrichum acutatum* aislado de tomate de árbol bajo condiciones de laboratorio.

El extracto de albahaca al 100% tuvo un porcentaje de inhibición de 83% en *F. lunatum* y solo del 44.7% en *F. equiseti*; estos resultados son superiores para *F. lunatum* e inferiores a *F. equiseti* en la inhibición micelial a los encontrados por Joseph *et al.* (2008), quienes reportaron una inhibición de 60% de *Fusarium solani* sp. *melongenae* aislado de berenjena (*Solanum melongena*) en condiciones de laboratorio con extracto acuoso de albahaca. En este sentido Varma *et al.* (2002) mencionan que algunas plantas tienen compuestos con efecto inhibitorio como algunos carotenos en albahaca (*Ocimum sanctum*).

El extracto de hojas de chirimoyo (*Annona cherimola*) a 75 y 100%, en esta investigación, tuvo un 100% de inhibición de *F. lunatum*, mientras que en *F. equiseti* obtuvo de 23 a 26% de inhibición en las tres concentraciones; resultados superiores al menos para *F. lunatum* e inferiores en *F. equiseti* a los reportados por Ochoa *et al.* (2012), quienes encontraron una inhibición de 62.5% para *F. solani*,

89.62% para *F. culmorum* y 89.55% para *F. oxysporum* en concentraciones de 10000 ppm.

Por otra parte, Hernández-Albíter *et al.* (2007) estudiaron 40 especies de plantas del estado de Morelos, México, para determinar su potencial antifúngico, y reportaron actividad inhibitoria del extracto crudo de chirimoya (*Annona cherimola*) sobre *Colletotrichum gloeosporoides*. Por otra parte, Bautista-Baños *et al.* (2000) reportaron que el extracto acuoso de *Annona reticulata* inhibió la formación de esporas y la germinación de *Rhizopus stolonifer*. En este sentido se reporta que las acetogeninas presentes en la Familia *Annonaceae*, representan un grupo de más de 300 compuestos con propiedades bioactivas como antimicrobianos e insecticidas (Sanewski *et al.*, 1991).

Los extractos vegetales hechos a base de hojas de zacate limón, manzanilla y albahaca, así como eucalipto en su concentración baja mostraron la menor inhibición del crecimiento micelial de las dos especies de *Fusarium*, por el contrario estimularon el crecimiento micelial de los patógenos, esto podría deberse a que los hongos son capaces de liberar una elevada cantidad de enzimas las cuales les permiten degradar los compuestos tóxicos para usarlos en alguna fase de su metabolismo (Chacin *et al.*, 2013).

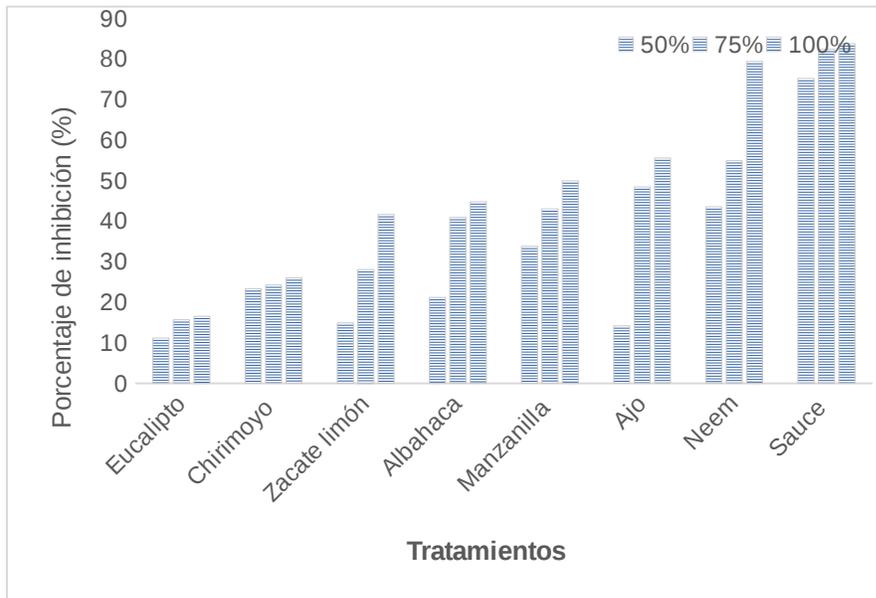
Como lo menciona Bolívar *et al.* (2009), los extractos vegetales utilizados en esta investigación causaron diferente sensibilidad *in vitro*, lo que podría ser debido al contenido de los aceites esenciales y otros compuestos de cada especie vegetal. De manera general las plantas contienen compuestos terpénicos y fenólicos, capaces de afectar la permeabilidad de las membranas, causando alteraciones en el metabolismo celular e inhibición del crecimiento micelial (Gende *et al.*, 2008).

Diversas investigaciones han demostrado la capacidad de diversas especies vegetales en la inhibición de ciertos organismos fitopatogenos de origen fúngico, asumiendo la presencia de algunos metabolitos secundarios principalmente compuestos fenólicos y alcaloides, de gran interés para la

bioquímica vegetal y que están presentes en los órganos de plantas superiores (Briceño *et al.* 2011).

5.15. Interacciones entre los diferentes extractos y sus concentraciones

5.15.1. Extractos y sus concentraciones vs inhibición micelial de *F. equiseti*



En la Figura 8 se puede apreciar que, en los extractos de sauce, manzanilla, zacate limón, chirimoyo y eucalipto existe una relación más homogénea con respecto al porcentaje de

inhibición micelial y las dosis, mientras que el neem tuvo una diferencia importante de inhibición en su concentración alta, por otra parte, el ajo y albahaca tuvieron un porcentaje de inhibición homogéneo en sus concentraciones de 75 y 100%. Con estos resultados se puede observar que el extracto acuoso de sauce en sus tres concentraciones y el de Neem en su concentración alta fueron los más eficaces para inhibir a *F. equiseti* aislado de nopal verdura.

Figura 8. Relación de diferentes concentraciones de extractos acuosos vegetales con respecto al porcentaje de inhibición de *F. equiseti* aislado de nopal verdura variedad Milpa alta.

En la Figura 9 se muestran los mejores resultados para la inhibición de *F. equiseti* con respecto al tiempo transcurrido, donde las líneas presentan un comportamiento homogéneo; la inhibición tuvo un incremento de los 0 a 12 días y un punto de estabilidad a los 16 y 17 días, posteriormente el crecimiento micelial fue mínimo hasta detenerse o ser inhibido por completo.

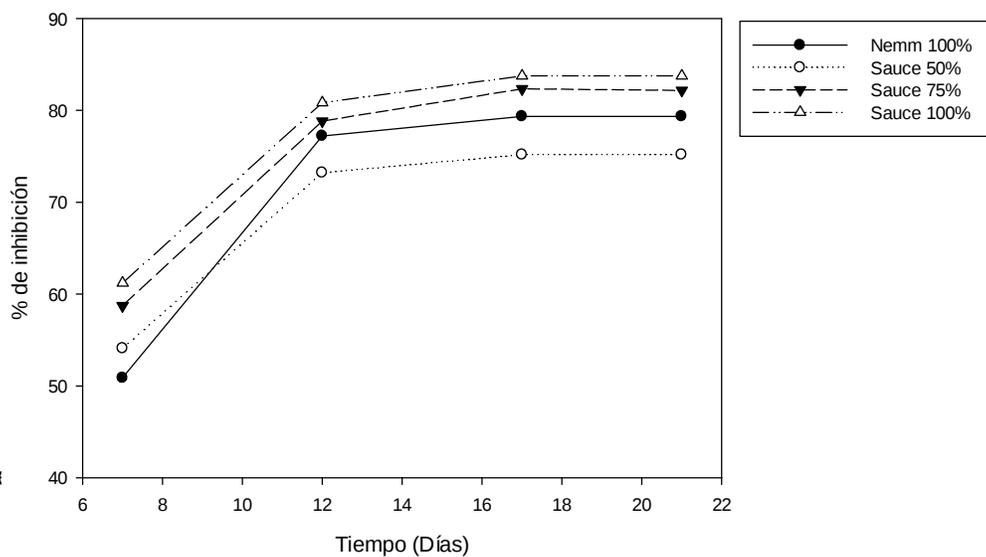


Figura
crecimie

del

5.15.2. Extractos y sus concentraciones vs inhibición micelial de *F. lunatum*

Se observa en la Figura 10, una heterogeneidad de los diferentes extractos; con los resultados de inhibición más uniformes entre concentración y porcentaje de inhibición que fueron eucalipto, zacate limón, albahaca y sauce respectivamente; también se observa que los extractos de neem y chirimoyo obtuvieron porcentajes

similares solo en sus dosis altas. Los extractos de sauce en sus tres concentraciones, neem, albahaca y chirimoyo al 100 y 75%, ajo, manzanilla y eucalipto en concentración de 100% obtuvieron los mejores resultados para inhibir en más de 80% a *F. lunatum* aislado de nopal verdura variedad Milpa alta.

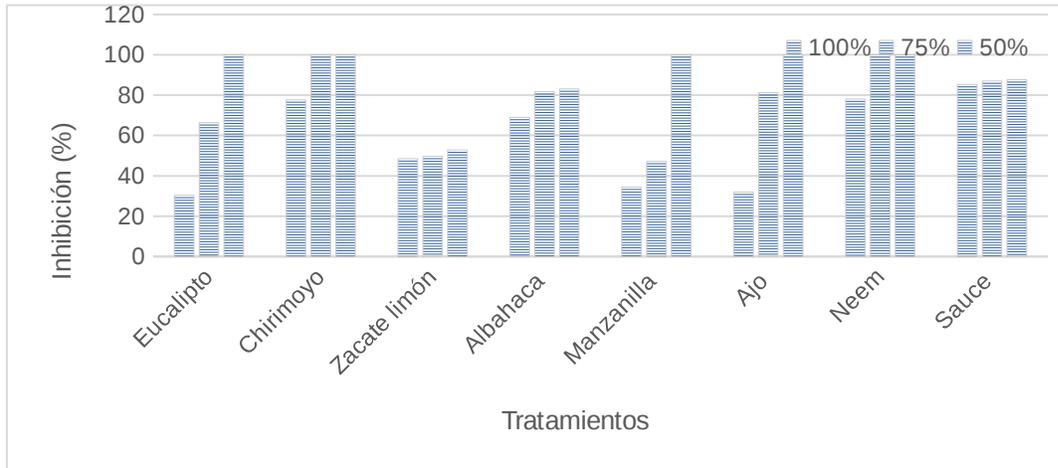


Figura 10. Relación de concentraciones de extractos vegetales acuosos con respecto al porcentaje de inhibición de *F. lunatum* aislado de nopal perdura variedad Milpa alta.

En la Figura 11 se puede apreciar que existió una inhibición homogénea del crecimiento micelial en el transcurso del tiempo. El porcentaje inhibitorio del micelio se incrementó de 0 a 12 días con inhibiciones de 70 a 80%. Por otra parte, los siete tratamientos que presentaron mayor porcentaje de inhibición indican que desde el inicio de la incubación no hubo desarrollo micelial del hongo por lo tanto fue inhibido completamente en un principio.

El efecto inhibitorio final de cada tratamiento se observó a los 17 días cuando el crecimiento micelial se detuvo por completo.

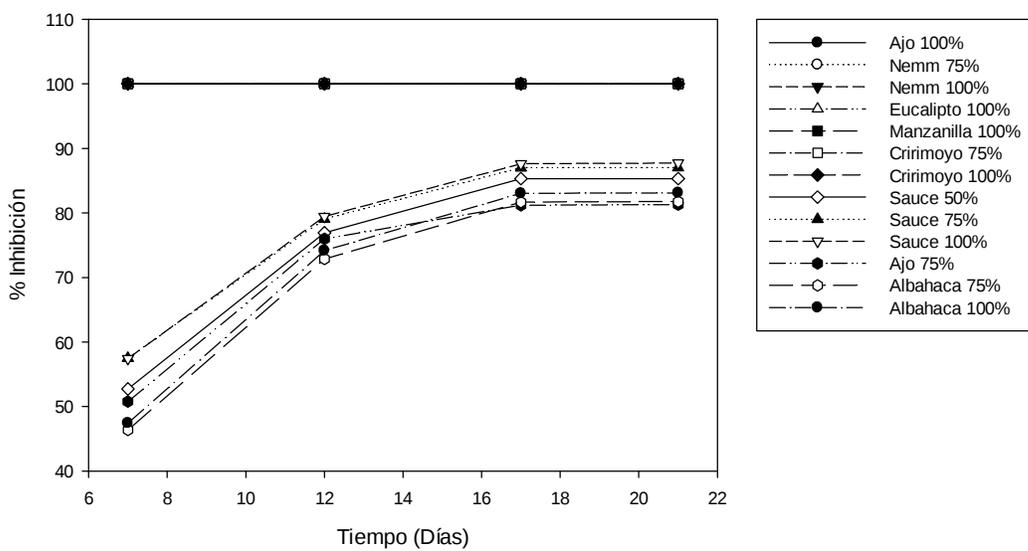


Figura 11. Tratamientos sobresalientes de extractos acuosos vegetales en la inhibición del crecimiento micelial de *F. lunatum* aislado de nopal verdura variedad Milpa alta.

5.16. Conclusiones

1. Los mejores tratamientos en la inhibición micelial de *Fusarium equiseti* fueron neem en su concentración alta y sauce en las tres concentraciones, extractos con porcentajes de inhibición de entre 75 y 85%.
2. Los mejores tratamientos en la inhibición micelial de *Fusarium lunatum* fueron en concentraciones altas ajo, neem, eucalipto, manzanilla, chirimoyo, sauce y albahaca. En concentración media neem, chirimoyo, sauce, ajo y albahaca. Y en bajas concentraciones solo el sauce, con porcentajes de inhibición de entre 80 y

100%. Además, hubo más extractos que inhibieron el crecimiento micelial de este hongo.

3. Los extractos vegetales evaluados presentaron diferentes niveles de inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium equiseti* y *Fusarium lunatum* de los cuales algunos pueden ser una alternativa para el manejo sustentable de esta enfermedad en nopal verdura y de esta manera reducir la utilización de fungicidas de origen químico y su impacto al medio ambiente.

5.17. Recomendación

Se recomienda realizar estudios de campo con los extractos y concentraciones que lograron los mejores porcentajes de inhibición micelial de las dos especies de *Fusarium* de tal manera que se puedan generar fungicidas efectivos, de bajo impacto hacia el medio ambiente, fáciles de realizar y de bajo costo para los agricultores.

5.18. Literatura citada

- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of economic entomology*, 18(2): 265–267.
- Abdel-Monaim, M.F., Abo-Elyousr, K.A.M. y Morsy, K.M. 2011. Effectiveness of plant extracts on suppression of damping-off and wilt diseases of lupine (*Lupinus termis* Forsik). *Crop protection* 30(2): 185-191.
- Agencia española de consumo seguridad alimentaria y nutrición (AECOSAN). 2015. [Consultado en junio del 2020]. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20151117030841/http://aesan.msssi.gob.es/AE>

SAN/docs/docs/cadena_alimentaria/gestion_de_riesgos_quimicos/ZEA_ZON_ficha_JUL15.pdf.

- Alkhail, A.A. 2005. Antifungal activity of some extracts against some plant pathogenic fungi. Pak. J. Biol. Sci. 8(3): 413-417.
- Ayala-Escobar, V., Yañez-Morales, M. de J., Braun, U.Z., Groenewald, J. y Crous, W.P. 2006. *Pseudocercospora opuntiae* sp. nov., the causal organism of cactus leaf spot in Mexico. Fungal Diversity 21:1-9.
- Barrera-Necha, L.L. y García-Barrera, L.J. 2008. Actividad antifúngica de aceites esenciales y sus compuestos sobre el crecimiento de *Fusarium* sp. aislado de papaya (*Carica papaya*). Revista UDO Agrícola 8 (1): 33-41.
- Bautista, S., Hernández, M. y Barrera L.L. 2000. Antifungal screening of plants of the state of Morelos, México against four fungal postharvest pathogens of fruits and vegetables. Revista Mexicana de Fitopatología 18: 36-41.
- Bolívar, K., Sanabria, M.E., Rodríguez, D., Camacaro, M., Ulacio, D. y Cumana, L. 2009. Potencial efecto fungicida de extractos vegetales en el desarrollo *in vitro* del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. y de la antracnosis en frutos de mango. Revista UDO Agrícola 9(1):175-82.
- Briceño, G., García, J., Maselli, A. y Rosales, L.C. 2011. Efecto de extractos etanólicos de ruda y nim sobre el control de bacterias fitopatógenas del género "*Erwinia*". Agron. Trop. 61(2):141-8.
- Chacin-Zambrano, C.A., Blanco-Medina, M.L., Sánchez-González, S.C. y Acevedo-Isidro, C. 2013. Evaluación a nivel de laboratorio del efecto de 7 extractos vegetales para el control de *Colletotrichum* sp agente causal de la antracnosis en el cultivo de tomate de árbol. Revista Innovaciencia 1(1): 30-35.

- Burgess, L.W., Summerell, A.B. Bullock, S., Gott, P. K. y Backhouse, D. 1994. Laboratory manual for *Fusarium* research. university of sydney, austr. 133 p.
- Cruz, J., Domínguez, H., y Parajo, J. 2001. Antioxidant and antimicrobial effects of extracts from hydrolysates of lignocellulosic materials. J. Agric. Food Chem. 49: 2459-2464.
- ELIKA (Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria). 2013. [Consultado en junio del 2020]. Disponible en: https://web.archive.org/web/20151117024326/http://www.elika.eus/datos/pdf_s_agrupados/Documento111/22.Zearalenona.pdf
- El-Shemy, H.A., Aboul-Enein, A.M. y Aboul-Enein, K.M. 2007. FujitaWillow leaves' extracts contain anti-tumor agents effective against three cell types. PLoS ONE 2 (1):178.
- Flores-Flores, R., Velázquez-del Valle, M.G., León-Rodríguez, R., Flores-Moctezuma, H.E. y Hernández-Lauzardo, A.N. 2013. Identification of Fungal Species Associated with Cladode Spot of Prickly Pear and Their Sensitivity to Chitosan. Journal of Phytopathology 161(7-8): 544-552.
- García, J.M.D., Shagarodsky, T., Fresneda, J.A., Fundora, Y.H. y González, J. 2007. Caracterización de especies del género *Fusarium* en el cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum*) en las provincias ciudad Habana y La Habana. Temas de Ciencia y Tecnología 32 (11): 63-66.
- Gende, L.B., Principal, J., Maggi, M.D., Palacios, S.M., Fritz, R. y Eguaras, M.J. 2008. Extracto de *Melia azedarach* y aceites esenciales de *Cinnamomun zeylanicum*, *Mentha piperita* y *Lavandula officinalis* como control de *Paenibacillus larvae*. Zootecnia Trop. 26(2):151-6.
- Guenther, E. 1950. The essential oils. D. New York: Van Nostrand Company. P. 481.

- Hadian, S., Rahnama, K., Jamali, S. y Eskandari, A. 2011. Comparing neem extract with chemical control on *Fusarium oxysporum* and *Meloidogyne incognita* complex of tomato. *Advances in Environmental Biology* 5(8): 2052-2057.
- Hernández-Urbiola, M.I., Pérez-Torrero, E. y Rodríguez-García, M.E. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8: 1287–1295.
- Hernández-Albiter, R.C., Barrera-Necha, L.L., Bautista-Baños, S. y Bravo-Luna, L. 2007. Antifungal potential of crude plant extracts on conidial germination of two isolates of *Colletotrichum gloeosporoides*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 25: 180-185.
- Joseph, B., Dar, M.A. y Kumar, V. 2008. Bioefficacy of plant extracts to control *Fusarium solani* f. sp. *melongenae* incitant of brinjal wilt. *Global Journal of Biotechnology y Biochemistry* 3(2): 56-59.
- Leslie J. y Summerell, B.A. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Ed. Blackwell publishing. 388 p.
- Logrieco, A., Bottalico, A., Giuseppina, M., Moretti, A. y Giancarlo P.M. 2003. Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some mediterranean crops *European Journal of Plant Pathology* 109: 645–667.
- Ma, L.J., Geiser, D.M., Proctor, R.H., Rooney, A.P., O'Donnell, K., Trail, F. y Kazan, K. 2013. *Fusarium* pathogenomics. *Annual Review of Microbiology* 67: 399-416.
- Marín, J.O., Mass, J.M., Barrera, J. y Juan, R. 2008. Evaluación de extractos vegetales para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en plátano en tierra alta Córdoba, Colombia. *Temas Agrarios* 13:1-25.

- Méndez-Gallegos, S.J., Talavera-Magaña, D. y García-Herrera, E.J. 2009. Identificación y control de las principales enfermedades del nopal. *Revista Salud Publica y Nutrición* 2:2-13.
- Naeini, A., Ziglari, T., Shokri, H. y Khosravi, A.R. 2010. Assessment of growth-inhibiting effect of some plant essential oils on different *Fusarium* isolates. *Journal de Mycologie Médicale/Journal of Medical Mycology* 20(3): 174-178.
- Ochoa-Fuentes Y.M., Cerna-Chávez, E., Landeros-Flores, J., Hernández-Camacho, S. y Delgado-Ortiz, J.C. 2012. Evaluación *in vitro* de la actividad antifúngica de cuatro extractos vegetales metanólicos para el control de tres especies de *Fusarium* spp. *FYTON* 81: 69-7.
- Osada, K.S. y Cárcamo, A.R. 1991. Etiología de la mancha negra del nopal, p. 28. En: Congreso nacional de fitopatología. Memoria de resúmenes. Sociedad Mexicana de fitopatología.
- Pattanaik, S., y Subramanyam, V.R. 1985. Effect of essential oils on the viability and morphology of *Escherichia coli* (SP-11). *Microbios* 84(340):195-9.
- Pezzuti, A. 1994. Diseño y simulación de la deshidratación de ajo y cebolla Tesis Doctoral en Ingeniería Química. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. P. 149.
- Quezada-Salinas, A., Sandoval-Islas, J.S., Alvarado-Rosales, D. y Cárdenas-Soriano, E. 2006. Etiología de la mancha negra del nopal (*Opuntia ficus-indica* Mill) en Tlalnepantla, Morelos, México. *Agrociencia* 40: 641-653.
- Rivera, J.M.N. 2009. Marchitez del chile poblano (*Capsicum annuum* L.): Identificación molecular del agente causal, detección en semillas, histopatología y alternativas de control. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México, 98 p.

- Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J.R. y López-Jiménez, A. 2008. Cadena productiva del nopal verdura: II Taller de avances de investigación del Grupo Interdisciplinario de Investigación del Nopal (GIIN). Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Texcoco, México. 69 p.
- Rondon, O., Sanabria, N. y Rondón, A. 2006. Respuesta *in vitro* a la acción de fungicidas para el control de antracnosis, *Colletotrichum gloeosporioides*, en frutos de mango. INIA, Venezuela. vol.56, pp. 219-235.
- Russell, C.E., y Felker, P. 1987. The prickly-pears (*Opuntia* spp., Cactaceae): a source of human and animal food in semiarid regions. *Economic Botany* 41: 433–445.
- Sanewski, G. 1991. Custard apples cultivation and crop protection (No. C021. 038). Queensland Department of Primary Industries.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. [Consultado en junio del 2020]. Disponible en: <http://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Schroers, H.J., O'Donnell, K., Lamprecht, S.C., Kammeyer, P.L., Johnson, S., Sutton, D.A., Rinaldi, M.G., Geiser, D.M. y Summerbell, R.C. 2009. Taxonomy and phylogeny of the *Fusarium* dimerum species group. *Mycologia* 101(1):44-70.
- Shetty, A.A., Rana, M.K., y Preetham, S.P. 2012. Cactus: a Medicinal Food. *Journal of Food Science and Technology* 49: 530–536.
- Sumalan, R.M., Alexa, E. y Poiana, M.A. 2013. Assessment of inhibitory potential of essential oils on natural mycoflora and *Fusarium* mycotoxins production in wheat. *Chemistry Central Journal* 7(1): 1-12.
- Swart, W.J. y Kriel, W.M. 2002. Pathogens associated with necrosis of cactus pear cladodes in South Africa. *Plant Disease* 86(6): 693. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.6.693D>

Varma, K.P., Yashoda, R., Hegde y Kulkarni, S. 2002. In vitro evaluation of phytoextracts and biocontrol agents against *Drechslera sorokiniana* In: Asian Cong. Mycol. Pl. Pathol., Indian. Soc. Mycol. Pl. Pathol. University of Mysore (Abst) Oct.1-4, p. 241.

Villacís-Aldaz, L.A, León-Gordon, O., Santana-Mayorga, R., Mangui-Tobar, J., Carranza-Galo G. y Pazmiño-Miranda, P. 2017. Actividad antifúngica (*in vitro*) de extractos vegetales para el control de antracnosis (*Colletotrichum acutatum*). Journal of the Selva Andina 5(1):59-64.

6. Capítulo III

Efectividad de insecticidas biorracionales para el control de la cochinilla del nopal verdura *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en Tlalnepantla Morelos

Effectiveness of biorrational insecticides for the control of the green cactus mealybug *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) in Tlalnepantla Morelos.

Álvaro González-Hernández, Dagoberto Guillen-Sánchez ^(†), Víctor López-Martínez, Irán Alía-Tejacal, Porfirio Juárez-López, Edgar Martínez-Fernández, Daniel Bárcenas-Santana, Nelson Avonce-Vergara. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del estado de Morelos y Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc (UAEM).

6.1. Resumen

El municipio de Tlalnepantla Morelos es el principal productor de nopal verdura con una producción de 864,243.5 t en el 2020. El nopal verdura es uno de los

principales alimentos de la dieta del consumidor mexicano con alto valor nutritivo. Los problemas fitosanitarios son cotidianos como en otras hortalizas, pero principalmente la cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) que es la plaga de mayor importancia ya que su forma gregaria y su alta tasa de reproducción la hacen muy difícil de controlar. Los productores utilizan diferentes insecticidas tóxicos para su control, esto genera resistencia a la plaga, intoxicaciones y residualidad en el producto fresco destinado para el consumo humano.

El objetivo fue evaluar la efectividad biológica de insecticidas biorracionales registrados por la COFERIS (2021) entre otros para el control adecuado de las poblaciones de estos insectos minimizando el efecto negativo que poseen los insecticidas convencionales. El trabajo se realizó en Tlalnepantla, Morelos, México (18.996480 N, -98.978842 O, 1856 msnm); en una plantación comercial de siete años, con extensión 3500 m² y cultivada con la variedad Milpa Alta. Se evaluaron 7 insecticidas biorracionales: cinnacar[®], blinem[®], asphix[®], mass derrive, prowet avidi[®], Jabón roma[®] + Bemix[®] y Jabón potásico artesanal, así como a un testigo regional convencional (Malathion 1000 CE). Las dimensiones de la superficie del sitio experimental central fueron 80 m de largo por 10.2 m de ancho teniendo un área total de 816 m². El sitio de estudio contó con 6 filas las cuales fueron divididas en fragmentos de 5 m de longitud en donde se encontraban 5 plantas por espacio, se marcó con pintura acrílica amarilla al comienzo y final de cada espacio; el diseño experimental fue bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento, se evaluaron 60 cladodios por tratamiento, la unidad experimental fue un cladodio. Se utilizó una aspersora motorizada marca Echo[®] modelo Shp-800-2 con capacidad de 25 L con una presión máxima de 356 psi, manguera de 1 m de longitud con boquilla de abanico doble KAWASHIMA JO318. El jabón potásico elaborado de manera artesanal en su dosis alta y baja tienen una eficacia mayor al 50% sobre la plaga en cladodios del tercer brote siendo efectivo también en cladodios para consumo con 49.2%, mostrando un mayor

control en ambas dosis. Es importante hacer mención que de manera general los productos Mass derrive, Asphix®, Jabón Roma® + Bemix® y Proweat® avi-die tuvieron resultados de entre 20.3 a 26.9% de efectividad, los cuales pueden ser aplicados en cultivos con bajas poblaciones del insecto.

Palabras clave: nopal verdura, cochinilla, insecticidas alternativos.

Abstract

The municipality of Tlalnepantla Morelos is the main producer of prickly pear cactus with a production of 864,243.5 tons in 2020. The nopal vegetable is one of the main foods in the diet of Mexican consumers with high nutritional value. Phytosanitary problems are a daily occurrence as in other vegetables, but mainly the wild mealybug (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), which is the most important pest because its gregarious form and high reproduction rate make it very difficult to control. Producers use different toxic insecticides for its control, which generates resistance to the pest, intoxications and residues in the fresh product destined for human consumption.

The objective was to evaluate the biological effectiveness of biorational insecticides registered by COFERIS (2021) among others for the adequate control of these insect populations, minimizing the negative effect of conventional insecticides. The work was carried out in Tlalnepantla, Morelos, Mexico (18.996480 N, -98.978842 W, 1856 masl); in a seven-year-old commercial plantation, with an extension of 3500 m² and cultivated with the Milpa Alta variety. Seven biorational insecticides were evaluated: cinnacar®, blinem®, asphix®, mass derrive, prowet avi-die®, Jabón roma® + Bemix® and Jabón potásico artesanal, as well as a conventional regional control (Malathion 1000 CE). The dimensions of the central experimental site were 80 m long and 10.2 m wide, with a total area of 816 m². The study site had 6 rows which were divided into 5 m long fragments where there were 5 plants per space, marked with yellow acrylic paint at the beginning and end of each space; the experimental design was completely randomized blocks, with

four replications by treatment, 60 cladodes by treatment were evaluated, the experimental unit was a cladode. A motorized sprinkler Echo® model Shp-800-2 with a capacity of 25 L with a maximum pressure of 356 psi, 1 m long hose with double fan nozzle KAWASHIMA JO318 was used. The potassium soap prepared in an artisanal way in its high and low doses has an efficacy greater than 50% on the pest in cladodes of the third shoot, being effective also in cladodes for consumption with 49.2%, showing a greater control in both doses. It is important to mention that in general, the products Mass derrive, Asphix®, Jabón Roma® + Bemix® and Proweat® avi-die had results of between 20.3 and 26.9% effectiveness, which can be applied in crops with low populations of the insect.

Key words: green cactus, mealybug, alternative insecticides.

6.2. Introducción

El nopal verdura *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) se cultiva en 26 estados de la república mexicana; a nivel nacional el estado de Morelos es el principal productor de nopalitos con una producción de 864,243.5 ton, con un crecimiento de 2.1% con respecto al año anterior; en este estado el municipio de Tlalnepantla se destaca por ser el más grande productor de esta hortaliza con 294,000 t, aportando una producción del 72.63% estatal y 34.02% nacional (SIAP, 2020).

Por otra parte, el nopal verdura es uno de los principales elementos de la dieta del consumidor mexicano con alto valor nutritivo (Stintzing y Carle 2005), el consumo per cápita de esta cactácea es de 6.4 kg anuales, su demanda es homogénea durante casi todo el año, pero aumenta en navidad y en cuaresma (SIAP, 2016). México presenta la mayor diversidad de nopales silvestres y cultivados a nivel mundial, ya que cuenta con más de 100 especies y muchas de

ellas son aptas para el consumo como verduras frescas, se debe a esto la importancia de producir un alimento inocuo siendo uno de los principales problemas (Aldana *et al.*, 2008; Cerón-González *et al.*, 2012).

Debido a que el método más empleado se refiere al uso de plaguicidas sintéticos para el control de poblaciones de insectos plaga ya que varios de éstos presentan efectividad alta (Cano y Mendoza 2017) y que contraproducentemente el uso inapropiado de estos insumos representa la posibilidad de la presencia de residuos en el cultivo (Aldana *et al.*, 2008; Angeles-Núñez *et al.*, 2014), lo que trae como consecuencia problemas directos e indirectos tales como altos costos de producción, contaminación ambiental, disminución de organismos benéficos y especies silvestres, intoxicaciones, efectos negativos sobre aplicadores y personas relacionadas con el manejo de plaguicidas (Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2013).

Las condiciones climáticas y edáficas de los altos de Morelos resultan óptimas para la producción de nopal verdura, sin embargo, se ha detectado que la variabilidad en los sistemas de producción, asociados con la falta de organización, disponibilidad de tecnología, estacionalidad de la producción, capacitación, el desconocimiento de buenas prácticas agrícolas de manejo e higiene, han sido factores claves que impiden convertir la producción de nopal verdura, en una actividad agrícola altamente competitiva y económicamente rentable como sucede con otros cultivos.

Los otros factores que atentan contra la producción sustentable y orgánica de nopal verdura, son los problemas fitosanitarios, dentro de los cuales destacan el picudo del nopal (*Cactophagus spinolae* Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae), la mancha negra (*Pseudocercospora opuntiae*) y la cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) (Badii y Flores 2001; Ramírez-Bustos *et al.*, 2018). Entre estos problemas fitosanitarios, la cochinilla es la plaga con mayor importancia ya que su forma gregaria y su alta tasa de reproducción la hacen muy difícil de controlar aunado al daño que causa

especialmente en los meses secos que van de febrero hasta finales de mayo, afecta considerablemente la producción de nopal verdura en la zona. En México la cochinilla se encuentra ampliamente distribuida (Chávez-Moreno *et al.*, 2011).

Al succionar la savia de la planta, este insecto ocasiona un amarillamiento local en los cladodios que se traduce en un debilitamiento general de esta e incluso a su pérdida cuando el ataque es severo (Méndez, 1994). Los productores de este cultivo utilizan diferentes insecticidas muy tóxicos para el control de la cochinilla silvestre. Esta forma de control genera resistencia de la plaga, intoxicaciones y residualidad en el producto fresco destinado para el consumo humano y animal (Ramírez-Bustos *et al.*, 2018).

Por otro lado la COFEPRIS, (2021) reporta 8 plaguicidas para el control de cochinilla en nopal de los cuales dos son sintéticos: Flupyradifurone (Butenolides) y Lambda cyhalotrina (Piretrioide), así como a seis productos de origen biológico: aceite vegetal de maíz y los extractos de canela, neem, compuesto de argemonina + berberina + ricinina + a-terthienil, también se incluyen a dioctil sulfosuccinato de sodio y sales potásicas de ácidos grasos, los 6 con categoría toxicológica 5, cabe resaltar que aunque ya existen algunos insecticidas con registro para controlar esta plaga, los productores siguen haciendo uso de otros ingredientes activos sintéticos comunes ya que en primer lugar desconocen cuales con los productos registrados y más aún la efectividad que poseen, además tienen la mala idea de que los productos de origen quimiosintéticos son más efectivos para el control de la plaga por el tiempo que llevan haciendo el control de manera convencional, por lo tanto es de suma importancia generar estudios de efectividad biológica que sustenten el uso de estos y otros plaguicidas de origen biorracional.

Badi y Flores, (2001) señalan que los insecticidas más utilizados para el control de esta plaga son Malatión, Paratión metílico y Triclorfon; por este motivo existen pocas alternativas para combatir la cochinilla silvestre del nopal, el control físico mediante el cepillado de cladodios puede usarse ocasionalmente cuando las poblaciones son bajas. Aunque existen propuestas para usar jabones (Palacios-

Mendoza *et al.*, 2004) o extractos botánicos para su combate (Vigueras *et al.*, 2009) de los cuales la efectividad biológica de estos ha sido poco estudiada y que en poblaciones altas el control químico especialmente el uso de insecticidas organofosforados es la herramienta más común. Por este motivo el objetivo del presente estudio fue evaluar la efectividad biológica de insecticidas biorracionales registrados por la COFERIS, (2021) entre otros para el control adecuado de las poblaciones de estos insectos minimizando el efecto negativo que poseen los plaguicidas convencionales.

6.3. Materiales y métodos

6.4. Sitio de estudio.

El experimento se realizó en Tlalnepantla, Morelos, México (18.996480 N, -98.978842 O, 1856 msnm); en una plantación comercial de nopal verdura de siete años de edad, con extensión de 3500 m² cultivada con cladodios de la variedad Milpa Alta a una densidad de 14,705 plantas por ha. No se aplicaron insecticidas previos al experimento. La evaluación se realizó en abril de 2019, época en que se registra la mayor incidencia natural del insecto (Venegas-Rico *et al.*, 2010).

6.5. Productos evaluados.

Se seleccionaron siete plaguicidas por su modo de acción y su efecto insecticida con base a la recomendación de los fabricantes y un testigo regional.

Como testigo de control regional se seleccionó a MALATHION[®] 1000 CE, que es un insecticida acaricida organofosforado de acción por contacto, ingestión e inhalación. En México se ha utilizado en el control del picudo del nopal, cochinilla silvestre y trips (Badii y Flores, 2001).

Progranic[®] CinnAcar es un insecticida acaricida hecho a base de extracto de canela (*Cinnamomum zeylanicum*), que contiene cinnamaldehido compuesto orgánico que causa mortalidad, repelencia y disuasión de la alimentación de los insectos, adicionalmente causa excitación del sistema nervioso provocando un

enmascaramiento de las hormonas involucradas en el proceso del apareamiento y además establece una barrera mecánica contra los insectos plaga (PTI, 2019).

BLINEEM[®] es una combinación de extractos de neem más ajo que actúa por ingestión provocando una abstracción en la alimentación (fagodisuasivo) por lo que los insectos dejan de comer, afectando su desarrollo y causándoles la muerte. El efecto insecticida se produce cuando el ingrediente principal, la azadiractina, (Esparza-Díaz, *et al.*, 2010), actúa como potente regulador que inhibe la ecdisoma (hormona de crecimiento de los insectos) afectando los estadios inmaduros (larvas, pupas y ninfas) al bloquear el ciclo de mudas y provocar la muerte de los insectos en sus diferentes estadios (Rali Agropecuaria, 2019), además tiene la ventaja de degradarse rápidamente en el medio ambiente, posee baja toxicidad en humanos y no causa resistencia a la plaga por acción de otros compuestos con propiedades insecticidas (Valle-Pinheiro, 2009).

Asphix[®] 90 es un producto de origen botánico elaborado a base de aceite de semilla de soya. Su acción insecticida se sustenta en efectos del repelencia, anti alimentaria y física al matar a los insectos en sus diferentes estados biológicos obstruyendo las vías respiratorias (espiráculos) provocando asfixia, por ser un producto altamente lipofílico, altera el corion, la membrana celular y el integumento de huevecillos, ninfas y adultos lo cual provoca la muerte de estos por desecación (ALTIARA, 2019).

MASS DERRIVE es un producto en proceso de registro elaborado a base de terpenos de cítricos, sirve como coadyuvante mejorando la humectación, dispersión y penetración acelerando el tiempo de respuesta de plaguicidas. Es un producto potencializador en aplicaciones al follaje a los cultivos, pero principalmente ayuda al control de los insectos de cuerpo blando, como larvas, grana cochinilla, huevecillos de mosca blanca, pulgón, araña roja, etc., también se especifica que en nopal verdura se puede aplicar solo o en combinación (CAMPOORGANICO, 2014).

PROWET® OVI-DIE producto que tiene como ingrediente activo a dioctil sulfosuccinato de sodio 70%, su efecto insecticida es al contacto disolviendo la capa de grasa y cera que protegen el integumento de los insectos, penetra y rompe la matriz de lipoproteínas de la cutícula y membranas celulares destruyendo por completo el exoesqueleto, distorsiona la permeabilidad y fisiología celular causando el derrame de líquidos corporales y provocando la muerte del insecto por deshidratación (PTI, 2019).

En algunos insectos de cuerpo blando tales como pulgones, mosca blanca, psílidos y escamas se ha propuesto el uso de jabones ya que causan obstrucción de los espiráculos y remoción de la capa de cera cuticular y dan como resultado una deshidratación severa que produce la muerte del insecto (Vavrina *et al.*, 1995).

JABON ROMA® El efecto se debe a la remoción de la cubierta “algodonosa” del insecto, lo que probablemente ocasiona una deshidratación excesiva en ninfas y adultos que, asociado a esto crean un posible taponamiento de los espiráculos causando la muerte (Palacios-Mendoza *et al.*, 2004).

JABÓN POTÁSICO ARTESANAL. Este producto fue elaborado de manera artesanal usando 120 mL de aceite vegetal (de olivo, girasol, maíz o canola), 20 g de hidróxido de potasio (KOH) y 20 mL de agua. Proceso: Se mezcló el KHO con el agua en un recipiente de vidrio removiendo constantemente; en otro recipiente se calentó agua y a baño maría se calentó el aceite durante 10 min, cuando los dos compuestos estuvieron a temperatura ambiente se mezclaron revolviendo con una batidora casera durante 5 min, dejando reposar por un tiempo igual y repitiendo este proceso tres veces. Se dejó reposar por un día para su posterior utilización (Cranshaw, 2008).

Las sales de potasio de ácidos grasos, comúnmente se les conoce como “jabón potasico”, constituyen otra de las herramientas disponibles para el combate de insectos plaga en agricultura ecológica. El principal efecto de estos jabones es la alteración física de la cutícula del insecto, lo que da lugar a la muerte por

deshidratación, aunque también se han sugerido efectos subletales tóxicos adicionales. Al entrar en contacto con el insecto penetran y fracturan la permeabilidad a nivel de la membrana celular obstruyendo los espiráculos orillando al insecto a una deshidratación tanto en adultos, larvas y pupas (Curkovic *et al.* 1993).

Los jabones potásicos utilizan comúnmente contra plagas de cuerpo blando (Butler *et al.* 1993), principalmente moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae) y pulgones (Hemiptera: Aphididae), aunque también contra algunas chinches (Trdan *et al.* 2006). Una de las ventajas que posee este producto es que tiene una vida residual relativamente corta de menos de un día en el medio ambiente, no es fitotóxico y se puede emplear solo o en mezcla con otros productos de origen biológico, además no presenta riesgos en los humanos, ideal para aplicarlo previamente a cosechar los vegetales (Barrientos 1998; Vargas 2009).

6.6. Diseño experimental.

La investigación se realizó bajo un diseño completamente al azar con 18 tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por 1 surco a una distancia de 1.7 m por 5 m de largo, dando una superficie de 8.5 m², cada tratamiento ocupó 34 m² y la superficie total fue 646 m². La parcela útil fue toda la unidad experimental. Entre cada unidad experimental se dejó una separación de 1 m. Se marcó con pintura acrílica amarilla al comienzo y final de cada espacio, se dejó un espaciamiento de 1 m entre cada tratamiento, las dosis fueron alta y baja recomendadas por los fabricantes. En el Cuadro 1 se muestra el arreglo espacial en campo.

Cuadro 1. Disposición de tratamientos en el campo experimental

14-1	1-1	9-4	6-1	5-4	12-2	16-1	14-4	2-3
10-1	18-21	5-3	18-4	15-2	12-4	15-4	11-1	4-4
15-1	3-4	9-2	15-3	12-3	16-4	9-1	13-1	6-3
8-2	3-2	4-2	7-2	2-2	3-1	7-4	14-2	5-2

13-3	2-1	6-2	16-3	11-2	8-3	10-2	3-3	18-1
10-3	16-2	7-1	1-4	17-2	5-1	2-4	8-1	13-2
18-3	1-2	17-4	13-4	17-1	8-4	10-4	6-4	4-1
12-1	7-3	4-3	11-3	17-3	1-3	11-4	9-3	14-3

Cabe mencionar que una planta de nopal verdura en producción comúnmente se compone de 3 secciones o niveles: planta madre, primer brote y segundo brote del cual emergen los nopalitas para consumo (Figura 1). Para tener una idea más clara entre el porcentaje de infestación relacionada por sección y la efectividad biológica de los productos se evaluaron cladodios del segundo brote y nopalitas para comercializar o consumo que son los de mayor susceptibilidad.

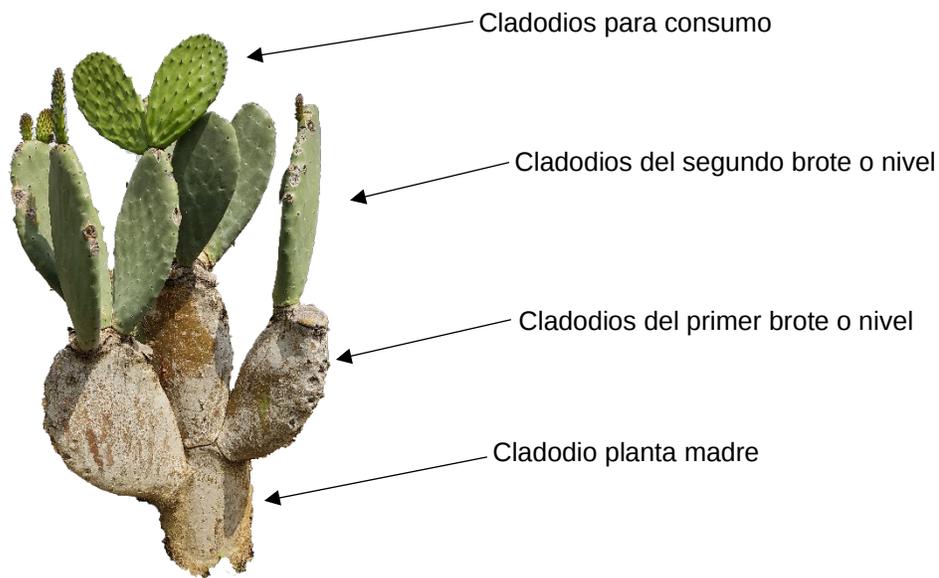


Figura 1. Estructura de la planta del nopal verdura

6.7. Tratamientos

Los tratamientos evaluados se especifican en el Cuadro 1, donde para cada producto se aplicaron dosis baja (DB) y alta (DA).

Cuadro 2. Productos utilizados para el control de la cochinilla del nopal verdura (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) en Tlalnepantla, Morelos.

Tratamiento	Nombre comercial y dosis		Ingrediente activo	Dosificación (Cantidad de producto/ha)
1	Testigo absoluto			
2	Malathion 1000 CE	DB	Malatión (83.80%)	1 L
3	Malathion 1000 CE	DA		2 L
4	Cinnacar	DB	Extracto de canela (15%)	1 L
5	Cinnacar	DA		2 L
6	Blinem	DB	Extracto de Nemm (30%) y ajo (5%)	1 L
7	Blinem	DA		2 L
8	Asphix	DB	Aceite vegetal de semilla de soya (90%)	1.5 L
9	Asphix	DA		3 L
10	Mass derrive	DB	Terpenos de cítricos (20%)	400 mL
11	Mass derrive	DA		600 mL
12	Prowet ovi-die	DB	Diocil sulfosuccinato de sodio (70%)	2 L
13	Prowet ovi-die	DA		3 L
14	Jabón potásico	DB	Hidróxido de potasio (90%)	2.7 kg
15	Jabón potásico	DA		3.240 kg
16	Jabón Roma + Bemix	DB	Jabón Roma + Aceites	3 L
17	Jabón Roma + Bemix	DA		5 L
18	Testigo solo agua		Agua	600 L

6.8. Aplicación de tratamientos

Se hicieron 4 aplicaciones a intervalos de siete días entre cada aplicación, cubriendo cada planta completamente. Las aplicaciones se realizaron con una aspersora motorizada marca Echo® modelo Shp-800-2 (Polígono Industrial Congost, Barcelona, España) con capacidad de 25 L, con una presión máxima de

356 psi, con boquilla de abanico doble KAWASHIMA JO318. Se realizó una calibración previa para un gasto de agua de 600 L ha⁻¹.

6.9. Variables de estudio.

Se realizó una evaluación previa y posteriormente tres evaluaciones a intervalos de siete días, de la severidad de infestación de la cochinilla silvestre mediante la escala logarítmica descrita por Mora-Aguilera *et al.* (2000) que se especifica en el Cuadro 3.

Se evaluaron 15 cladodios al azar por sección, 10 correspondieron al segundo brote lugar donde emergen los cladodios para consumo, y cinco cladodios listos para comercializar, en total 40 y 20 cladodios por tratamiento, respectivamente dando un total de 60 cladodios, la unidad experimental fue un cladodio.

Cuadro 3. Escala logarítmica para evaluar la severidad de infestación de la cochinilla del nopal verdura, propuesta por Mora-Aguilera *et al.* (2000).

Clases	Descripción
0	Ausencia de la plaga
1	1 a 5 colonias
2	6 a 15 colonias
3	16 colonias y hasta el 25% de recubrimiento de la superficie del cladodio. 26 a 50% de la superficie del cladodio colonizada.
5	51 a 75% de la superficie del cladodio colonizada.
6	76 a 100% de la superficie del cladodio colonizada.

Los datos del nivel de infestación fueron transformados a porcentaje de infestación mediante la fórmula de Townsend y Heuberger (1943).

$$P5 = \left[\frac{\sum (n.V)}{N.C} \right] \times 100$$

Dónde:

PS = Grado de severidad en %

n = Número de muestras por cada categoría

V = Valor numérico de cada categoría

N = Número total de muestras

C= Categoría mayor

La efectividad de los tratamientos se determinó con la fórmula de Abbott:

$$Eb = \frac{IT-it}{IT} \times 100$$

Dónde:

Eb = Efectividad biológica

TI = Severidad en el testigo sin tratar

it = Severidad de la réplica en cada tratamiento

6.10. Análisis estadístico.

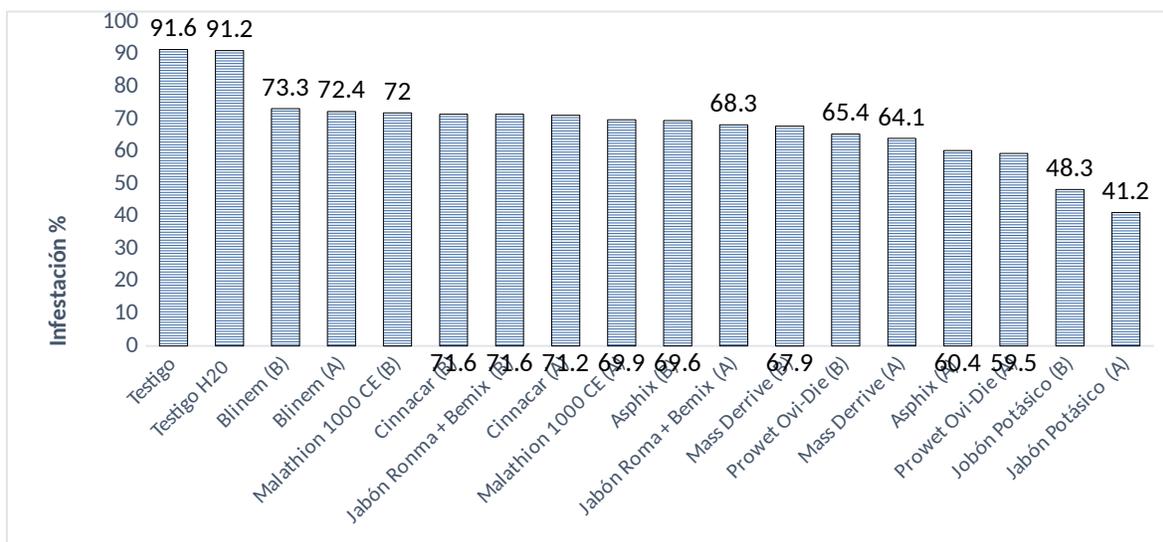
Los datos porcentuales de infestación y efectividad fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias utilizando la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), con el programa estadístico SAS® versión 9.0.

6.11. Resultados y discusión

6.12. Niveles de infestación

En la evaluación preliminar el cultivo presentó una infestación uniforme de cochinilla del nopal, ubicándose en las clases 5 a 6 de la escala y correspondiendo a 94.7% en los cladodios del segundo brote, mientras que en los cladodios en etapa de cosecha se observaron clases de 3 a 6 correspondiendo a una infestación de 73.9%, quedando como un cultivo infestado en un 83.3% homogéneamente.

Posterior a la primera aplicación hubo una heterogeneidad en la disminución de las poblaciones de cochinilla por efecto de los tratamientos. En los cladodios del segundo brote los tratamientos con Jabón Potásico en sus dosis baja y alta obtuvieron los menores niveles de infestación, en la última evaluación, con 48.3 y 41.2%; en el resto de los tratamientos se obtuvieron porcentajes de infestación de 59.5 a 73.3%, correspondiendo el valor más alto al tratamiento con Blinem® en sus respectivas dosis (Figura 2). En el testigo absoluto se registró una infestación de 91.6 %. Estos resultados son similares a los obtenidos por Hernández *et al.* (2019), que al evaluar Jabón Potásico comercial aplicado 3 veces en lapsos de 7 días encontraron de 1 a 4 grados de infestación a los 23 días de aplicación, ya que en este trabajo se obtuvieron resultados de 2 a 4 grados de infestación en el mismo tiempo.

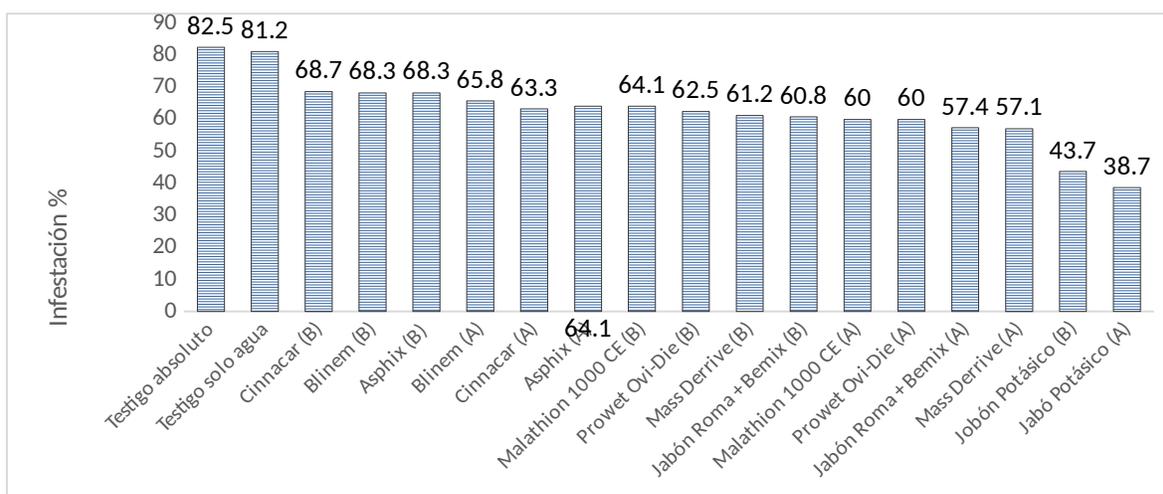


*La media corresponde a la última evaluación efectuada después de la cuarta aplicación.

Figura 2. Porcentaje de infestación en cladodios del segundo brote después de siete días de la cuarta aplicación de los tratamientos en su dosis alta (A) y baja (B). Letras similares en columnas no son diferentes estadísticamente con $P \leq 0.05$.

En los cladodios en etapa de cosecha se observó una heterogeneidad marcada, en los niveles de infestación, entre los tratamientos. Los menores porcentajes de infestación correspondió al tratamiento con Jabón Potásico en sus dosis baja y alta con 43.7 y 38.7% respectivamente, seguidos de los tratamientos Mass Derrive en su dosis alta y Jabón Roma + Bemix con 57.1 y 57.4% respectivamente. En el resto de los tratamientos el nivel de infestación fue de 60 a 68.7%, correspondiendo los niveles más elevados a los tratamientos con Cinnacar, Asphix y Blinem en sus dosis bajas. En los testigos con agua y absoluto se registró 81.2 y 82.5% correspondientemente (Figura 3).

Los resultados en esta sección de la planta también coinciden con los obtenidos por Hernández *et al.* (2019) quienes reportaron de 1 a 4 grados de infestación después de tres aplicaciones en nopal verdura, mientras que es este estudio los grados de infestación obtenidos fueron de 3 y 2 después de la tercera y cuarta aplicaciones.



*La media corresponde a la última evaluación efectuada después de la cuarta aplicación.

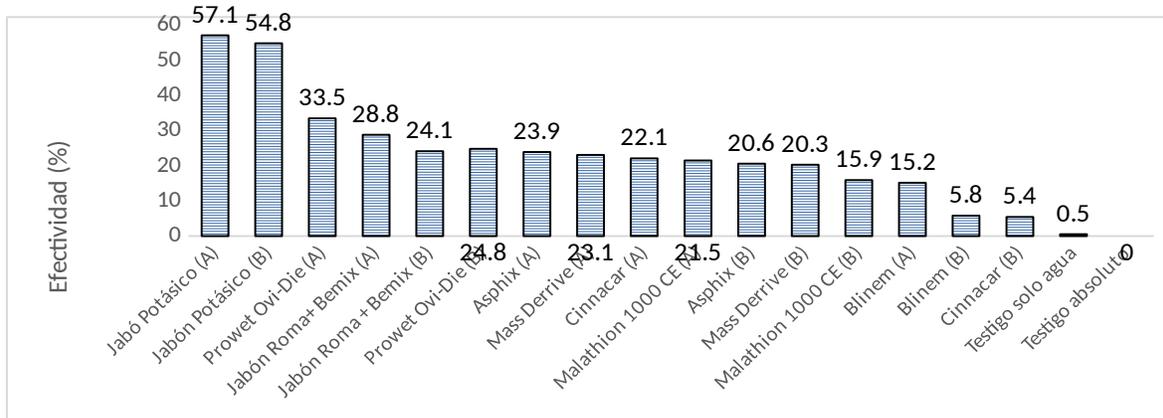
Figura 3. Porcentaje de infestación de cochinilla en cladodios en etapa de cosecha después de siete días de la última aplicación de los tratamientos en su dosis alta (A) y baja (B). Letras similares en columnas no son diferentes estadísticamente con $P \leq 0.05$.

En general, los resultados de esta investigación son similares a los obtenidos por Hernández *et al.* (2019) quienes demostraron que con tres aplicaciones de Jabón Roma® y Jabón Potásico comercial es posible reducir poblaciones de cochinilla silvestre del nopal verdura. En el mismo sentido, Palacios *et al.* (2004) reportaron mortalidad de ninfas I de casi 50% con Jabón Roma® al 5% en condiciones de laboratorio, mientras que en la presente investigación el Jabón Roma® redujo la población en un 40.9% en nopales en etapa de cosecha (Figura 3), mientras que, en los cladodios del segundo brote, mayormente infestados, se obtuvo una reducción de la población de cochinilla de 30.1% de manera general (Figura 2). De igual manera, el Jabón Potásico elaborado de manera artesanal redujo considerablemente la población de grana cochinilla en ambas dosis con 51.7 a 58.8% en cladodios del segundo brote (Figura 2) y de 56.3 a 61.3% en cladodios en etapa de cosecha (Figura 3) en un cultivo con un alto grado de infestación.

6.13. Efectividad de tratamientos.

La efectividad de los productos evaluados, consistentemente fue igual a la disminución de infestación, mostrando una heterogeneidad marcada entre estos. En los cladodios del segundo brote, los tratamientos que obtuvieron una mayor efectividad fueron el Jabón Potásico artesanal en su dosis alta y baja con 57.1 y 54.8% respectivamente, seguido de Prowet® Ovi-Die y Jabón Roma®+ Bemix® con un porcentaje de 33.5 y 28.8% para las dosis altas (Figura 4). Estos resultados superaron a los obtenidos por Hernández *et al.* (2019), quienes reportaron una efectividad de 19.28% con tres aplicaciones de Jabón Potásico comercial, resultado que en este trabajo se alcanzó después de la primera y segunda aplicación con el mismo producto, pero hecho de forma artesanal y realizando una

aplicación adicional. El testigo comercial regional tuvo una efectividad de 15.9 a 21.5% en sus dosis baja y alta.



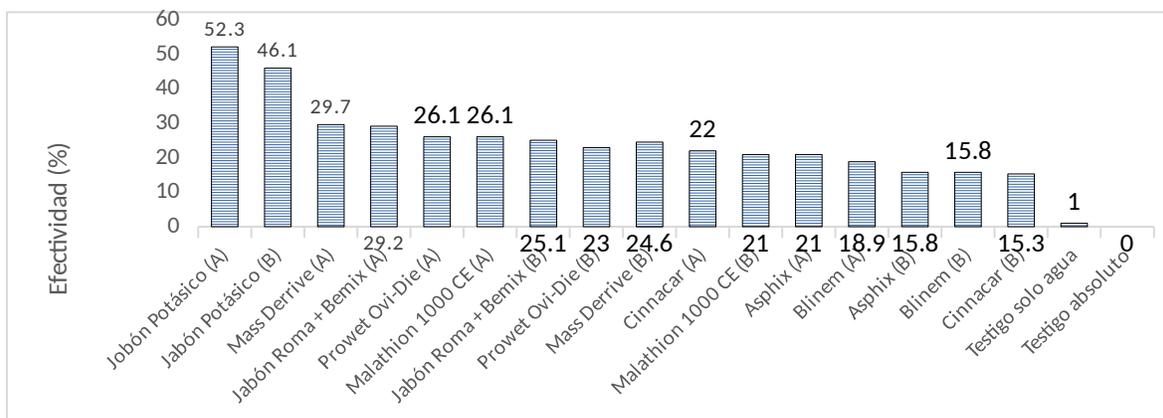
*La media corresponde a la última evaluación efectuada después de la cuarta aplicación.

Figura 4. Efectividad de plaguicidas biorracionales en el control de la cochinilla del nopal verdura en cladodios del segundo brote, después de la última aplicación en su dosis baja (B) y alta (A). Tratamientos con letras iguales no son diferentes estadísticamente con $P \leq 0.05$.

En la efectividad de los tratamientos en cladodios en etapa de cosecha, el Jabón Potásico en ambas dosis fue el de mayor efectividad con 46.1 (DB) y 52.3% (DA) respectivamente, seguidos de los tratamientos Mass Derrive (DA) y Jabón Roma® + Bemix® (DA) con casi 30% de efectividad en ambas, los otros tratamientos no tuvieron más del 26% (Figura 5).

Las observaciones y experiencias obtenidas en esta investigación se basan que al realizar aplicaciones con relativa continuidad en tiempos cortos, coinciden con las de Palacios-Mendoza *et al.* (2004) y Hernández *et al.* (2019), quienes reportaron que la recuperación de las escamas y la deposición gradual de la cubierta cerosa en las diferentes etapas de desarrollo del insecto, es de suma importancia para determinar los intervalos de aplicación de los productos, que ocurre aproximadamente en cinco días después de la primera aplicación. Estos autores hacen referencia que al ser productos biodegradables no existe peligro de toxicidad, además que el tiempo entre aplicación y cosecha es nulo y por lo tanto

proporciona seguridad al personal que aplica, así como a los consumidores y al medio ambiente.



*La media corresponde a la última evaluación efectuada después de la cuarta aplicación.

Figura 5. Efectividad de plaguicidas biorracionales en el control de la cochinilla del nopal verdura de cladodios en estado de cosecha después de la última aplicación en su dosis baja (B) y alta (A). Tratamientos con letras iguales no son diferentes estadísticamente con $P \leq 0.05$.

Los resultados en el presente trabajo, en cuanto al producto elaborado a base de cítricos (Mass Derrive) al obtener una mortalidad de 37.4% de manera general (Figura 6), es similar al de Cazares *et al.* (2014), quienes obtuvieron resultados de 35.9% de mortalidad del psílido asiático con extracto mandarina Cleopatra y señalaron que solamente utilizaron extractos etanólicos crudos, restringiendo la extracción de componentes químicos por lo que algunos componentes o principios activos pudieron no encontrarse en el extracto que evaluaron; Tsagkarakis y Rogers, (2010), reportaron que en mandarina Cleopatra ocasionó efecto en el desarrollo de *D. citri*, pero aún se desconoce el metabolito responsable.

Podemos observar en la Figura 6, la coherencia entre disminución de infestación y efectividad biológica de tratamientos de los cuales el Jabón Potásico artesanal obtuvo los mejores resultados en más del 55% de reducción de

infestación de la plaga, por otra parte, se puede hacer mención de los productos Jabón Roma + Bemix, Prowet Ovi-Die y Mass Derrive con porcentajes de infestación controlada de entre 35 y 40%, mientras que Asphix, Malathion 1000 (Testigo regional), Cinnacar y Blinem obtuvieron de entre 30 y 35% de disminución en la infestación. En cuanto la efectividad biológica el Jabón Potásico artesanal obtuvo 52% siendo el más efectivo, por otra parte, los demás productos obtuvieron de entre 26.9 y 13.9% esto significa más de la mitad de efectivo que los demás. Los testigos Absoluto y Agua no tuvieron efectos significativos importantes.

De manera general, existen diversos estudios relacionados a la efectividad de insecticidas no convencionales en otras plagas de importancia agrícola, en este sentido Pless *et al.* (1995) obtuvieron eficacias de 85 y 98% con aceite de soya al 5% para el control de la escama de San José (*Quadraspidiotus perniciosus*) en el cultivo de mango, resultados superiores a los de este estudio que fueron de 34.4% en cladodios de nopal verdura (Figura 6).

Por otra parte, Lozano-Gutiérrez *et al.* (2019) obtuvieron 9.0% de mortalidad en ninfas de cuarto y quinto estadios, y 85.6% en ninfas de segundo y tercer estadio con aceite de soya en el control de *Bactericera cockerelli* en el cultivo de jitomate; lo anterior sugiere que las aplicaciones de aceite de soya se deben dirigir a los estados ninfales iniciales, que al parecer son más susceptibles. En otro estudio realizado por Peláez-Arrollo *et al.* (2017), reportaron una efectividad de 66.7% en el control de *Aphis gossypii* en el cultivo de jitomate con aceite de soya, casi el doble al obtenido en este estudio.

En investigaciones con jabones comerciales, Curkovic y Araya (2004) reportaron eficacias de 91.3% en el control de *Panonychus citri*, mientras que Butler *et al.* (1993) obtuvieron 85% de mortalidad en mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), resultados también superiores a los de esta investigación con Jabón Roma® que fueron de 35.5% (Figura 6), probablemente debido al alto grado de tasa de reproducción además de los hábitos gregarios conjuntamente.

Nuestros resultados también difieren con los reportados por Corrales-Castillo *et al.* (2018), quienes lograron un control de 58.1% en mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) con extracto de canela/clavo en el cultivo de melón, por otro lado, Bartual *et al.* (2012) obtuvieron una disminución de 14% de pulgones en granado con extracto de neem y de 42% con extracto de cítricos, ya que en este estudio se obtuvo un 31.3% con relación al producto hecho a base de canela así como un 30.1% con extracto de neem y 37.4% con extracto de cítricos (Figura 6). Estos mismos autores, en el mismo estudio, reportaron un control de pulgones de 52% con jabón potásico comercial, mientras que en esta investigación con jabón potásico artesanal se logró un control de 57% en cochinilla del nopal (Figura 6).

En este sentido Moran *et al.* (1987), así como Longo y Rapisarda (1995) reportaron que los insectos conocidos como escama son mucho más difíciles de controlar ya que su cuerpo está cubierto de una capa serosa la cual lo protege durante casi toda su vida aun aplicando insecticidas de origen químico sobre estos. Por otro lado, Lobos *et al.* (2013), sugieren que la aplicación de insecticidas en nopal verdura para el control de cochinilla debe ser orientada en dos tiempos y con dos propósitos diferentes: el primero se refiere a la prevención del ingreso de las ninfas a los cladodios y el segundo es controlar las ninfas que ya ingresaron a los cladodios del cultivo.

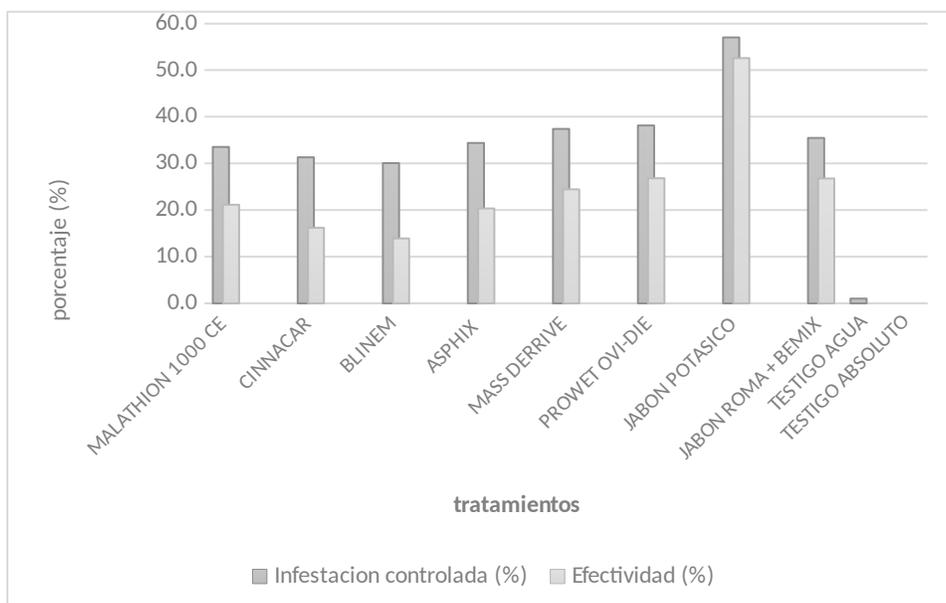


Figura 6. Porcentaje general del control de infestación y efectividad biológica de productos evaluados para el control de cochinilla del nopal verdura variedad Milpa alta, en Tlalnepantla, Morelos.

En la Figura 7, se muestran las imágenes de los cladodios de segundo brote y nopalitas en etapa de cosecha, las ilustraciones muestran a los cladodios tratados con Jabón Potásico echo de manera artesanal en sus dosis baja y alta que se muestran más limpios que los demás tratamientos, también se observa un efecto positivo en los tratamientos con el producto Prowet Ovi-Die (Acido sulfónico) y el Jabón Roma + Bemix. Por otra parte, se observa al testigo (Malathion 1000 CE) con un área aun cubierta en más de la mitad por las poblaciones del insecto.

También se muestran las diferencias en área cubierta de cochinilla del nopal de los testigos absoluto y solo agua con respecto al resto de los tratamientos para contrastar el efecto que tienen hacia la plaga en cuestión.



Testigo absoluto

Malathion 1000 (DB)



Malathion 1000 (DA)



Cinnacar (DB)



Cinnacar (DA)

Blinem (DB)



Blinem (DA)

Asphix (DB)



Asphix (DA)

Mass derrive (DB)



Mass derrive (DA)



Prowet ovi-die (DB)



Prowet ovi-die (DA)

Jabón potasico (DB)



Jabón potasico (DA)

Jabón roma + Bemix (DB)



Testigo solo agua



6.14. Conclusiones

1. El jabón potásico elaborado de manera artesanal en sus dosis baja y alta de 2.7 y 3.2 kg ah⁻¹ fueron los mejores tratamientos con eficacias superiores al 50%, en el

Figura 7. Control de infestación de cochinilla en nopal verdura. Control de la cochinilla en nopal verdura. Cosecha (lado derecho) a los siete días después de cuatro aplicaciones con insecticidas biorracionales en su dosis alta (DA) y baja (DB).

2. Los tratamientos con Cinnacar y Blinem fueron los que obtuvieron eficacias más bajas en el control de la cochinilla del nopal verdura.

3. La mayoría de los tratamientos con extractos vegetales acuosos, el ácido sulfónico y los jabones mostraron eficacias superiores al insecticida químico de 23.7 a 52%.

6.15. Recomendación

Se recomienda la aplicación de jabón potásico elaborado de manera artesanal ya que su elaboración es fácil, de bajo costo y no tóxico para quien lo prepare, aplique o consuma productos tratados, además es compatible con el medio ambiente; también se recomienda hacer las aplicaciones a partir de infestaciones iniciales para lograr un control exitoso.

6.16. Literatura citada

- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18:265-267.
- ALTIARA (Naturalmente productivo. Agroinsumos orgánicos). 2019. Av. Central 206 Piso 3, Col. San Pedro de los Pinos, 01180 Ciudad de México. [Consultado en mayo del 2021] Disponible en: <https://altiara.mx/producto/asphix/>.
- Aldana, M.L., García, M.C., Rodríguez, G., Silveira, M.I., Valenzuela, A.I. 2008. Determinación de insecticidas organofosforados en nopal fresco y deshidratado. Revista Fitotecnia Mexicana 31(2): 133-139.
- Angeles-Núñez, J.G., Anaya-López, J.L., Arévalo-Galarza, M.L., Leyva-Ruelas, G., Anaya, S. y Martínez-Martínez, T.O. 2014. Análisis de la calidad sanitaria de nopal verdura en Otumba, Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(1): 129-141.
- Bartual, J., Lozoya, A., García, G.J. y Valdés, G. 2012. Evaluación de la eficacia de plaguicidas químicos y alternativos en el control de pulgones en granado. Revista Actas de Horticultura 60: 409-413.
- Barrientos, R.S. 1998. Eficacia de insecticidas microbiales, neem y jabón para el control de *D. brevipipes* (Homoptera: Pseudococcidae) en piña orgánica en el Lago de Yojoa, Honduras. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo Zamorano, Honduras. 36 p.
- Butler, G.D., Henneberry, T.J., Stansly, P.A. y Schuster, D.J. (1993). Insecticidal effects of selected soaps, oils and detergents on the sweet-potato whitefly: (Homoptera: Aleyrodidae). Florida Entomol. 76:161-167.
- Badii, M.H. y Flores, A.E. 2001. Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. Florida Entomologist 84(4): 503-505.

- Butler, G.D.J., Henneberry, T.J., Stansly, P.A. y Schuster, D.J. 1993. Insecticidal effects of selected soaps, oils and detergents on the sweetpotato whitefly: (Homoptera: Aleyrodidae). *Florida Entomologist*, 76: 161-167.
- CAMPOORGANICO. 2014. Agroinsumos orgánicos, planta vía Morelos, Ecatepec Estado de México. Empresa local en proceso de registro. Disponible solo en etiqueta del producto.
- Cano, F.K. y Mendoza, A. 2017. Nanoplaguicidas, ¿un verdadero avance para la agricultura? *Revista Bio Ciencias* 4(3): 164-178.
- Cázares, A.N.P., Verde, S.M.J., López, A.J.I. y Almeyda, L.I.H. 2014. Evaluación de diferentes extractos vegetales contra el psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) *Revista Colombiana de Entomología* 40 (1): 67-73 (2014).
- Cerón-González, C., Rodríguez-Leyva, E., Lomelí-Flores, J.R., Hernández-Olmos C.E., Peña-Martínez, R. y Mora-Aguilera, G. 2012. Evaluación de insecticidas sintéticos sobre adultos de *Metamasius spinolae* (Coleoptera: Curculionidae) procedentes de Tlalnepantla, Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 217-229.
- Chávez-Moreno, C.K., Tecante, A., Casas, A. y Claps, L.E. 2011. Distribution and habitat in Mexico of *Dactylopius* Costas (Hemiptera: Dactylopiidae) and their cacti hosts (Cactaceae: Opuntioideae). *Neotropical Entomology* 40(1): 62-71.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). 2021. [Consultado en abril del 2021] Disponible en: <http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>

- Cranshaw, W.S. 2008. Insect Control: Soaps and detergents. University of Colorado. March 2008. Extension. 12/96. Revised 3/08.
- Corrales-Castillo, J., Rodríguez-Arrieta, A., Villalobos-Moya, K., Hernández-Villalobos, S. y Alvarado-Rodríguez, O. 2018. Evaluación de tres extractos naturales contra *Bemisia tabaci* en el cultivo del melón, Puntarenas, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 42(2): 93-106.
- Curkovic, T., González, R. y Barria, G. 1993. Efectividad de un detergente en el control de la conchuela negra del olivo *Saissetia oleae* (Oliver) (Homoptera: Coccidae), en pomelos y laurel de flor. *Investigación Agrícola (Chile)* 13:43-46.
- Curkovic, T. y Araya, J.E. 2004. Acaricidal action of two detergents against *Panonychus ulmi* (Koch) and *Panonychus citri* (McGregor) (Acarina: Tetranychidae) in the laboratory. *Crop Prot.* 23:731733.
- Esparza-Díaz, G., López-Collado, J., Villanueva-Jiménez, J.A., Osorio-Acosta, F., Otero-Colina, G. y Camacho-Díaz, E. 2010. Concentración de azadiractina, efectividad insecticida y fitotoxicidad de cuatro extractos de *Azadirachta indica* A. Juss. *Agrociencia* 44: 821-833.
- Gutiérrez-Ramírez, A., Robles-Bermúdez, A., Santillán-Ortega, C., Ortiz-Catón, M. y Cambero-Campos, O.J. 2013. Control biológico como herramienta sustentable en el manejo de plagas y su uso en el estado de Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias* 2(3): 102-112.
- Hernández, P.R., Bravo, S.G., Martínez, M.J., González, G.H. y Ramírez, P.T.J. 2019. Evaluación de la efectividad biológica de bioinsecticida para el control de cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), en Totolapan, Morelos, México. *Revista Chilena de Entomología* 45 (1): 55-64.

- Lobos, E., Passos da Silva, D., Mena-Covarruvias, J., Logarzo, G. y Varone, L. 2013. Principales insectos plagas de los opuntias en Argentina, México y Brasil. Proceedings of the Second Meeting for the Integral Use of Cactus Pear and Other Cacti and 1st South American Meeting of the FAO-ICARDA CACTUSNET. Edit. Mónica A. Nazareno, María Judith Ochoa and José Carlos. Dubeux Jr. Special No.13, p. 137-158.
- Longo, S. y Rapisarda, C. 1995. Pests of Cactus Pear. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. Rome, Italy. 219 p.
- Lozano-Gutiérrez, J., Reyes-López, B., Ortiz-Ramírez, H., España-Luna, M.P. y Balleza-Cadengo, J. 2019. Mortalidad de *Bactericera cockerelli* Sulc 1909 (Hemiptera: Triozidae) con aceite de soya en cultivo de jitomate. Entomología Mexicana 6: 248–252
- Méndez, G.S. de J. 1994. Principales plagas del nopal. En: Memorias de Aportaciones técnicas y experiencias de la producción de tuna en Zacatecas, Morelos, Zac, México. F. S. Esparza y S. de J. G., Méndez (Eds.). p. 49-57.
- Mora-Aguilera, G., Rivas-Valencia, P., Góngora-Cantú, C., Tovar-Soto, A., Cristóbal-Alejo, J., Loeza-kuk, E., Michereff, S., Marinelli, L. y Osada-Velázquez, K. 2000. Sistemas computarizados en la epidemiología: I. 2-LOG ver 1.0 y su aplicación en el diseño de escalas diagramáticas logarítmicas. In: Memorias del XXIX Simposio Nacional de Parasitología Agrícola. Puerto Vallarta, México. 20 p.
- Morán, V.C., Offman, J.H. y Basson, N.C. 1987. The effects of simulated rainfall on cochineal insects (Homoptera: Dactylopiidae): Colony composition an survival on cactus cladodes. Ecological Entomology 12:51-60.
- Peláez-Arroyo, A., Vargas-Hernández, M., Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J.F., Acosta-Ramos, M. y Tejeda-Rey, M.A. 2017. Evaluación de la efectividad

biológica de dos extractos vegetales para el control de *Aphis gossypii* (glover) (Hemiptera: Aphididae) en un sistema abierto de jitomate. Entomología Mexicana 4: 280–285.

Pless, C.D., Deyton, D.E. y Sams, C.E. 1995. Control of San Jose scale, terrapin scale, and European red mite on dormant fruit trees with soybean oil. HortScience 95:94-97.

Palacios-Mendoza, C., Nieto-Hernández, R., Llanderal-Cázares, C. y González-Hernández, H. 2004. Efectividad biológica de productos biodegradables para el control de la cochinilla silvestre, *Dactylopius Opuntiae* (Cockerell) (Homoptera: Dactylopiidae). Acta Zoológica Mexicana 20(3): 99-106.

Productora Técnica Industrial (PTI). 2019. Calle 56 Sur, Manzana 1, Lote 13, Colonia CIVAC, Jiutepec, Morelos, México. [Consultado en diciembre de 2020] Disponible en: <http://www.ptisa.com.mx/ultraquimia/pdf/Productos/Organicos/HojaTecnica/HTPROGRAMICINNACAR03.pdf>

Ramírez-Bustos, I.I., López-Martínez, V., Juárez-López, P., Guillén-Sánchez, D., Alia-Tejacal, I., Rivera-León, I., Saldarriaga-Noreña, H.A. y Jiménez-García, D. 2018. Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), en Morelos, México. Acta Agrícola y Pecuaria 4(1): 18-25.

Rali Agropecuaria (2019). Insumos agropecuarios. Av. Central Num. 206 piso 3, Col. San Pedro de los Pinos 01180 Ciudad de México. [Consultado en enero del 2021] Disponible en:

<https://www.raliagropecuaria.com/blineem-.html>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Blog: Nopalitos, tesoro gastronómico de México. Marzo de 2017. [Consultado en mayo del 2019] Disponible en:

<https://www.gob.mx/siap/articulos/nopalitos-tesoro-gastronomico-de-mexico>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. [Consultado en mayo de 2020] Disponible e:

<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Stintzing, F.C. y Carle, R. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.) a review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition Food Research* 49(2): 175-194.

Townsend, G.R. y Heuberger, J.V. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Disease Report* 24: 340-343.

Trdan, S., Znidarcic, D. y Valic, N. 2006. Field efficacy of three insecticides against cabbage stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae) on two cultivars of white cabbage. *International Journal Pest Management* 52: 79-87.

Tsagkarakis, A.E. y Rogers, M.E. 2010. Suitability of "Cleopatra" mandarin as a host plant for *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). *Florida Entomologist* 93(3): 451-453.

Vavrina, C.S., Stansly, P.A. y Liu, T.X. 1995. Household detergent on tomato: phytotoxicity and toxicity to silverleaf whitefly. *Hort Science* 30: 1406-1409.

Vanegas-Rico, J.M., Lomeli-Flores, J.R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera, G. y Valdez, J.M. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 26(2): 415-433.

Valle-Pinheiro, P., Dias-Quintela, E., Pereira de Oliveira, J. y Seraphin, J.C. 2009. Toxicity of neem oil to *Bemisia tabaci* biotype B nymphs reared on dry bean. *Pesq. Agropec. Bras.* 44 (4): 354-360.

Vigueras, A.L., Cibrian-Tovar, J. y Pelayo-Ortiz, C. 2009. Use of botanical extracts to control wild cochineal (*Dactylopius opuntiae* Cokerell) on Cactus pear. In: Proceedings of the VI International Congress on cactus and cochineal. Acta Horticulturae 811: 229-234.

7. Capítulo IV

Adaptación, productividad, calidad poscosecha y comportamiento fitosanitario de variedades de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en Tlalnepantla, Morelos

Adaptation, productivity, postharvest quality and phytosanitary behavior of green nopal (*Opuntia ficus-indica*) varieties in Tlalnepantla, Morelos.

Álvaro González-Hernández, Dagoberto Guillen-Sánchez ^(†), Víctor López-Martínez, Irán Alía-Tejacal, Porfirio Juárez-López, Edgar Martínez-Fernández, Daniel Bárcenas-Santana, Nelson Avonce-Vergara. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma del Estado de Morelos y Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc (UAEM).

7.1. Resumen

A México se le considera como el país con mayor producción de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) del mundo. Su importancia deriva en que posee propiedades funcionales tales como un alto contenido de Calcio (Ca), Potasio (K) y un elevado porcentaje de fibra cruda, esta última característica lo posiciona como una buena fuente de fibra dietética utilizada como tratamiento alternativo en personas no dependientes de insulina, todas estas cualidades benéficas para la salud humana hacen que el nopal verdura se posicione como un alimento de suma importancia en la dieta diaria, además de que los cladodios se consumen comúnmente en fresco o mínimamente procesados. Por otra parte, el estado de Morelos es el productor más grande de todo el país y en específico el municipio de Tlalnepantla donde el 97% de los habitantes se dedican a este cultivo; uno de los problemas más grandes que hay es el uso indiscriminado de plaguicidas.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los aspectos agronómicos con mayor importancia de diferentes variedades de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) tales como adaptación, productividad, calidad poscosecha y comportamiento fitosanitario a las condiciones agroclimáticas del municipio de Tlalnepantla, Morelos, la última característica con la finalidad de reducir el número de aplicaciones en la zona. Los resultados obtenidos muestran que existen algunas variedades que poseen buenas características con las que se pueden establecer cultivos productivos. En condiciones de campo las variedades Copena F1 e Italiano morado presentaron las características estructurales de mejor porte de plantas, así como los mejores resultados en producción, número de cladodios y peso de biomasa a estas características se les suma la variedad Jade, que fueron

superiores al testigo el cultivar Milpa alta. En cuanto al vigor de cladodios de primer y segundo nivel de las plantas no existieron diferencias estadísticamente significativas en longitud, ancho, grosor basal, medio y de ápice, aunque se observó mayor longitud en cladodios en la variedad Copena F1. En lo referente a sus cladodios a comercializar para las pruebas físicas los mejores atributos fueron para las variedades C. F1 (longitud, 31.6 cm, grosor basal 26.71 mm, firmeza 8.13 N y Area 373.7 cm²) y C. V1 (peso 371.6 gr, grosor apical, medio y basal con 10.04, 12.10 y 26.64 mm respectivamente), en cuanto al color no existieron diferencias estadísticamente significativas entre variedades. En los resultados bioquímicos las variedades con los mejores promedios fueron: I. morado (acidez titulable 1.17%), Pabellón a. (clorofila total 12.75/100g⁻¹), Atlixco (carotenoides 0.24/100g⁻¹) y C. F1 (SST 5.85°Brix). En incidencia de plagas y enfermedades todas las variedades fueron susceptibles, pero con menor grado C. F1, C. V1 y Atlixco en cuanto al daño de la cochinilla del nopal; todas obtuvieron daño en el ataque de picudo, pero en menor proporción las variedades C.F1 y C. V1, Atlixco e Italiano mejorado. Para larvas de lepidópteros todas fueron susceptibles. La mancha del nopal solo se presentó en los cultivares C. V1 y Milpa alta muy mínimamente. Teniendo en cuenta a los resultados obtenidos se pueden establecer cultivos de producción de nopal verdura con las variedades Copena F1, C. V1 e Italiano morado en la zona por sus buenas características agronómicas.

Palabras Clave: nopal verdura, variedades, plaguicidas, eficacia, tolerancia.

Abstract

Mexico is considered to be the country with the highest production of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*) in the world. Its importance derives from the fact that it has functional properties such as a high content of calcium (Ca), potassium (k) and a high percentage of crude fiber, this last characteristic positions it as a good source of dietary fiber used as an alternative treatment in people not dependent on

insulin, all these beneficial qualities for human health make the nopal vegetable a very important food in the daily diet, in addition to the fact that the cladodes are commonly consumed fresh or minimally processed. On the other hand, the state of Morelos is the largest producer in the country and specifically in the municipality of Tlalnepantla where 97% of the inhabitants are dedicated to this crop; one of the biggest problems is the indiscriminate use of pesticides.

The objective of this study was to evaluate the most important agronomic aspects of different varieties of green nopal (*Opuntia ficus-indica*) such as adaptation, productivity, postharvest quality and phytosanitary behavior to the agroclimatic conditions of the municipality of Tlalnepantla, Morelos, the last characteristic with the purpose of reducing the number of applications in the area. The results obtained show that there are some varieties that have good characteristics with which productive crops can be established. In field conditions, the varieties Copena F1 and Italiano morado showed the best structural characteristics of plant growth, as well as the best results in production, number of cladodes and biomass weight, in addition to the Jade variety, which were superior to the control cultivar Milpa alta. Regarding the vigor of the first and second level cladodes of the plants, there were no statistically significant differences in length, width, basal, medium and apex thickness, although greater cladode length was observed in the Copena F1 variety. Regarding the cladodes to be marketed for the physical tests, the best attributes were for the varieties C. F1 (length, 31.6 cm, basal thickness 26.71 mm, firmness 8.13 N and area 373.7 cm²) and C. V1 (weight 371.6 g, apical, medium and basal thickness with 10.04, 12.10 and 26.64 mm respectively), in terms of color there were no statistically significant differences between varieties. In the biochemical results, the varieties with the best averages were: I. morado (titratable acidity 1.17%), Pabellón a. (total chlorophyll 12.17%), Pabellón a. (total chlorophyll 12.17%) and Pabellón a. (total chlorophyll 12.75/100g-1), Atlxco (carotenoids 0.24/100g-1) and C. F1 (TSS 5.85°Brix). In pest and disease incidence, all varieties were susceptible, but to a lesser degree C. F1, C.

V1 and Atlixco in terms of cactus mealybug damage; all were damaged by weevil attack, but to a lesser degree C. F1 and C. V1, Atlixco and Italian were susceptible, but to a lesser degree C. F1 and C. V1, Atlixco and Italian were susceptible to weevil damage. V1, Atlixco and improved Italian. For lepidopteran larvae, all were susceptible. Cactus spot was only minimally present in the cultivars C. V1 and Milpa alta. Taking into account the results obtained, it is possible to establish vegetable cactus production crops with the varieties Copena F1, C. V1 and Italiano morado in the area due to their good agronomic characteristics.

Key words: green cactus, varieties, pesticides, efficacy, tolerance.

7.2. Introducción

México se caracteriza por ser el centro de origen y dispersión del nopal, además de su tolerancia a la escasez de agua y su adaptación a climas desérticos y semidesérticos, el nopal es un recurso con muy alto potencial para el impulso de su producción (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). La planta de nopal pertenece al género *Opuntia*, en la que se reconocen aproximadamente 190 especies a nivel mundial, de las cuales 83 tienen su origen en México, además, a México, se le reconoce

como el mayor productor, consumidor y líder en el comercio de nopal verdura en el mundo (Callejas-Juárez *et al.*, 2009; Blanco-Macías *et al.*, 2008; SE, 2006).

En la actualidad existe una demanda importante en el consumo de fibras naturales con el objetivo de proteger la salud humana. Por esta razón se ha observado un incremento en el consumo de productos de origen natural tales como el nopal verdura con el objetivo de contrarrestar la diabetes regulando el metabolismo en pacientes, así como para la prevención de la misma, además juega un papel importante en la regulación de enfermedades cardiovasculares, obesidad y cáncer de colon (Díaz-Franco *et al.*, 2014). Dado que hoy en día la alimentación, ya no es solo un simple sistema para mitigar nuestras necesidades satisfaciendo el hambre y poder sobrevivir, sino que se ha convertido en un instrumento para garantizar el bienestar y salud del consumidor (Torres-Ponce *et al.*, 2015).

El estado de Morelos es el más grande productor de nopales en México, aportando el 46.83% de la producción total; en este estado los principales municipios productores son Tlayacapan, Totolapan y Tlalnepantla, este último reconocido como el mayor productor a nivel nacional con una producción de 294,000 t aportando un 72.63% estatal y 34.02% nacional (SIAP, 2020). Además, se reconoce que el 97% de sus habitantes son agricultores dedicados a este cultivo (Diagnostico municipal, 2017).

Dada la importancia de la producción de nopal verdura que tiene el municipio de Tlalnepantla, se han presentado una serie de problemas principalmente con el control de plagas y enfermedades del cultivo (Hernández-Cárdenas *et al.*, 2014); también se sabe que de todos los métodos de control, el químico es el más utilizado (Pérez *et al.*, 2013); además, según la SAGARPA (2013) se reconoce que algunos productores están conscientes del uso indiscriminado de agroquímicos, pero consideran que de no hacer esto se perdería un alto porcentaje de la producción del cultivo.

La manipulación y aplicación de plaguicidas propician riesgos para el ser humano, como productor o consumidor; los riesgos también se presentan en el propio cultivo y su entorno, para el ganado, para la fauna terrestre y acuícola, y en definitiva para el equilibrio ecológico (Sánchez, 2002; Fenik *et al.*, 2011). Además la presencia de residuos de plaguicidas en los alimentos es una preocupación significativa para los consumidores, debido a los posibles efectos adversos para la salud (Camino-Sánchez *et al.*, 2011); más aún en productos que se consumen en crudo o mediamente crudos como el nopal verdura (Peña-Valdivia *et al.*, 2012).

Por consiguiente, se han observado variaciones de susceptibilidad de cultivares con respecto al ataque fitófagos, tema poco estudiado. Pero el desarrollo de cultivares con algún grado de tolerancia pueden ser una buena alternativa, también es muy importante contar con un amplio rango de adaptación a las condiciones locales, expresados en el vigor, sanidad, calidad de brotes y productividad (Mondragón y Pérez, 2003; Blanco-Macias *et al.*, 2008), además si una variedad es resistente o tolerante la utilización de plaguicidas se minimiza por lo que el productor economiza costos de producción garantizando protección al medio ambiente y al consumidor (SADER, 2020). Ya que la variedad predominante en la zona productora es el cultivar Milpa alta (Corrales y Flores 2003; Blanco y Valdez, 2008; IICA, 2017).

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar características de importancia agronómica de adaptación, productividad, calidad poscosecha y comportamiento fitosanitario en diferentes variedades de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) a las condiciones agroclimáticas del municipio de Tlalnepantla, Morelos, para introducir cultivos productivos en la zona y posibilitar reducir el número de aplicaciones químicas.

7.3. Materiales y métodos

7.4. Establecimiento del cultivo

El presente estudio fue realizado en un paraje conocido como "Las cruces" en el municipio de Tlalnepantla, Morelos, en las coordenadas 19.011452, -99.008174, con una altitud de 2182 msnm, cuenta con un clima templado sub húmedo, una temperatura media anual de 16 °C y precipitación de 1100 mm (INEGI, 2020). En esta localidad el 97% de los pobladores son productores del cultivo nopal verdura *Opuntia ficus-indica* var. Milpa alta (Corrales y Flores 2003; Blanco y Valdez, 2008; IICA, 2017).

Obtención del material. Se obtuvieron un total de 90 cladodios de 9 variedades de entre 20 y 24 meses de edad (10 cladodios por variedad). El material que fue utilizado en el experimento fue donado para investigación a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) por el Centro Regional Universitario Centro Norte (CRUCEN), el cual tiene a su cargo al depositario nacional de, *Opuntia*, en el Municipio de Morelos, Zacatecas, en junio del año 2018.

Preparación y trazado del terreno. El terreno utilizado fue de una superficie de 120 m²; se barbecho a una profundidad de 25 cm (Sifuentes, 2013), y 2 veces rastreado en forma cruzada dejando un espacio de 2 días entre rastreo para promover la solarización continúa disminuyendo el problema de plagas del suelo, el trazado se hizo referente a la densidad de siembra de 10000 plantas por hectárea a una distancia entre hileras y filas de un metro (Pimentel y Delgadillo, 2015).

Siembra. La siembra se realizó en el mes de septiembre del 2018. Las plantas fueron tratadas con una solución de caldo bordelés a dosis de 2 kg de cal más 2 kg de sulfato de cobre tribásico disueltos en 100 L de agua secándolas a la sombra, posteriormente se hicieron orificios en el suelo colocando dos terceras partes de las pencas dentro y se cubrieron con tierra (Pimentel y Delgadillo, 2015). Se hizo una fertilización inicial con lombricomposta a dosis de 1 kg por planta; después, se aplicó estiércol bobino a una dosis de 100 t ha⁻¹ (Zúñiga-Tarango *et al.*, 2009), según la experiencia directa de los productores (Flores, 2013).

Diseño experimental. El diseño experimental fue completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento en donde la unidad experimental constó de una planta quedando 100 unidades junto con el testigo regional variedad Milpa alta.

7.5. Evaluación de las variables físicas en campo

Para las evaluaciones en campo, basándose en que una planta de nopal verdura productiva consta comúnmente de tres secciones planta madre, primer brote y tercer brote, siendo esta última en donde emergen los cladodios para cosecha. Se seleccionaron y marcaron 20 cladodios del segundo y 20 de tercer nivel después de la emergencia. Las variables fueron: alto, ancho de plantas, número de brotes en las tres secciones; en los cladodios seleccionados fueron: longitud, ancho, grosor de ápice, medio y basal, peso de cladodios en etapa de cosecha. Las evaluaciones se hicieron mensualmente.

En la estimación de altura se utilizó un flexómetro STANLEY® de la base de la planta madre al ápice del último brote, el ancho fue determinado midiendo la planta en sentido horizontal, considerando los cladodios más distantes de las extremidades (Torres *et al.*, 2016; Vásquez *et al.*, 2020). Con la misma cinta fueron evaluados los cladodios del primer y segundo brote de la base hacia el ápice, mientras que el ancho de extremo a extremo (López *et al.*, 2013), para el grosor basal, medio y ápice se evaluaron con un vernier Mitutoyo®, modelo 500-197-30 de 8 pulgadas (López-Collado *et al.*, 2013; Barazarte *et al.*, 2017).

El número de cladodios en cada sección y de producción se evaluó contabilizando los brotes, así como el peso de cladodios de más de 15 cm que fueron cortados con un cuchillo y guante de cuero para después pesarlos en una báscula electrónica portátil Rhino® modelo Bac-20, con capacidad de 20 kg (Joaquín *et al.*, 2019; Vásquez *et al.*, 2020), para estimar la producción ($t\ ha^{-1}$).

7.6. Análisis estadístico de variables en campo

Los datos se procesaron con el programa estadístico SAS® versión 9.0 SAS, aplicando un análisis de varianza simple y prueba de comparación de medias según Tukey ($P>0.05$), previa comprobación de los supuestos paramétricos de normalidad.

7.7. Experimentos en el laboratorio

Se cosecharon nopales frescos entre las 7:00 y 8:00 am, se colocaron en bolsas de polietileno previamente marcadas y se depositaron en una hielera; posteriormente fueron trasladados al laboratorio de postcosecha de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) en donde se hicieron las evaluaciones físicas y bioquímicas correspondientes.

7.8. Evaluación de las variables físicas en el laboratorio.

Se utilizaron cladodios de entre 25 – 30 días de edad, el diseño experimental fue completamente al azar con 10 repeticiones por variedad en donde cada unidad experimental consto de un nopal.

Se evaluó la longitud de cladodios con una cinta métrica STANLEY® de la base al ápice de cada nopal, el ancho con la misma cinta de extremo a extremo (Maki *et al.*, 2015; Vásquez *et al.*, 2020). El grosor en tres puntos (base, parte media y ápice) con un vernier Mitutoyo®, modelo 500-197-30 de 8 pulgadas (Alonso y Cruz, 2007; Chavarría, 2011; López-Collado *et al.*, 2013; Barazarte *et al.*, 2017). El peso con una báscula electrónica marca Rhino® modelo Bac-20 (Joaquín *et al.*, 2019; Maki *et al.*, 2015).

El conteo de hojas fue de forma visual y manual (Maki *et al.*, 2015). El área foliar se determinó por medio de una cámara fotográfica SONY Cyber-shot modelo DSC-W570 de 16 megapíxeles; se tomaron fotografías a los cladodios a una distancia de 30 cm aproximadamente tomando como superficie un fondo blanco; las fotografías fueron procesadas con el programa de procesamiento de imagen

digital ImageJ (Rincón *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2016; Saucedo *et al.*, 2017; González y Maio, 2018). Para evaluar la firmeza se utilizó una estación de prueba de textura marca SHIMADZU® modelo EZ test provisto con un punzón de 5 mm de diámetro evaluando en tres puntos por unidad (base, parte media y ápice), los resultados se expresaron como la fuerza (N) requerida para penetrar el tejido a una velocidad de 20 mm min⁻¹, dicho análisis se hizo por medio del Software Trapezium® instalado en la estación de pruebas (Modificada de: Luna y Barrett, 2000; Pedreschi y Moyano, 2005; Huang, 2007; Torres, 2014; Alvarado *et al.*, 2016).

Color. Se utilizó el método modificado de Flores (2012) en donde se determinaron los parámetros de color, luminosidad (L), cromaticidad (croma) y ángulo de matiz (Hue) por colorimetría de reflexión en la epidermis, según Robles-Ozuna *et al.* (2007) en tres puntos: base, parte media y ápice de cada cladodio con el apoyo de un espectrofotómetro manual X-Rite® (mod 3290, USA).

7.9. Evaluación de variables bioquímicas en el laboratorio.

Se cosecharon nopales frescos de nueve variedades de nopal de entre 7:00 y 8:00 am horas del día, el diseño experimental fue completamente al azar con 6 repeticiones por variedad en donde la unidad experimental constó de una pieza de nopal.

Acidez titulable: Se cuantificó en muestras de 1 g tomadas del área central de cada nopal, seccionadas con un bisturí, utilizando el método de titulación con hidróxido de sodio (NaOH) al 0.01 N y fenolftaleína como indicador, método descrito por la AOAC 942.15 (1990), y se expresó como porcentaje de ácido málico.

El contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofilas y carotenoides): fue evaluado por el método espectrofotométrico descrito por Inskeep y Bloom (1985). Los pigmentos de 1 g de tejido fresco obtenido de la zona central de cada unidad experimental con un bisturí, se extrajeron con 10 mL de acetona al 80%.

La absorbancia de las clorofilas y carotenoides se midieron a longitudes de onda de 450, 647, 664.5 y 750 nm, en un espectrofotómetro THERMOSCIENTIFIC Genesis 10S UV-VIS y las concentraciones (mg L^{-1}) se calcularon con las siguientes ecuaciones:

Clorofila a: $(12.7-A_{664.5}) \times (2.79-A_{647})$

Clorofila b: $(20.7-A_{647}) \times (4.612-A_{664.5})$

Carotenoides: $0.25 \times (A_{450}-A_{750})$

Dónde: V es el volumen de extracción y A es la absorbancia a la longitud de onda respectiva.

Los sólidos solubles totales. Se determinaron a partir de tres gotas de jugo de cada cladodio, extraídas con un exprimidor manual, el jugo fue depositado en un refractómetro ATAGO PAL-1[®] (Japón) a una temperatura de 20°C y previamente calibrado con agua destilada, los resultados se reportaron en porcentaje de grados °Brix. (AOAC 932.12, 1990).

7.10. Análisis estadístico de pruebas en laboratorio

El análisis estadístico de datos se realizó por medio del paquete estadístico SAS[®] versión 9.0, para la prueba de comparación de medias cuando se presentaron diferencias entre las variables evaluadas, se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

7.11. Evaluación de plagas y enfermedades en variedades de nopal verdura

7.11.1. Porcentaje de infestación de la Cochinilla (*Dactylopius opuntiae*) en variedades de nopal verdura

Se utilizó la escala logarítmica mixta elaborada con el programa 2LOG ver. 1.0 (Mora-Aguilera *et al.*, 2000), en donde con base al número de colonias de cochinilla, y el área que cubren con respecto al área total del cladodio, en los que se establecieron 6 niveles en cladodios de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*).

Las evaluaciones se hicieron de manera seccionada en los 3 niveles planta madre, cladodios secundarios y de tercer nivel. Se seleccionaron dos cladodios por nivel que fueron previamente marcados para las evaluaciones posteriores. Las evaluaciones se hicieron en un periodo de un año comenzando en marzo del 2019 concluyendo en abril del 2020.

Cuadro 1. Escala de grados de infestación en cladodios de nopal verdura

Grado	Descripción
0	Sin presencia del insecto plaga
1	1-5 colonias
2	6-15 colonias
3	16 colonias hasta el 25% de recubrimiento de la superficie del cladodio
4	26-50% de la superficie del cladodio
5	51-75% de la superficie del cladodio
6	76-100% de la superficie del cladodio

Los datos del nivel de infestación de campo fueron transformados a porcentaje de infestación por medio de la fórmula de Townsend y Heuberger (1943).

Dónde:

PS = Grado de severidad en %

n = Número de muestras por cada categoría

V = Valor numérico de cada categoría

N = Número total de muestras

C= Categoría mayor

$$PS = \left[\frac{\sum (n \cdot V)}{N \cdot C} \right] \times 100$$

7.11.2. Incidencia de mancha negra del nopal verdura.

Se evaluaron todas las plantas por variedad en dos años que fueron desde octubre del 2018 a diciembre del 2020, para la estimación de porcentaje de severidad de la enfermedad se utilizó la escala diagramática de severidad de la mancha negra del nopal (*Pseudocercospora* sp.) propuesta por Quezada *et al.* (2003).

Cuadro 2. Escala nominal de daño de mancha del nopal verdura

Clase	Descripción (%)
1	0.00-0.00
2	0.01-2.38-4.00
3	4.10-7.39-12.50
4	12.51-20.69-32.00
5	32.10-46.05-60.50
6	60.51-73.50≥73.51

7.11.3. Incidencia del picudo del nopal.

En cuanto al picudo del nopal se cuantificaron los especímenes visualmente en el campo para determinar la incidencia en cada variedad por planta, además se realizaron conteos del número de orificios y de daño en los cladodios tiernos dañados por la alimentación (Quezada-Salinas *et al.*, 2007).

7.11.4. Incidencia por lepidópteros.

Para la estimación de incidencia de larvas de palomillas que se alimentan de los brotes tiernos o nopales para producción las evaluaciones se realizaron en forma visual, mediante el conteo de cladodios dañados por acción de la alimentación de las larvas de las palomillas.

7.12. Obtención de datos climatológicos

Para la obtención de los datos climatológicos de temperatura media, humedad relativa y precipitación, en el presente estudio. Los datos fueron obtenidos de la base de datos disponible en el sitio web de la NASA, (2021) para el periodo comprendido de julio de 2018 a abril de 2021.

7.13. Resultados y discusión

7.14. Evaluaciones en campo

La presencia de diferencias significativas no es evidente entre las variables evaluadas, aunque se observan variaciones en su crecimiento en algunas variables. Para la variable de altura de plantas el cultivar Copena F1 tuvo un crecimiento de 32.1 cm más, con respecto a la variedad Italiano Mejorado variedad con el promedio más bajo y con referencia al testigo regional fue mayor con 17.6 cm.

En cuanto al ancho de plantas Copena F1 presentó el promedio más alto con 18.6 cm más que el cultivar con la segunda posición Pabellón amarillo, además obtuvo un promedio de 24.3 cm mayor que el testigo. Con respecto al número de cladodios del primer y segundo la variedad Copena F1 obtuvo un número mayor en ambos niveles de la planta; en cladodios del primer brote 6 mientras que en los del segundo obtuvo 14, esto representa un 33.4 y 64.3% más brotes con respecto a los últimos puestos, además fue más productivo en el número de cladodios de primer y segundo brote por una y cuatro unidades con respecto al testigo (Cuadro 3).

En cuanto a la variable altura de plantas, la variedad Copena F1 con 105.8 cm de longitud fue superior que los evaluados por Vásquez-Mendoza *et al.* (2020), quienes evaluaron clones del cultivar oreja de elefante mexicana (*Opuntia stricta* Haw) para producción de forraje con menos de 99.26 cm de longitud en todos los clones evaluados; además en este trabajo para la variable ancho de plantas las variedades fueron inferiores con valores menores de 119.5 cm a los reportados por este mismo autor que obtuvo hasta 161.5 cm en clones de la variedad para forraje oreja de elefante mexicana.

Además, los resultados del presente estudio fueron inferiores a los reportados por Ferreira *et al.* (2003), quienes evaluaron características morfológicas en clones de nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica* Mill) observando altura máxima de 122 cm a los 24 meses de edad, esto puede deberse al manejo agronómico diferente entre nopal para alimento humano en donde existen podas recurrentes no dejando que la planta rebase el cuarto segmento en contraste con el nopal para fin de forraje en donde la poda es mínima o inexistente (Inglese *et al.*, 2018); además de lo anterior, otro factor que pudo haber influido en los resultados es la variedad específica que tiene diferentes características morfológicas.

También se puede apreciar que los resultados se asemejan con los reportados por Fernández-Pavía *et al.* (2015) que reportaron un número promedio de 5 cladodios brote en la región basal del cultivar Milpa alta en su tratamiento de nutrición con la solución nutritiva de Steiner, tan solo superada por la variedad Copena F1 con 6 cladodios promedio en la región basal y 14 del segundo nivel, los demás cultivares de nuestro estudio obtuvieron un promedio de 4 nopales brote en la región basal. Por otra parte, en esta misma variable los resultados del presente estudio son comparables en al menos nueve de las variedades incluyendo el testigo en el número promedio de brotes primarios de entre 4 y 5, con excepción Copena F1 a los reportados por Vásquez-Mendoza *et al.* (2020) al

evaluar clones de nopal Oreja de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw) para producción forrajera.

Cuadro 3. Variables evaluadas en campo en diferentes variedades de nopal verdura

Variedad	Altura (cm)		Ancho (cm)		Numero de Cladodios del primer brote		Numero de cladodios del segundo brote	
Atlixco	79.8	bc	81.8	bc	4	b	7	cd
Copena F1	105.8	a	119.5	a	6	a	14	a
Italiano mor.	84.5	bc	97	ab	4	b	10	b
Jalpa	82.9	bc	104.5	ab	4	b	9	bc
Cero espinas	74.4	c	69.4	bc	4	b	5	d
Copena V1	77.9	bc	86.4	bc	4	b	9	bc
Jade	80.5	bc	100.2	ab	4	b	9	bc
Pabellón amar.	92.4	ab	100.9	ab	4	b	9	bc
Italiano mejo.	73.7	c	82	bc	4	b	6	d
Milpa alta	88.2	bc	95.2	b	5	ab	10	b
C. V.	14.3		17.4		19.9		16.4	

Los promedios de cada variable con letra diferente entre clases son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). C.V.= Coeficiente de variación.

En el (Cuadro 4) se observan diferencias significativas a un 95% de confiabilidad entre variedades con las diferentes variables, los cultivares Copena F1, Italiano morado y Jade obtuvieron los promedios más altos de rendimiento y biomasa. Las variedades Copena F1, Italiano morado, Jalpa y Jade obtuvieron un mayor promedio de cladodios a cosechar entre 236 y 260, mientras que la variedad Jalpa tuvo el menor número de abortos en la planta.

Estos resultados son superiores a los obtenidos por Vásquez-Alvarado *et al.* (2010), quienes obtuvieron 87.28 t ha^{-1} del cultivar Copena F1, ya que en este estudio se obtuvo un rendimiento de biomasa de 162.1 t ha^{-1} , únicamente

comparados con la Variedad Copena CE2 con 161-75 t ha⁻¹ evaluados por estos mismos autores; también nuestros resultados son superiores en el rendimiento de las variedades C. F1, Jade, Italiano morado, y Milpa alta e igual a pabellón amarillo, sin embargo, las variedades Atlixco, Italiano mejorado y Copena V1, son inferiores a los reportados por Vásquez-Mendoza *et al.* (2020) quienes evaluaron nopal forrajero variedad Oreja de elefante al obtener un rendimiento de 67.41 t ha⁻¹, estas variaciones pueden deberse en gran medida a las condiciones agroclimáticas, variedades y su fin del cultivo.

Cabe mencionar que la variedad Cero espinas escaseó de unidades a cosechar todo el tiempo y no se completaron las unidades experimentales requeridas para dichos estudios, por lo que se omitió en las pruebas físicas y bioquímicas de laboratorio, esto indica que este cultivar no posee las cualidades necesarias requeridas para producción bajo las condiciones agroclimáticas de la zona y no necesariamente pueda mostrar este comportamiento en otras partes.

Cuadro 4. Producción de variedades de nopal verdura a las condiciones agroclimáticas de Tlalnepantla Morelos

Variedad	Rendimiento t ha ⁻¹	Biomasa t ha ⁻¹	Promedio de numero cladodios	% Aborto de cladodios
Atlixco	23.3 f	82.6 e	132 d	5 d
Copena F1	90.1 a	162.1 a	260 a	2.5 a
Italiano morado	81.9 abc	151.7 ab	243 ab	2.1 b
Jalpa	74 bcd	147.3 abc	236 ab	1 e
Cero espinas	2.9 g	13.2 f	21 e	-
Copena V1	63.6 d	119.5 d	191 c	2.7 b
Jade	84.3 ab	151.7 ab	243 ab	1.7 c
Pabellón amarillo	67.8 d	129.3 cd	207 bc	1.8 cd
Italiano mejorado	43 e	88.8 e	142 d	5.4 d
Milpa alta	70.9 cd	138.5 bcd	222 bc	2.5 b

C. V.	13.3	12.1	12.5	9.4
-------	------	------	------	-----

Los promedios de cada variable con letra diferente entre clases son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). C.V.= Coeficiente de variación

En el (Cuadro 5) se observa que para la longitud de cladodios de la región basal el cultivar Copena F1 presentó los promedios más altos con 16.3 y 12.2 cm con respecto al cultivar Italiano mejorado con el promedio más bajo y el testigo. En el ancho de los cladodios del primer brote el cultivar Jalpa obtuvo 4.4 cm más respecto al último puesto que fue la variedad Italiano mejorado. En cuanto al grosor basal, no hubo diferencias significativas en el análisis estadístico; mientras que en el grosor medio y de ápice, la variedad Cero espinas en ambas variables presentó el mayor grado de grosor de cladodios con un 40.67 y 33.27% mayor que las variedades Atlixco e Italiano Mejorado las cuales tuvieron menores valores.

Cuadro 5. Vigor de cladodios de nopal del primer brote al transcurso de dos años

Variedad	Long (cm)	Ancho (cm)	Gros. Basal. (mm)	Gros. Media (mm)	Gros. Ápice (mm)
Atlixco	34.6 abc	21.5 ab	57.77 a	33.36 d	34.24 b
Copena F1	44 a	19.2 ab	59.41 a	40.39 bcd	39.07 b
Italiano morado	40.3 ab	21.2 ab	59.75 a	41.83 bcd	39.34 b
Jalpa	33.7 bc	22.2 a	54.85 a	36.95 bcd	39.91 b
Cero espinas	30.4 c	17.5 b	56.81 a	56.22 a	50.17 a
Copena V1	31.3 bc	20.2 ab	63.99 a	45.06 bc	41.78 ab
Jade	29 c	21.1 ab	66.18 a	46.52 ab	42.13 ab
Pabellón amarillo	34.6 abc	21.8 ab	64.95 a	38.01 bcd	36.57 b
Italiano mejorado	27.7 c	17.8 ab	57.04 a	36.14 cd	33.48 b
Milpa alta	31.8 bc	18.9 ab	56.16 a	36.55 cd	39.25 b
C.V.	19.2	15.0	14.5	16.6	17.2

Los promedios de cada variable con letra diferente entre clases son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). C.V.= Coeficiente de Variación

En el presente trabajo todas las variedades fueron superiores, de entre 23.56 cm (Jalpa) y 34.87 cm (Copena F1) de longitud en cladodios brote de la región basal a las reportadas por López-Collado *et al.* (2013), quienes evaluaron 4 variedades de nopal: nopal tuna verde, nopal verdura, nopal tuna roja y nopal de tuna sin semilla en la zona central de Veracruz y que tuvieron longitudes de cladodios menores a 16 cm. Fernández-Pavía *et al.* (2015) obtuvieron un promedio de 28.25 cm en plantas de nopal verdura cultivados con una solución nutritiva de Steiner, resultados superiores a los del presente trabajo de 25.36 cm en la variedad milpa alta y solo superado por Copena F1 (34.87 cm) y Pabellón amarillo (28.45 cm) (Figura 1).

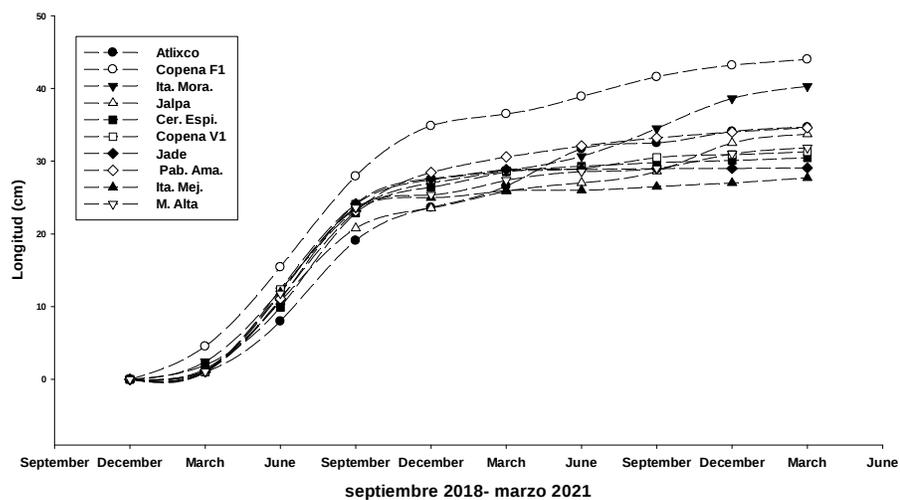


Figura 1. Crecimiento de longitud de cladodios de primer brote en 2.5 años

Para la variable anchura de pencas, el presente estudio tuvo un promedio de 15.46 cm superior al reportado por Fernández-Pavía *et al.* (2015), que obtuvieron 13.01 cm en el cultivar Milpa alta resultado que solo fue superior a la variedad Italiano mejorado con 9.62 cm promedio que fue la de menor crecimiento. Por otra parte, López-Collado *et al.* (2013), obtuvieron resultados menores en la evaluación del ancho de cladodios en 4 variedades con valores menores de 7 cm, ya que los resultados de este estudio fueron de entre 9.62 cm (Italiano mejorado) y 16.23 cm (Italiano morado) en el transcurso de un año (Figura 2).

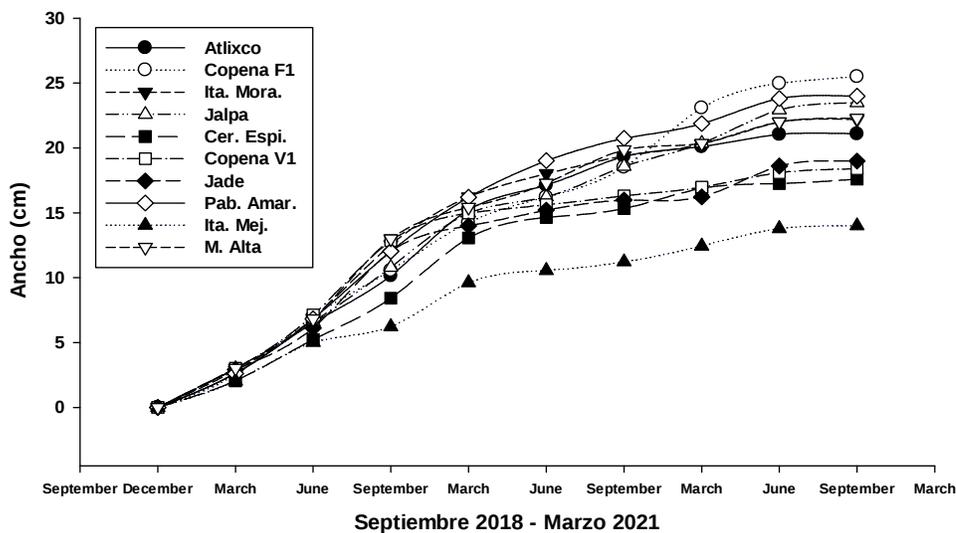


Figura 2. Ancho de cladodios de primer brote en 2.5 años

Los resultados de la presente investigación con respecto al grosor de cladodios difieren bastante con los obtenidos por Fernández-Pavía *et al.* (2015), ya que estos autores obtuvieron grosores de cladodios menores a 1 cm de desarrollo en un año de evaluación que en comparación con este estudio en todas las variedades fue de 1.6 cm (Atlixco) y 2.6 cm (Copena V1) en el mismo tiempo (Figura 3), esto pudo deberse al método de plantación que utilizaron (macetas en invernadero); en otro estudio realizado por Vásquez-Mendoza *et al.* (2020), en clones de nopal forrajero de la variedad Oreja de Elefante Mexicana reportaron grosores de cladodio de 22.46 mm comparable con 5 de los cultivares

evaluados en este trabajo (Italiano morado, Jalpa, Cero espinas, Jade y Milpa alta) que oscilaron entre 22 y 23 mm, y solo superados por Copena F1 y C. V1; los resultados obtenidos en este trabajo también fueron mayores en todos los casos a los reportados por Torres-Sales *et al.* (2016), quienes reportaron menos de 17 mm de grosor en dos variedades de nopal forrajero de la especie *Nopalea cochenillifera*: Miuda y Malagoas, ya que en este trabajo se obtuvieron resultados de entre 33.3 mm (Atlixco) y 56.2 cm (Cero espinas) que fueron los cladodios con mayor grosor; se observó una variación marcada en el grosor de las variedades en el transcurso del tiempo ya que para Andrade *et al.* (2006) mencionaron que esto ocurre a consecuencia de la presencia o ausencia de la precipitación pluvial para aumentar o suprimir la variable, y que por lo tanto, las plantas con mayor grosor se consideran que poseen una alta capacidad de sobrevivencia en ambientes con escasas lluvias (Torres-Sales *et al.*, 2016).

En una perspectiva más amplia los factores de respuesta de variables difieren en gran medida ya que dependen del tipo de materiales y sus variedades que poseen cualidades únicas, además del manejo agronómico de diferentes tipos de establecimiento, densidades de siembra, finalidad de la producción, así como la nutrición del cultivo (Corrales-García *et al.*, 2003; Blanco-Macias *et al.*, 2008; Inglese *et al.*, 2018). En adición de lo anterior, el género *Opuntia* spp. tiene la capacidad de adaptarse a una amplia variedad de climas y diferentes condiciones edáficas (Bensadón *et al.*, 2010; Torres-Ponce *et al.*, 2015). Lo que genera respuestas diferentes en los resultados.

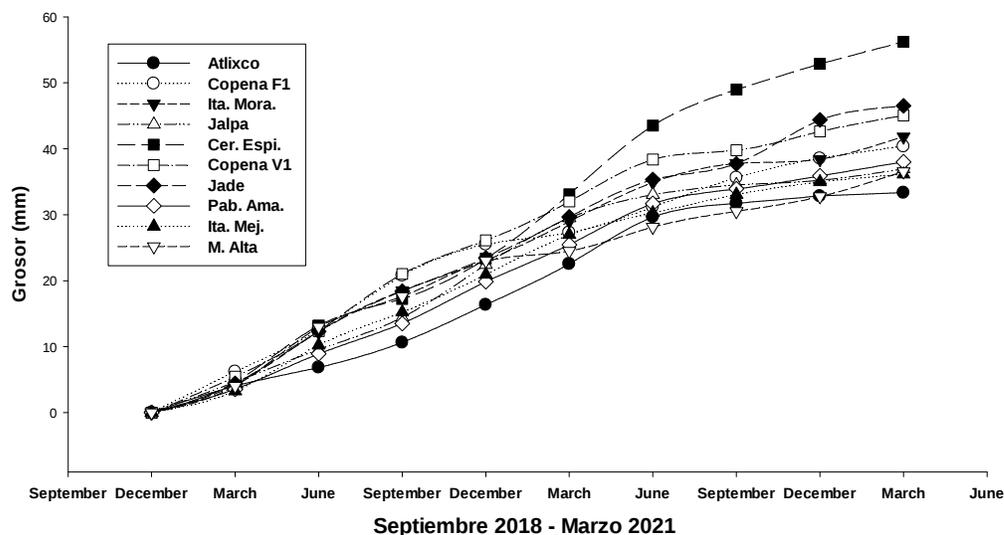


Figura 3. Grosor medio de cladodios en variedades de nopal verdura del primer brote en 2.5 años.

7.15. Resultados del desarrollo de cladodios del segundo nivel al transcurso de un año

En el desarrollo de los materiales con respecto al segundo brote o nivel de la planta hubo diferencias estadísticamente significantes. La variable de longitud especialmente con los materiales Copena F1, Pabellón amarillo, Jade y Cero espinas. En primer lugar, la Variedad Copena F1 presento el promedio de mayor aumento de 5 cm con respecto al segundo puesto que fue la variedad Milpa alta. En el ancho de las pencas el cultivar Pabellón amarillo fue el que presentó el mayor promedio de 38.5% con referencia al último puesto que lo obtuvo la variedad Cero espinas. En cuanto al grosor basal y de ápice la variedad Jade obtuvo un aumento del 21.4 y 23.2% mayor con respecto a las variedades Cero espinas e Italiano mejorado que tuvieron los promedios más bajos; para el grosor de la zona media la variedad Cero espinas obtuvo un mayor desarrollo del 34.5% mayor con respecto a la variedad Italiano mejorado (Cuadro 6).

Si comparamos estos resultados con los del primer brote vemos que para la variable de longitud los cladodios del segundo nivel son más largos en la mayoría de las variedades, con excepción de los cultivares Italiano morado y Cero espinas. En lo referente al ancho de las variedades, los cladodios del primer nivel son más anchos a excepción ligeramente de Copena F1. En cuanto al grosor basal, medio y apical, los valores del primer nivel son más altos, por lo tanto, esto

puede deberse a la acción mecánica de soporte ya que los cladodios del segundo nivel ejercen un peso sobre estos.

Los resultados del presente estudio coinciden con los reportados por Gallegos *et al.* (1994) y a los de Gallegos *et al.* (2006) quienes evaluaron 40 cultivares de nopal para verdura, donde menciona que los cladodios de la variedad Copena F1 son los que obtuvieron una mayor longitud en sus dos niveles de la planta, esto con referencia de las condiciones del municipio de Tlalnepantla, Morelos.

Cuadro 6. Vigor de los cladodios del segundo brote

Variedad	Long (cm)	Ancho (cm)	Gros. Basal. (mm)	Gros. Media (mm)	Gros. Ápice (mm)
Atlixco	37.92 b	25.73 ab	49.84 abcd	29.46 c	25.73 c
Copena F1	46.10 a	18.90 de	52.55 abcd	31.76 bc	32.98 ab
Italiano mor.	37.48 b	24.25 abc	54.41 abcd	34.85 bc	35.57 a
Jalpa	36.28 b	23.02 bcd	51.97 abcd	35.04 bc	33.85 ab
Cero espinas	29.53 c	17.22 e	44.97 cd	43.13 a	35.79 a
Copena V1	36.58 b	22.42 bcd	54.61 abc	37.73 ab	34.45 a
Jade	39.87 ab	25.17 abc	56.70 a	34.24 bc	36.21 a
Pabellón ama.	38.55 b	27.93 a	55.34 ab	29.59 c	30.37 abc
Italiano mejor.	36.79 b	24.31 abc	44.61 c	28.28 c	27.80 bc
Milpa alta	41.10 ab	20.98 cde	46.52 bcd	32.68 bc	33.54 ab
C. V.	11.7	12.5	13.3	14.6	13.3

Los promedios de cada variable con letra diferente entre clases son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). C.V.= Coeficiente de variación.

7.16. Resultados físicos en laboratorio de cladodios en estado de cosecha

En el Cuadro 7 se aprecia que existieron diferencias estadísticamente significativas. Para la variable de longitud de cladodios la variedad Copena F1 fue 29.7% más larga con respecto al del último puesto (Pabellon amarillo). Para el

ancho de plantas el cultivar Atlixco con 21.5% fue más ancha que Jalpa variedad con la anchura menor.

Respecto al peso en el Cuadro 7 se aprecia que Copena V1 obtuvo entre 24.4 y 29.1% más peso que las variedades Atlixco, Jalpa, Pabellón amarillo e Italiano mejorado que presentaron valores menores. En cuanto al grosor basal hubo una diferencia de 20.3% entre el mayor valor variedad Copena F1 y menor valor cultivar Pabellón amarillo; grosor medio los materiales Copena V1 con el valor mayor y pabellón amarillo de menor valor con una diferencia de un 32.3% y grosor apical con un 38% de diferenciación la variedad Copena V1 con respecto al del menor grosor de ápice la variedad Pabellón amarillo.

En cuanto a la firmeza se requirió un 40.5% más fuerza para penetrar a los cladodios de la variedad Copena F1 con relación a la variedad Milpa alta que tuvo el promedio más bajo y 14.6% más con respecto al segundo puesto obtenido por el cultivar Pabellón amarillo. En el número de hojas hubo una diferencia estadísticamente significativa en un rango de 25.5% que mermó entre jade que tuvo más hojas y Atlixco menor número de hojas. Para el área de cladodios la variedad con mayor espaciamiento fotosintético fue Copena F1 con un 26.3% más que el cultivar con la superficie menos desarrollada Jalpa (Cuadro 7).

Estos resultados difieren mínimamente en longitud de cladodios de la variedad Atlixco que fue de 24.4 cm, con respecto a los obtenidos por Maki *et al.* (2015) en cladodios de la misma variedad que presentaron 21.66 y 23.86 cm en nopales de exportación y consumo nacional, pero inferiores a los obtenidos por Barazate *et al.* (2017) quienes obtuvieron un promedio de 26.47 cm, cabe mencionar que el autor solo evaluó la especie *Opuntia ficus-indica* en 3 diferentes edades de cladodios mas no diferentes variedades por lo tanto en este trabajo tomamos como base referencial la edad de 1 a 4 meses; en el mismo contexto, los cultivares Copena F1 y C. V1, Italiano morado, Jade y Milpa alta tuvieron un promedio longitudinal mayor que los obtenidos por los investigadores mencionados.

Con referencia al ancho de cladodios, la variedad Atlixco obtuvo 16.3 cm promedio, resultado superior a los obtenidos por Maki *et al.* (2015) que fue de 12.36 y 11.44 cm en cladodios de consumo nacional y exportación, cabe mencionar que esta variedad presentó el mayor promedio en cuanto a ancho se refiere; y resultados mínimamente cercanos a los reportados por Barazate *et al.* (2017) que tuvieron 15.86 cm. En lo que se refiere al peso, para la variedad Atlixco nuestro trabajo obtuvo 55.2% más peso que los promedios de exportación de la misma variedad en el trabajo de (Maki *et al.*, 2015), mientras que para las evaluaciones de Barazate *et al.* (2017) fueron de un promedio de 244.85 g todas las variedades evaluadas fueron superiores.

Referente al grosor medio todas las variedades de nuestro estudio tuvieron de entre 8.6 mm (Pabellón amarillo) y 12.10 mm (Copena V1), resultados mayores a los de Barazate *et al.* (2017) que obtuvieron 7.7 mm en su trabajo; al grosor basal y apical en la variedad de comparación Atlixco se tuvieron valores porcentuales de 40.7 y 32.7% mayores a los reportados por Maki *et al.* (2015).

En lo que se refiere a cladodios de consumo nacional, también cabe resaltar que las demás variedades evaluadas en este trabajo tuvieron mayor grosor basal y apical. De igual manera para el cultivar Atlixco los resultados obtenidos en nuestro trabajo fueron mínimamente superiores de 7% más hojas que los obtenidos por los autores mencionados, esto pudiera deberse a la orientación de los cladodios en el campo que influye en el proceso de fotosíntesis que por lo general se efectúa en hojas; al inicio del crecimiento de *Opuntia* spp, tiene pequeñas hojas que se caen al paso del tiempo y que en ausencia de estas, la fotosíntesis se realiza en los cladodios, es decir los tallos (Nobel, 1998).

En cuanto a la firmeza, el cultivar Copena F1 tuvo una fuerza de compresión al límite elástico y punto de biocedencia (firmeza) de 8.13 N, en comparación con los resultados de Quevedo-Quezada *et al.* (2005) quienes evaluaron el mismo cultivar para almacenamiento el cual realizó al día siguiente de haber cosechado y obtuvo un promedio menor de casi 3 N esto debido

probablemente a que los productos mínimamente procesados pierden la firmeza en un corto tiempo durante el almacenamiento (Bolin y Huxsoll, 1989).

La diferencia entre variedades pudo deberse a diversos factores ya que esta característica es dependiente de factores como la forma del vegetal, el espesor de la cutícula, la anatomía del tejido, el tamaño de las células y su turgencia, la resistencia y grosor de las paredes celulares, así como la adhesión celular, efecto de la lámina media especialmente abundante en opuntias (López-Palacios *et al.*, 2012; Peña-Valdivia *et al.*, 2012).

Lo antes mencionado es referido a sus características genéticas e interacción ambiental (Toivonen y Brummell, 2008). En relación al área del cladodio los resultados son inferiores entre 31.8% (Jalpa) y 13.4% (Copena V1) a los obtenidos por López-acosta *et al.* (2008), puesto que la especie que evaluaron fue nopal blanco (*Opuntia atropes Rose*) además experimentaron con nopales de mayor edad para estudiar el área fotosintéticamente activa de la planta, en donde se sabe que el área total de cladodios de una planta, es de vital importancia para calcular la eficiencia fotosintética de estas, parámetro que puede ser utilizado en las predicciones de producción de nopal verdura, esto se sustenta en el funcionamiento fisiológico de las plantas CAM, cuya eficiencia fotosintética es mayor que las plantas C3 y C4 (Pimienta y Ramírez, 2001).

Las diferencias en las variables con respecto a los trabajos descritos son debido principalmente a la finalidad de destino de producto que van dirigidos, en gran medida también a la edad del producto cosechado, las condiciones agroclimáticas y el manejo del cultivo, así como a las características de los genotipos y su comportamiento en los sitios específicos de estudio (Inglese *et al.*, 2018).

Cuadro 7. Variables físicas evaluadas en laboratorio de variedades de nopal verdura producidos en Tlalnepantla Morelos

Longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (gr)	Grosor apical (mm)	Grosor medio (mm)	Grosor basal (mm)	Firmeza (Newton)	Hojas (numero)	Área (cm ²)
---------------	------------	-----------	--------------------	-------------------	-------------------	------------------	----------------	-------------------------

Atlixco	24.4 cd	16.3 a	280.00 c	7.87 bcd	10.81 abc	22.75 ab	6.75 abc	140 c	349.30 ab
Copena F1	31.6 a	12.9 b	359.17 ab	9.57 ab	11.02 abc	26.71 a	8.13 a	149 c	373.70 a
Italiano morado	27.5 abcd	13.9 ab	355.83 ab	8.93 abc	10.77 abc	24.83 ab	5.91 bc	170 b	320.61 abc
Jalpa	24.1 cd	12.8 b	263.33 c	7.85 bcd	11.35 ab	23.78 ab	6.63 abc	169 b	275.37 c
Copena V1	30.5 ab	14.8 ab	371.67 a	10.04 a	12.10 a	26.64 a	5.84 bc	177 ab	328.79 abc
Jade	27.5 abcd	15.5 ab	348.33 ab	7.45 cd	11.81 ab	26.37 a	5.43 bc	188 a	315.53 bc
Pabellón amarillo	22.2 d	13.4 ab	276.67 c	6.21 d	8.62 c	21.31 b	6.94 ab	149 c	282.54 c
Italiano mejorado	25.1 bcd	15.0 ab	280.83 c	7.32 cd	10.64 abc	23.87 ab	5.31 bc	141 c	278.14 c
Milpa alta	28.5 abc	14.4 ab	300.0 bc	7.62 bcd	9.57 bc	26.28 a	4.84 c	144 c	340.66 ab
C.V.	11.99	12.34	10.76	12.99	12.08	8.87	17.66	4.81	9.61

Los promedios por variable con literal distinta entre cada clase son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). C.V.= Coeficiente de variación.

Color. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades ($P < 0.05$), cabe destacar que hubo mayor diferencia en 3 variedades principalmente en luminosidad (L) en la variedad Milpa alta de entre 12.93 y 23.2% más luminosidad que las demás, y cromaticidad (C) en los cultivares Jade y Pabellón amarillo que presentaron entre 9.91 y 23.3% mayor cromaticidad que los otros. También es interesante que el cultivar Milpa alta, aunque posee la mayor luminosidad (L), por el contrario, mantiene una menor cromaticidad (C); de igual manera la variedad Jade con mayor cromaticidad (C) pero menor ángulo de matiz (H) de todos los materiales evaluados (Cuadro 8).

Estos resultados son inferiores a los reportados por Quevedo-Preciado *et al.* (2005) al evaluar nopales de la variedad Copena F1 con valores iniciales en el ángulo de matiz de 125.6° esto debido a la refrigeración de los cladodios durante una noche, ya que, representaron un color más verde con respecto al ángulo de matiz debido al obscurecimiento ocasionado por la acción del frío que disminuyó las reacciones metabólicas del tejido y al mismo tiempo minimizó la actividad de la PPO (García y Barrett, 2002).

Los resultados del presente estudio se asemejan a los obtenidos por Robles-Ozuna *et al.* (2007) que obtuvieron 40.3 en luminosidad (L) para el cultivar Copena V1, solo comparable con Italiano morado que obtuvo la menor luminosidad en el presente estudio, todas las demás variedades fueron superiores. También se puede deducir que los cladodios tiernos de nopal verdura se consideran vegetales de una coloración verde brillante siendo este una característica con mucha importancia para este producto agrícola (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1998).

Estos resultados muestran que las epidermis de los cladodios tienen coloraciones que van del verde claro al verde con mayor intensidad lumínica, por otra parte, al no existir parámetros estandarizados para esta variable se dice que los cladodios deben tener características como el color, olor y sabor propias de cada variedad en particular (NMX-FF-068-SCFI-2006).

Cuadro 8. luminosidad (L), cromaticidad (Croma) y ángulo de matiz (Hue) de nueve variedades de nopal verdura *Opuntia ficus-indica* cultivados en Tlalnepantla, Morelos.

	L	C	H
Atlixco	42.01 bc	25.17 ab	112.30 a
Copena F1	42.64 bc	26.45 ab	110.63 a
Italiano morado	40.36 d	23.95 ab	113.28 a
Jalpa	42.09 bc	26.46 ab	112.63 a
Copena V1	42.09 bc	24.46 ab	113.28 a
Jade	45.76 b	29.89 a	109.75 a

Pabellón amarillo	44.22 bc	29.57 a	110.28 a
Italiano mejorado	42.97 bc	26.64 ab	111.11 a
Milpa alta	52.55 a	21.09 b	111.01 a
C. V.	5.35	14.7	12.17

Los promedios por variable con literal distinta entre cada clase son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). C.V.= Coeficiente de variación.

7.17. Resultados Bioquímicos

Acidez titulable. Para el parámetro de acidez titulable hubo diferencias significativas entre las variedades ($P < 0,05$), con respecto a la que tuvo el porcentaje mayor que fue Italiano morado con 52.3% de diferencia comparada con el valor más bajo de la variedad Jalpa; en el mismo contexto para el cultivar Atlixco que en este estudio tuvo un porcentaje de 1.01% (Cuadro 9) los resultados son similares a los obtenidos por Maki *et al.* (2015) que reportaron de entre 1.11 y 0.99%; en comparación con Barazate *et al.* (2017), que tuvo resultados de 0.76% y 0.41% en un estudio realizado con nopal de esta especie sin reportar variedad, resultados que se comparan en ese mismo rango en variedades como Jalpa (0.56%), Jade (0.61%) y Pabellón amarillo (0.65); además estos resultados en las variedades Milpa alta, Copena F1 y Copena V1 son diferentes y con mayor contenido de 0.79, 0.77 y 1.07% consecutivamente a los obtenidos por Calvo-Arriaga *et al.* (2010) en estos cultivares y coincidiendo con este mismo autor con mayor acidez titulable los materiales Copena V1 y Milpa alta que la variedad Copena F1.

De igual manera, Robles-Ozuna *et al.* (2007) reportaron resultados inferiores a los de esta investigación en el cultivar Copena V1 de 0.64% siendo comparada únicamente con Pabellón amarillo y Jade. Es muy importante saber que las diferencias en esta variable tienen que ver directamente con la edad del cladodio, el manejo agronómico del cultivo, el área productiva y a la hora en que se efectúa la cosecha (López-Palacios *et al.*, 2010; Meraz-Maldonado *et al.*, 2012),

ya que Acevedo *et al.* (1983) y Corrales *et al.* (2004) mencionan que existen cambios en los niveles de acidez en periodos menores a una hora, esto se debe al metabolismo de las plantas MAC las cuales poseen variaciones de acidez ya que acumulan ácidos orgánicos a lo largo de la tarde y noche por lo que se desintegran de manera rápida por las mañanas.

Clorofila. En el presente estudio (Cuadro 9), existieron diferencias estadísticamente significativas entre variedades evaluadas ($P > 0,05$), para la clorofila (a) la variedad Pabellón amarillo obtuvo 9.29 mg100 g⁻¹, con 53.1% de diferencia en comparación con la variedad Italiano mejorado del valor más bajo, que es más del doble; con respecto a la clorofila (b) las variedades Pabellón amarillo y Copena V1 tuvieron la mayor concentración de este pigmento y todas las demás se encontraron en un rango de 1.35 mg100 g⁻¹ con respecto al cultivar con mayor concentración.

En lo referente al total de las clorofilas la variedad Pabellón amarillo presentó los niveles más altos con 9.5 y 50.3% de diferencia entre la variedad con la segunda posición (Atlixco) y la última (Italiano mejorado); por otro lado, en comparación para la variedad Atlixco de la clorofila (a) de 5.8 y 6.27 mg 100 g⁻¹ obtenidos por Maki *et al.* (2015), resultados que fueron inferiores a los obtenidos en este estudio de una diferencia de 3.09 y 2.62 mg 100 g⁻¹, igual al resultado del cultivar Milpa alta, pero superiores a las variedades Jade e Italiano mejorado; en consecuencia para la clorofila (b) los autores antes mencionada obtuvieron 3.03 y 2.71 mg 100 g⁻¹ en el cultivar Atlixco resultados similares ya que en el presente estudio se obtuvo 2.64 mg 100 g⁻¹; para el total de clorofila, en nuestro trabajo se obtuvieron niveles superiores a 26.4 y 22.4% mayores a los resultados de Maki *et al.* (2015) para el material Atlixco de 8.50 y 8.96 mg 100 g⁻¹, resultados comparables solo al de Milpa alta con 8.70 mg 100 g⁻¹ en este estudio.

El contenido variante pigmentario de clorofilas a y b influyen en la actividad fotosintética y al desarrollo de los vegetales. La clorofila b es sintetizada por la clorofila a, tiene como función principal capturar la energía lumínica y transportarla

a la clorofila a; por esta razón Biswal *et al.* (2012) mencionó que cuando la clorofila b se acumula en las plantas se vuelven sensibles a la radiación, ya que se encuentran expuestas a la intensidad de luz, por eso es que el exceso de clorofila b debe estar regulado en las plantas. Es así que el crecimiento y disminución de la tasa porcentual de clorofilas a y b repercuten en varios procesos fisiológicos de las plantas que pueden ponerla en riesgo.

Este trabajo también coincide con el realizado por Maki *et al.* (2015) en donde encontraron que el contenido de la clorofila a en el cultivar Atlixco es más del doble que la clorofila b, una relación que es común para otras especies estudiadas constatada para nopal por Guevara *et al.* (2001) y difiere de igual manera con Meraz-Maldonado *et al.* (2012), quienes encontraron un mayor contenido pigmentario de clorofila b que de clorofila a en nopales con 5 a 21 cm de longitud, y que propusieron que la acumulación de ambos pigmentos incrementa con el tamaño del nopal, por lo que Maki *et al.* (2015) encontraron que la concentración de estos pigmentos puede ser consecuencia de los factores ambientales en el transcurso del crecimiento contrastado con la edad.

Carotenoides. Se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) puesto que existió un rango de 45.9% de diferencia entre el resultado más alto obtenido por la variedad Atlixco y el de menor contenido que corresponde al cultivar Italiano mejorado, y una diferencia de 12.5% entre la variedad Atlixco y Pabellón amarillo que se situó en la segunda posición (Cuadro 9). Ya que algunas normas oficiales señalan que el nopal para verdura debe presentar las características propias de la variedad tales como color, olor y sabor (NMX-FF-068-SCFI-2006) y forma propia de la especie (Codex Stan 185-1993, Codex Alimentarius, 2007).

Esta es una característica de importancia por su actividad antioxidante (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003), además la diversidad de los carotenoides en los cladodios se caracteriza en su composición ya que están formados por β -caroteno (36 %), luteína (46 %) y criptocianina (18 %) y Según Rodríguez-Félix y Cantwell,

(1988), estos pigmentos son promotores de la vitamina A (especialmente el β -caroteno).

Al respecto con el contenido de estos pigmentos, en la composición química no solo se encuentran fenoles y vitamina C, si no también carotenoides, el conjunto de estos compuestos poseen propiedades nutraceuticas debido a su actividad antioxidante, la cual promueve beneficios a la salud, previene y funciona como tratamiento de algunas enfermedades (Kaur *et al.*, 2012; Majure *et al.*, 2012; Bensadón *et al.*, 2010; Hernández-Cruz y Paredes-López, 2010; Scheinvar *et al.*, 2009).

Solidos solubles totales (SST). Hubo diferencias entre variedades ($P>0,05$), los resultados muestran una diferencia de 30.3% entre el cultivar con el mayor contenido de grados brix el cultivar Copena F1 y la variedad Pabellón amarillo la cual tuvo el menor valor de SST y solo una diferencia de 3% con la que obtuvo la segunda posición en esta investigación, la variedad Atlixco (Cuadro 9). Los estudios realizados por Bazarate *et al.* (2017) que obtuvieron 5.59, 5.09 y 4.98 °Bx en cladodios de *Opuntia ficus-indica* (los autores no reportaron el nombre de la variedad) de diferentes edades, en comparación con este trabajo se encontraron a 7 variedades que entran en ese rango: Jalpa, Copena V1, Italiano morado, Jade, Milpa alta, Italiano mejorado y Pabellón amarillo, solo superado por Copena F1 y Atlixco. Se puede inferir que el estado de madurez de un cladodio se ve influenciado por su longitud y edad (NMX, 2006), ya que el contenido de solidos solubles totales aumenta con la madurez, esto es constatado con los datos obtenidos en los estudios de Flores *et al.* (2012), con 2.24 °Bx y 19.77 cm, y Ozuna *et al.* (2007), con 1.6 °Bx y 15 cm, quienes evidenciaron la relación entre estas características, haciendo las mismas comparaciones de longitud-solidos solubles totales en esta investigación y solo coincidiendo en dos variedades que cumplen esta cualidad que fueron Copena F1 y Pabellón amarillo, los demás materiales no cumplieron con esta regla, esto pudiera deberse a la diversidad de variedades que fueron evaluadas.

Cuadro 9. Características bioquímicas de diferentes variedades de nopal verdura producidos en Tlalnepantla Morelos

	Acidez titulable (%)	Clorofila (a) (mg 100 g ⁻¹)	Clorofila (b) (mg 100 g ⁻¹)	Clorofila total (mg 100 g ⁻¹)	Carotenoides (mg 100 g ⁻¹)	Sólidos solubles totales (Brix)
Atlixco	1.01 abc	8.89 ab	2.64 ab	11.54 ab	0.24 a	5.68 ab
Copena F1	0.77 bcd	6.87 bcd	2.62 ab	9.50 abcd	0.19 abcd	5.85 a
Italiano Morado	1.17 a	7.56 abcd	2.30 ab	9.86 abc	0.17 bcd	5.31 ab
Jalpa	0.56 d	8.45 ab	3.08 ab	11.53 ab	0.20 abc	5.58 ab
Copena V1	1.07 ab	7.88 abc	3.33 a	11.21 ab	0.20 abc	5.38 ab
Jade	0.61 d	5.52 de	2.02 b	7.54 cd	0.14 cd	5.20 bc
Pabellón amarillo	0.65 cd	9.29 a	3.46 a	12.75 a	0.21 ab	4.08 d
Italiano mejorado	1.05 ab	4.36 e	1.98 b	6.34 d	0.14 bcd	4.51 d
Milpa alta	0.79 bcd	6.02 ecd	2.67 ab	8.70 bcd	0.13 d	4.65 cd
C.V.	22.49	17.08	24.71	17.65	19.05	6.46

Los promedios por variable con literal distinta entre cada clase son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). C.V.= Coeficiente de variación.

7.18. Incidencia de Plagas y Enfermedades

7.18.1. Incidencia e infestación de la cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) en variedades de nopal verdura cultivadas en Tlalnepantla, Morelos.

Cabe mencionar que las evaluaciones reales se dieron después del mes de noviembre del 2019 por efecto de la aclimatación y desarrollo de los cladodios ya que fueron sembrados en septiembre del 2018 causa por la cual en los meses de marzo a noviembre del 2019 existen diferencias notables pues los cladodios eran relativamente jóvenes y se encontraban en procesos fisiológicos en el primer y segundo brotes ya que el estado fisiológico aunado con la edad y la nutrición de la penca son factores que pueden influenciar en el desarrollo del insecto (Campos-Figueroa y Llanderal-Cázares, 2003).

En cuanto al porcentaje de incidencia e infestación de los materiales evaluados en la parcela experimental se observó incidencia en todas las plantas en sus tres secciones, pero que al mismo tiempo existieron diferencias entre los cultivares, las poblaciones de los insectos fueron aumentando considerablemente en la estación seca (estiaje) ya que como lo afirman Méndez, (2001) y Aldama-Aguilera *et al.* (2005) quienes encontraron que a mayor temperatura el ciclo biológico es mucho más corto y contrariamente a temperaturas bajas el ciclo se alarga, razón por la que se presentó y se observó un crecimiento poblacional en el mes de febrero en adelante y se suprimió en el mes de junio por efecto de las lluvias y el frío en la zona, teniendo su punto más bajo en noviembre y comenzando a aumentar nuevamente en el mes de diciembre en todos los niveles de la planta.

Como se aprecia en la Figura 4, en la planta madre, en los meses de octubre y noviembre del 2019 los niveles de infestación más bajos se presentaron en las variedades Cero espinas, Atlixco y Copena F1 esto con relación al tiempo de la estación seca que comprendieron los meses de marzo a principios de junio; por otra parte, los cultivares Jalpa e Italiano morado presentaron niveles de infestación más altos de un 63.3 y 66.7% en el mes de abril del 2020. Es

importante reconocer a las variedades Copena V1 y Atlixco ya que en los meses de marzo y abril del 2020 obtuvieron resultados de 52.1 y 53.3% de infestación. En este nivel de la planta hubo una heterogeneidad amplia entre variedades a través del tiempo.

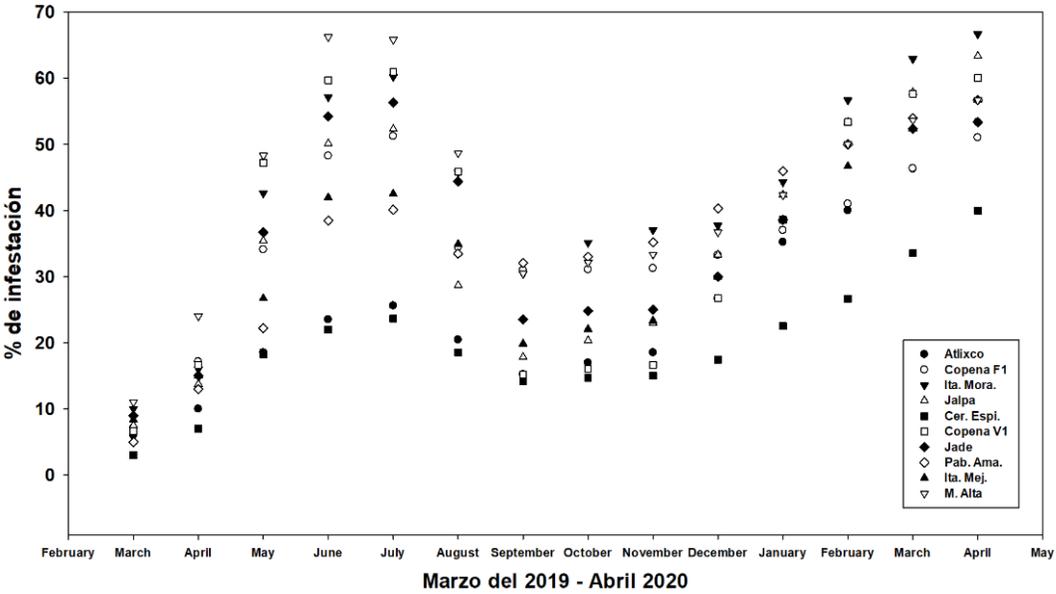


Figura 4. Porcentaje de severidad de cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) en cladodios planta madre de diferentes variedades.

En la Figura 5, se puede observar en cladodios del primer brote después del mes de noviembre del 2019 la severidad incrementó rápidamente en todos los materiales vegetales, y que existió una fluctuación de entre 11% del cultivar Atlixco y 32% las variedades Italiano morado y Milpa alta a partir del cese de precipitación

pluvial y con el aumento de calor a partir del mes de enero; también se observó que las variedades Copena F1, Copena V1 y Cero espinas presentaron una infestación con mayor estabilidad en el crecimiento de infestación porcentual en el transcurso de los meses de noviembre del 2019 a abril del 2020, además tuvieron los niveles porcentuales más bajos en la última evaluación de 51.3, 56.2 y 47.2%; todas las demás variedades tuvieron una infestación entre 57.4 y 64% con relación al mes de abril de 2020. La mayor heterogeneidad en función del tiempo fue para las variedades Jalpa, Jade, Italiano mejorado, Milpa alta y Atlixco.

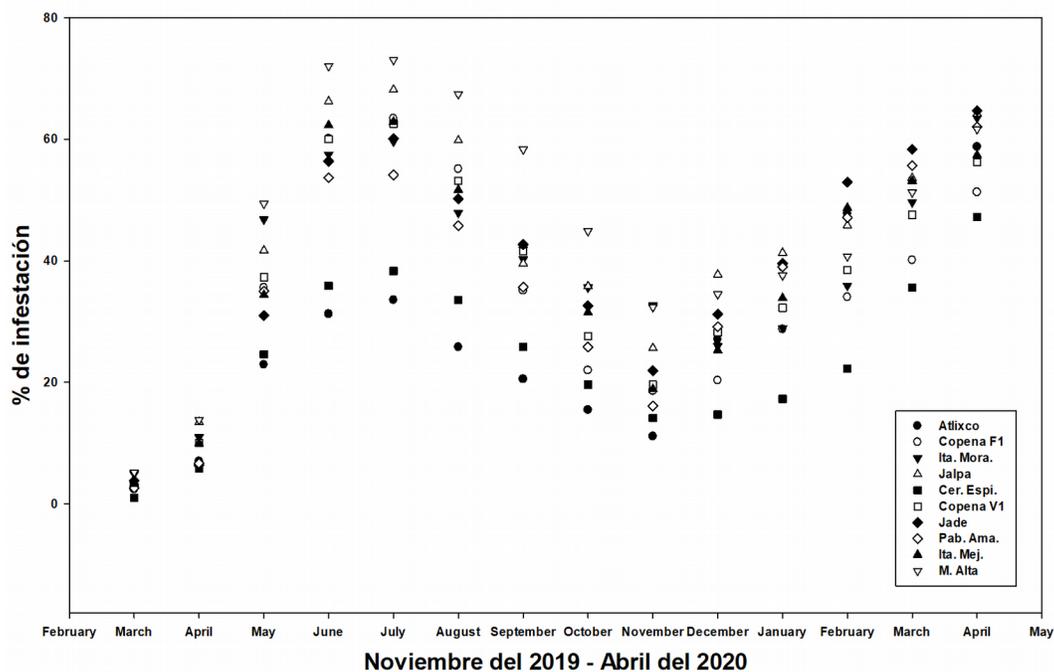


Figura 5. Porcentaje de severidad de cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) en cladodios de diferentes variedades del primer brote.

En cladodios del segundo brote (Figura 6), se observó que todas las variedades comenzaron en un rango de entre 5 y 20% de infestación en

noviembre del 2019, posteriormente al transcurso del tiempo y en la evaluación de abril del 2020 las variedades Cero espinas y Copena F1 tuvieron los niveles de infestación más bajos de 39.5 y 46.9% consecutivamente, aunque las variedades Copena V1, Atlixco e Italiano morado obtuvieron un grado de infestación entre 53 y 55%.

Para las evaluaciones de noviembre de 2020 a abril de 2021 los resultados fueron muy similares en este nivel para este año la incidencia inicial osciló entre 5.21 y 15.66%. En cuanto a la última evaluación del mes de abril la severidad mínima fue de igual manera para el cultivar Cero espinas con 41.2%, cabe resaltar que la variedad Copena F1 tuvo 48% como grado máximo, en contraste los cultivares Milpa alta (66%), Italiano mejorado (64.3%) y Jalpa (64.2%), obtuvieron la infestación porcentual más alta.

Cabe mencionar que las variedades: Jade, Jalpa, Milpa alta, Pabellón amarillo e Italiano mejorado presentaron grados de infestación porcentual de manera heterogénea con respecto al tiempo contrariamente a Atlixco, Italiano morado, Copena F1, Copena V1 y Cero espinas tuvieron un progreso de infestación porcentual con mayor homogeneidad.

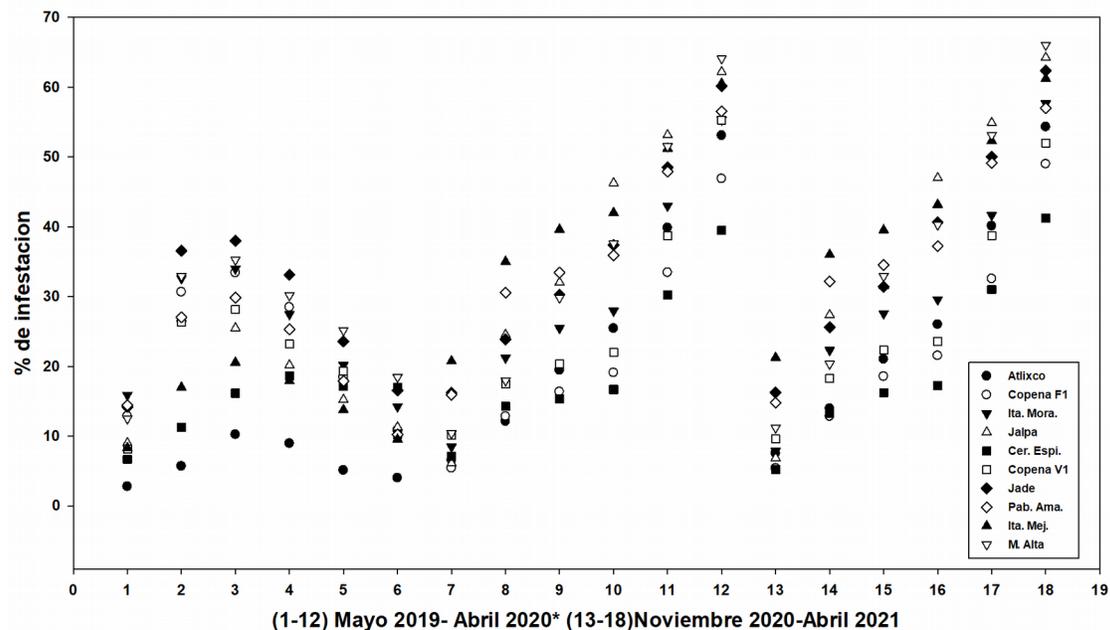


Figura 6. Porcentaje de severidad de cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) en cladodios de diferentes variedades del tercer brote o nivel

Al respecto de nuestros resultados, Ramírez-Cruz *et al.* (2008), mencionaron que existen diferencias significativas entre variedades del género *Opuntia ficus-indica* referente a la fecundidad total y fecundidad diaria de *Dactylopius spp.*, pero no en el tiempo que dura el periodo reproductivo. Méndez-Gallegos *et al.* (2010), mencionaron que existen diferencias significativas en sobrevivencia desde la infestación hasta el proceso de muda al estado adulto de insectos de *Dactylopius opuntiae* a diferentes cultivares del género *opuntia ficus-indica* en condiciones controladas.

También se reconoce que al estudiar variedades del género *Opuntia ficus indica* cabe la posibilidad de que existan mecanismos de resistencia en cladodios para *Dactylopius spp.*, dado que hay hospederos en donde las tasas de mortalidad son elevadas y poca o nula descendencia (Méndez-Gallegos *et al.*, 2010), algunos mecanismos podrían estar ligado a la presencia de compuestos secundarios, composición hídrica, nutricional, grosor de la cutícula y presencia de oxalatos de calcio. Para el presente estudio el efecto de resistencia podría considerarse la característica esencial en el cultivar Copena F1 ya que presentó un punto de resistencia mayor que los demás cultivares en los cladodios para producción. Vasconcelos, (2009) asegura que es importante la selección de cultivares y sus clones que presenten relevancias agronómicas y de resistencia a grana cochinilla.

El presente estudio muestra los porcentajes de infestación en 10 cultivares que se presentaron en toda la estructura de las plantas, relacionando a tres niveles con las que comúnmente trabajan los agricultores del cultivo de nopal verdura, con la finalidad de valorar el ataque de la plaga conocida como cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*), además proporcionará un apoyo en la selección del material vegetal para establecimiento, selección de productos y reducir el número de aplicaciones químicas .

7.18.2. Porcentaje de daño de picudo del nopal (*Cactophagus spinolae*) en diferentes variedades de nopal verdura cultivadas en Tlalnepantla Morelos.

En la temporada de lluvias existió un incremento de humedad relativa que reblandeció el pupario esto facilitó la emergencia del adulto (Rangel-Estrada *et al.*, 2013), por esta razón el daño se presentó en el huerto en el mes de mayo y cesó en octubre.

En el Cuadro 10, se aprecia que los cultivares Copena V1 y Pabellon amarillo no tuvieron incidencia alguna en la planta madre, por otro lado, la variedad con el porcentaje mayor fue Cero espinas con 30%, se observó que los demás cultivares tuvieron entre 10 y 20%. También se apreció que en el primer brote las variedades Atlixco, Copena F1 y Cero espinas alcanzaron un 5% siendo los menores resultados de daño en esta parte de la estructura de la planta; es importante señalar que Italiano morado y Copena V1 tuvieron menos de un 10%, contrariamente Italiano mejorado, Jade, Milpa alta y Pabellón amarillo que tuvieron 12.5, 12.5, 16 y 17.5% de porcentajes más altos en este trabajo de investigación; se observó que en esta sección se presentaron los porcentajes de mayor daño en los nopales, estos resultados demuestran que las larvas no necesariamente se mueven de los cladodios más jóvenes a los más longevos como lo mencionado por (Cerón- González *et al.*, 2012; Tafoya *et al.*, 2007).

En las evaluaciones en el segundo brote los porcentajes menores fueron para Copena V1, Copena F1, Jade y Atlixco con menos del 5.5% de daño en estos cladodios, los porcentajes más altos fueron para Pabellón amarillo e Italiano morado con 8.8 y 9% respectivamente; en esta sección se presentaron los porcentajes menores considerando el daño por el número de cladodios totales (Cuadro 10).

Cuadro 10. Número y porcentaje de perforaciones de (*Cactophagus spinolae*) con respecto a cladodios sanos en sus tres niveles en plantas comerciales de 10 cultivares de nopal verdura *Opuntia ficus-indica* en Tlalnepantla Morelos.

Variedad	Planta	Número	Total 1	Número	Total,	Planta	primer	segundo
----------	--------	--------	---------	--------	--------	--------	--------	---------

	madre	primer brote	primer brote	segundo brote	segundo brote	madre (%)	brote (%)	brote (%)
Atlixco	2	2	40	2	70	20	5	2.8
Copena F1	2	3	60	7	140	20	5	5
Italiano morado	1	4	40	9	100	10	10	9
Jalpa	1	10	40	7	90	10	25	7.7
Cero espinas	3	2	40	0	50	30	5	0
Copena V1	0	3	40	5	90	0	7.5	5.5
Jade	1	5	40	3	90	10	12.5	3.3
Pabellón Amarillo	0	7	40	8	90	0	17.5	8.8
Italiano mejorado	2	5	40	5	60	20	12.5	8.3
Milpa Alta	2	8	50	6	100	20	16	6

Cerón-González *et al.* (2012); Tafoya *et al.* (2007), mencionaron que los daños pudieron ser visibles por efecto de la alimentación de *Cactophagus spinolae* en los bordes de los cladodios jóvenes, provocando deformación y mala apariencia, por lo que estos no pueden ser comercializados, ya que estos insectos se alimentan de los nopalitos en los que ocasionan un daño directo.

En el Cuadro 11, se puede observar que los resultados muestran menor daño a las variedades Italiano mejorado, Copena F1, Cero espinas, Jalpa, Jade y Atlixco entre 23.5 y 40% en nopalitos en el periodo con mayor incidencia julio-agosto del 2020, en contraste, los nopalitos de las variedades Italiano morado, Pabellón amarillo, Copena V1 y Milpa alta, tuvieron una incidencia porcentual de entre 40.6 y 53.2%. Es importante la observación del número de nopalitos sanos contrastada con el número de nopalitos dañados pues esto da una idea real del verdadero daño ocasionado en cada variedad por estos insectos, pues el total de nopalitos varían de 3 hasta 65 unidades dependiendo el cultivar.

Cuadro 11. Número y porcentaje de nopales a comercializar afectados por picudo del nopal verdura (*Cactophagus spinolae*) de 10 cultivares de nopal verdura *Opuntia ficus-indica* en Tlalnepantla Morelos.

Variedad	Número de cladodios afectados	Numero de cladodios sanos	Total, del número de cladodios	% de cladodios afectados
Atlixco	7	11	18	38.9
Copena F1	20	41	61	32.8
Italiano morado	13	19	32	40.6
Jalpa	20	37	57	35.1
Cero espinas	1	2	3	33.1
Copena V1	8	9	17	47.1
Jade	17	29	46	37
Pabellón Amarillo	30	35	65	46.2
Italiano mejorado	4	13	17	23.5
Milpa Alta	33	29	62	53.2

Se observó que las larvas causaron mayor daño interno conforme se alimentaban de los tejidos de los nopales que es una cualidad característica de *Cactophagus spinolea*; por otra parte, los adultos prefirieron alimentarse de nopalitos jóvenes o tiernos en donde causan un daño visible (Mena-Covarrubias, 2013).

En cuanto a la relación que pudieran tener las variedades respecto al grado porcentual del primer y segundo brotes contrastado con los nopalitos dañados en estado de cosecha, se observó que las variedades Milpa alta, Pabellón amarillo, Jade, Cero espinas, Italiano morado y Copena F1 tienen una relación marcada. No obstante, los cultivares Italiano mejorado, Copena V1, Jalpa y Atlixco no parecieron tener una relación, probablemente por la dispersión de insectos, su movilidad y preferencia de nopalitos tiernos según las variedades.

7.18.3. Incidencia de daño de larvas de lepidópteros en diferentes variedades de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*)

En el Cuadro 12, se aprecia que la incidencia del daño por lepidópteros que se presentó en todas las variedades la cual tuvo lugar inicialmente en mayo del 2019 y terminó en octubre del mismo año, apareciendo en el mes de abril del siguiente año; además, existió un menor grado en la variedad Cero espinas, esto ocurrió con claridad debido al muy reducido o nulo número de cladodios para cosecha producidos por este cultivar.

También se observó que una menor incidencia se presentó en las variedades Atlixco, Copena F1, Copena V1, Jade e Italiano mejorado que fue de 10 a 30% en estos materiales; no obstante, los cultivares Milpa alta, Pabellón amarillo, Jalpa, e Italiano morado tuvieron resultados entre 30 y 60%.

Cuadro 12. porcentaje de incidencia de larvas de palomilla (*Piralidae*) en diferentes variedades de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en Tlalnepantla, Morelos

	Atlixco	Copena F1	Italiano morado	Jalpa	Cero espinas	Copena V1	Jade	Pabellón amarillo	Ita. Mej.	M. Alta
07/03/2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/04/2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/05/2019	0	0	10	20	0	10	10	10	10	0
07/06/2019	10	10	20	30	10	10	20	10	20	10
07/07/2019	20	20	30	50	10	30	30	40	30	50
07/08/2019	30	30	30	40	10	30	20	30	10	40
07/09/2019	10	20	20	30	20	20	10	20	10	30
07/10/2019	10	10	10	10	0	0	0	0	0	10
07/11/2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/12/2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/01/2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/02/2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/03/2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/04/2020	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10

07/05/2020	20	20	10	20	10	10	10	10	10	20
07/06/2020	30	30	30	40	10	20	20	30	20	50
07/07/2020	30	30	40	50	20	30	30	40	30	60
07/08/2020	20	20	30	30	10	20	10	30	10	40
07/09/2020	10	10	20	10	0	10	0	20	10	30
07/10/2020	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10

Se aprecia que la mayor incidencia de estos insectos se presentó en los meses de mayor precipitación pluvial dando los picos más altos en los meses de julio y agosto del 2019 y 2020.

7.18.4. Incidencia de mancha negra del nopal

Los resultados de incidencia y severidad de la mancha negra del nopal no fueron relevantes, ya que solo en dos variedades se presentó la enfermedad, además, el porcentaje de severidad fue de menos de 1%; solo en las variedades Copena V1 se presentaron tres cladodios, así como en Milpa alta cuatro cladodios todos referidos a la clase 2 según la escala diagramática de (Quezada-Salinas *et al.* 2007). Para el cultivar Milpa alta se presentaron en los meses de noviembre y diciembre del 2019, mientras que para Copena V1 en julio y agosto del 2020, meses donde predominó una alta humedad relativa.

Se puede decir que la mancha negra del nopal es una enfermedad que requiere de un tiempo mucho mayor de observaciones continuas ya que la capacidad de dispersión es lenta sobre todo por la humedad ambiental, y se favorece por heridas causadas por insectos, roedores, aves y por daños mecánico que son ocasionados por el hombre en el manejo del cultivo. Es posible que la presencia de la enfermedad fue suprimida por la diversidad genética que existió en el huerto experimental (Méndez-Gallegos *et al.*, 2009).

7.19. Datos climatológicos en el sitio de evaluación

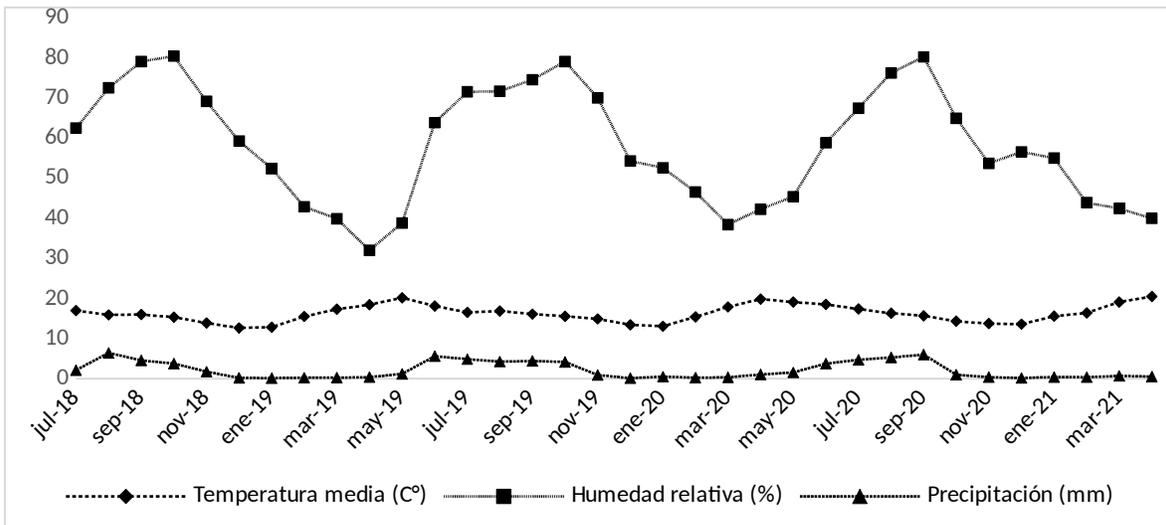


Figura 7. Datos climatológicos comprendidos en el periodo del presente estudio

Con respecto a la temperatura hubo un aumento principalmente en los meses de abril y mayo en los tres años de forma consecutiva de entre 18 y 20 C° disminuyendo en junio, también se observó que en el mes de mayo del 2019 se presentó la temperatura más alta de 20 C° en la realización de la presente investigación. Por otra parte, la humedad relativa se presentó con el porcentaje más alto de 80% en los meses de septiembre y octubre de 2018 y 2019, mermando en el año 2020 donde alcanzó su máximo nivel en el mes de septiembre. En cuanto a la precipitación en el año 2018 los meses de junio y agosto fueron los más lluviosos con 6 mm diarios disminuyendo en julio con solo 2 mm; para el año 2019 junio, julio, agosto y septiembre fue donde se presentó una mayor precipitación pluvial de entre 4 y 6 mm diarios en promedio; y en 2020 los meses de julio, agosto y septiembre hubo mayor precipitación siendo este último el de mayor presencia de lluvia con 6 mm diarios.

7.20. Conclusiones

Se concluye que además de la variedad Milpa alta, existen otras variedades alternativas para el establecimiento de cultivos de nopal verdura con buenas características físicas, bioquímicas y productivas; materiales que poseen buena adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas de los altos de Morelos. Además, con un grado considerable de tolerancia a plagas y enfermedades con lo cual se puede reducir el número de aplicaciones con productos químicos minimizando su impacto negativo.

7.21. Recomendación

Se recomienda establecer o rotar cultivos con las variedades Copena F1, Copena V1, Italiano morado y Jade por sus características de calidad, rendimiento y tolerancia a fitopatógenos obtenidas en pruebas de campo y en laboratorio.

7.22. Literatura citada

- Acevedo, E., Badilla, I. y Nobel, P.S. 1983. Water relations, diurnal acidity changes and productivity of a cultivated cactus, *O. ficus-indica*. *Plant Physiol* 72: 775-780.
- Andrade, A.P., E.D. Souza, D.S. Silva, I.F. Silva, y Lima, J.R. 2006. Produção animal no bioma caatinga: paradigmas dos pulsos-reserva. (En portugués) *Rev. Bras. de Zootec.* 35:138-155.

- Alvarado-Raya, H.E., Salinas-Callejas, E. y Ortiz-Huerta, G. 2016. Peso fresco y calidad de nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilizado con composta de estiércol de vaca. *Tecnociencia Chihuahua*, Vol. X, Núm. 1. P. 13-22.
- Aldama-Aguilera, C., Llanderal-Cázares, C., Soto-Hernández, M. y Castillo-Márquez, L.E. 2005. Producción de grana cochinilla (*Dactylopius coccus* costa) en plantas de nopal a la intemperie y en microtúneles. *Agrociencia* 39: 161-171.
- AOAC (Official Method of Analysis). 1990. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C. 1141 p.
- Barazarte, H., Terán, Y., D'Aubeterre, R., Pérez, L., Garmendia, C., Moreno, I., Rodríguez, E., Pacheco, D., Colmenares, C. y Sánchez-Urdaneta, A. B. 2017. Características físicas y químicas de cladodios de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *Rev. Fac. Agron.* 34: 175-186.
- Bensadón, S., Hervert-Hernández, D., Sáyago-Ayerdi, S. G. y Goñi, I. 2010. By-products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fiber. *Plant Food for Human Nutrition* 65(3): 210-216.
- Bolin, H.R. y Huxsoll, C.C. (1989) Storage stability of minimally processed fruit. *J. Food Proc. Preserv.* 13:281-292.
- Biswal, A.K., Pattanayak, G.K., Pandey, S.S., Leelavathi, S., Reddy, V.S., Govindjee, y Tripathy, B. C. 2012. Light intensitydependent modulation of chlorophyll b biosynthesis and photosynthesis by overexpression of chlorophyllide a oxygenase in tobacco. *Plant Physiol.* 159: 433-449
- Barazarte, H., Terán, I.D., Aubeterre, R., Pérez, L., Garmendia, C., Moreno, I., Rodríguez, E., Pacheco, D., Colmenares, C. y Sánchez, U.A.B. 2017. Características físicas y químicas de cladodios de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *Rev. Fac. Agron.* 34: 175-186.

- Blanco-Macías, F. y Valdez-Cepeda, R.D. 2008. Taller de producción y aprovechamiento del nopal en el noreste de México. Establecimiento y Manejo del Nopalito para Verdura. 18 p.
- Blanco-Macías, F., Valdez-Cepeda, R.D., Vázquez-Alvarado, R.E. y Almaguer-Sierra, P. 2008. Establecimiento y manejo de nopalito para verdura. en vii simposium-taller “producción y aprovechamiento del nopal en el noreste de México”. RESPYN. Edición Especial. 2: 1-17.
- Camino-Sánchez, F.J., Zafra-Gómez, A., Oliver-Rodríguez, B., Ballesteros, O., Navalón, A., Crovetto, G. y Vílchez, J.L. 2011. Accredited method for the determination of 121 pesticide residues in fruits and vegetables by gas chromatography- tandem mass spectrometry. J. Food Compos. Anal. 24: 427-440.
- Campos-Figueroa, M., y Llanderal-Cázares, C. 2003. Producción de grana-cochinilla *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) en invernadero. Agrociencia 37(2):149- 155.
- Callejas-Juárez, N., Matus-Gardea, J.A., García-Salazar, J.A., Martínez-Damián, M.A. y Salas-González, J.M. 2006. Situación actual y perspectivas de mercado para la tuna, el nopalito y derivados en el estado de México. Agrociencia 43(1): 73-82.
- Cerón-González, C., Rodríguez-Leyva E., Lomeli-Flores J.R., HernándezOlmos C.E., Peña-Martínez R. y Gustavo Mora-Aguilera. 2012. Evaluación de insecticidas sintéticos sobre adultos de *Metamasius spinolae* (Coleoptera: Curculionidae) procedentes de Tlalnepantla, Morelos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3: 217-229.
- Codex Alimentarius. 2007. Codex Stan 185-1993, Fresh fruits and vegetables. World health organization. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 195 p.

- Corrales-García, J. y Flores-Valdez, C.A. 2003. Nopalitos y tunas, producción, comercialización, postcosecha e industrialización. CIESTAAM-Programa Nopal. Universidad Autónoma Chapingo. 238 p.
- Corrales-García, J., Peña-Valdivia, C.B., Razo-Martínez, Y. y Sánchez-Hernández, M. 2004. Acidity modification associated to hour of the day of cut and elapsed time since harvest, and pH-buffer capacity in nopalitos (*Opuntia* spp.). *Postharvest Biol. Tec.* 32: 169-174.
- Díaz-Franco, A., Maya-Hernández, V., Álvarez-Ojeda, M.G. y De la Garza-Caballero, M. 2014. Tecnología para la producción intensiva de nopal para verdura en Tamaulipas. Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental Río Bravo Río Bravo, Tamaulipas, México, Folleto para productores. 29 p.
- Diagnostico Municipal 2017. Aspectos Económicos. (Unidades Económicas). [Consultado en el mes de abril del 2021] Disponible en: https://www.hacienda.morelos.gob.mx/images/docu_planeacion/planea_estrategica/diagnosticos_municipales/2017-2/TLALNEPANTLA2017.pdf
- Fernández-Pavía, Y.L., García-Cué, J.L., López-Jiménez, A. y Mora- Aguilera, A. 2015. Inducción de deficiencias nutrimentales en nopal verdura *Opuntia ficus indica* (L.). *Rev. Mex. Cienc. Agríc* vol.6 no.6 Texcoco.
- Ferreira, C.A., Ferreira, R.L. C., Santos, D.C., Santos, M.V.F., Silva, J.A.A., Lira, M.A. y Molica, S.G. 2003. Utilização de técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética entre clones de palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill). *Rev. Bras. Zootec.* 32(6):1560-1568.
- Fenik, J., Tankiewicz, M. y Biziuk, M. (2011). Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. *Trends Anal. Chem.* 30: 814-826.

- Flores, L.M., Pérez, L.V., Melgarejo, L.M. y Hernández, S. 2012. Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia. Edit. Produmedios. 123 p.
- Flores, G., Rodas, H., Rodríguez, H., Vidales, J., Sánchez, E., y Aranda, J. 2012. Producción de biomasa seca y parámetros sensoriales de nopal verdura cultivado en forma hidropónica. Revista de la Facultad de Salud Pública y Nutrición (RESPYN) 175-190.
- Flores, B.S. 2013. Fertilización y frecuencia de riego en la producción de nopal Verdura (*Opuntia ficus-indica* L.) en túnel de plástico. Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad, Fruticultura. Montecillo, Texcoco, Edo. de México (MSc thesis). 66 p.
- García, E. y Barrett, D.M. 2002. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. In: Fresh-cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market. O Lamikanra (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida P. 267-303.
- Gallegos-Vázquez, C., Blanco-Macías, F. y Noriega-Altamirano, G.C. 1994. Establecimiento de una colección de nopal (*Opuntia* spp) en el CRUCEN, Zacatecas, México. Revista de Geografía Agrícola (México) P. 137-141.
- Gallegos-Vázquez C., Valdez-Cepeda, R.D., Barrón-Macías, M., Barrientos-Priego, A.F., Andrés-Agustín J. y Nieto-Ángel, R. 2006. Caracterización morfológica de 40 cultivares de nopal de uso como hortaliza del banco de germoplasma del Crucen-uach. Revista Chapingo Serie Horticultura, vol. 12, núm. 1, pp. 41-49.
- González, A. y de Maio, P. 2018. Image J: Una herramienta indispensable para medir el mundo biológico. Libro: Folium: Relatos botánicos Numero 1. Editores: Sociedad argentina botánica.15 p.
- Guevara, J.C., Yahia, E.M. y Brito de la Fuente, E. 2001. Modified atmosphere packaging of prickly pear cactus stems (*Opuntia* spp.) Lebensm. Wiss. Technol. 34: 445-451.

- Hernández-Cárdenas, R.A., Cerros-Tlatilpa, R. y Flores-Morales, A. 2014. Las plantas vasculares y vegetación de la barranca tepecapa en el municipio de Tlayacapan, Morelos, México. México. Acta Botánica Mexicana 108:11-38.
- Hernández-Cruz, A. y Paredes-López, O. 2010. Enhancement of economical value of nopal and its fruits through biotechnology. Journal of the Professional Association for Cactus Development 12: 110-116.
- Huang, M., Kennedy, J.F., Li, B., Xu, X. y Xie. B. 2007. Characters of Rice Starch Gel Modified by Gellan, Carrageenan, and Glucomannan: A Texture Profile Analysis Study. Carbohydrate Polymers 69(3), 411-418.
- INEGI. 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (Climatología)
[Consultado en abril del 2021] Disponible en:
<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/>
- Inglese, P., Mondragon-Jacobo, C., Nefzaoui, A. y Sáenz, C. 2018. Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. Producción: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas Roma. 248 p.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2017. Caracterización del SIAL (Sistema Agroalimentario Localizado) nopal verdura y fruta en el estado de Hidalgo, México. 144 p.
- Inskeep, W. y Bloom, P.R. 1985. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N,N-Dimethylformamide and 80% acetone. Plant Physiol. 77(2):483-5.
- Jaramillo-Flores, M.E., González-Cruz, L., Cornejo-Mazón, M., Dorantes-Álvarez, L., Gutiérrez-López, G.F. y Hernández-Sánchez, H. 2003. Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus indica*). Food Sci. Technol. 9: 271-278.

- Jarquín-Gálvez, R., Cortes-Berrios, H.C., Lara-Ávila, J.P. y Quintero-Castellanos, M.F. 2019. Abonos orgánicos para el cultivo de nopal verdura en condiciones semidesérticas de San Luis potosí. Libro de la Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible (Capítulo 6). P. 61-69.
- Kaur, M., Kaur, A. y Sharma, R. 2012. Pharmacological actions of *Opuntia ficus-indica*: A Review. Journal of Applied Pharmaceutical Science. 02(07): 15-18.
- López-Acosta, A., Nuño-Romero, R. y Torres-Morán, M.Y. 2008. Prueba de significancia de tres métodos para calcular el área de cladodios en plantas de nopal para verdura. Avances en la investigación científica en el CUCBA. ISBN 978-607-00-2083-4. P. 49-53.
- López-Collado, C.J., Malpica-Vázquez, A., López-Collado, J., Garcí- Pérez, E. y Sol-Sánchez, A. 3013. Crecimiento de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en la zona central de Veracruz. Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 5. P. 1005-1014.
- López-Palacios, C., Peña-Valdivia, C.B., Reyes-Agüero, J.A. y Rodríguez-Hernández, A.I. 2012. Effects of domestication on structural polysaccharides and dietary fiber in nopálicos (*Opuntia* spp.). Gen. Res. Crop Evol. 59: 1015-1026.
- Luna, G.I. y Barrett, D.M. 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. Postharvest Biol. Technol. 19:61- 72.
- Majure, L., Puente, R., Patrick-Griffith, M., Judd, S., Soltis, M., y Soltis, D. 2012. Phylogeny of *Opuntia* s.s. (Cactaceae): clade delineation, geographic origins, and reticulate evolution. American Journal of Botany. 99(5): 847-864.
- Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C.B., García-Nava, R., Arévalo-Galarza, M. L., Calderón-Zavala, G. y Anaya-Rosales, S. 2015. Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional (49) 1:31-51.

- Mena-Covarrubias, J. 2013. Tecnologías de manejo integrado para los insectos plaga del nopal tunero en el Altiplano Mexicano. In C. Gallegos Vázquez, S. De J. Méndez-Gallegos y C. Mondragón-Jacobo. Producción sustentable de tuna en San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados – Fundación Produce San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. P. 125–161.
- Méndez, G.S.J. 2001. Cultivo y manejo de grana cochinilla. In: Producción de Grana Cochinilla. Llanderal C., C., y R. Nieto H. (eds.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx., México. P. 69- 77.
- Méndez-Gallegos, S.J., Talavera-Magaña, D. y García-Herrera, E.J. 2009. Identificación y control de las principales enfermedades del nopal. Revista Salud Publica y Nutrición 2:2-13.
- Méndez-Gallegos, S.J., Tarango-Arámbula, L.A., Carnero, A., Tiberi y Díaz-Gómez, O. 2010. Crecimiento poblacional de la cochinilla *Dactylopius coccus* Costa criada en cinco cultivares de nopal *Opuntia ficus-indica* Mill. Agrocienca 44: 225-234.
- Meraz-Maldonado, N., Valle-Guadarrama, S., Hernández-Morales, J., Anaya-Rosales, S., Rodríguez-Maciel, J.C. y Leyva-Ruelas, G. 2012. Quality of three sizes of prickly pear cactus stems (*Opuntia ficus indica* L. 'Atlixco'). Afr. J. Agric. Res. 7: 4512-4520.
- Mora-Aguilera, G., Rivas-Valencia, P., Góngora-Cantú, C., Tovar-Soto, A., Cristóbal-Alejo, J., Loeza-kuk, E., Michereff, S., Marinelli, L. and Osada-Velázquez, K. 2000. Sistemas computarizados en la epidemiología: I. 2-LOG ver 1.0 y su aplicación en el diseño de escalas diagramáticos logarítmicas. In: Memorias del XXIX Simposio Nacional de Parasitología Agrícola. Puerto Vallarta, México. 20 p.
- Mondragón-Jacobo, C. y Pérez-González, S. 2003. Recursos genéticos y mejoramiento de *Opuntia* para producción de forraje. Estudio FAO Producción y protección vegetal. 169 p.

- Neguerula, I.A. 2012. Is the color measured in food the color that we see? in: color in food. Technological and psychophysical aspects. Caivano, J.L., M. del. P Buera. (eds.) CRC Press-Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida, USA. P. 81-91.
- NMX-FF-068-SCFI-2006 HORTALIZA FRESCA - NOPAL VERDURA (*Opuntia* spp.). 25 p.
- Nobel-Park, S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Trillas, México. P. 122-134.
- Ozuna, L., Goycoolea, F., Silveira, M., y Montoya, L. (2007). Uso del quitosano durante el escaldado del nopal (*Opuntia ficus indica*) y efecto sobre su calidad. Revista Mexicana de Ingeniería Química P. 193-201.
- Peña-Valdivia, C.B., Trejo, C., Barush-Arroyo, V., Sánchez-Urdeneta, A.B. y Balois-Morales, R. 2012. Diversity of unavailable polysaccharides and dietary fiber in domesticated nopalito and cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). Chem. Biodivers. 9: 1599-1610.
- Pérez, M.A., Navarro, H. y Miranda, E. 2013. Residuos de plaguicidas en hortalizas: problemática y riesgo en México. México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental (29):45-64.
- Pedreschi, F. y Moyano, P. 2005. Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. Lebensm. Wiss. Technol. 38:599-604.
- Pimentel-Alvarado, O. y Delgadillo-Aldrete, S. 2015. Agenda técnica agrícola de Morelos. Segunda edición. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [Consultado en febrero del 2021] Disponible en:
https://issuu.com/senasica/docs/17_morelos_2015_sin
- Pimienta, E. y Ramírez, B. 2001. Fisiología del agave azul. Programa General de Apoyo y Desarrollo Tecnológico a la Cadena Productiva Agave-Tequila. UdG. CRT. 31 p.

- Quevedo-Preciado, K. L., Villegas-Ochoa, M. A., González-Ríos, H. y Rodríguez-Félix, A. 2005. Calidad de nopal verdura mínimamente procesado. efecto de temperatura e inhibidores del oscurecimiento. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 28 (3): 261 – 270.
- Quezada-Salinas, A., Gijón-Hernández, A., Ramírez, S., Ramírez-Delgadillo, J. J., Pereyda-Hernández, J., Reyes-Rosas, M. A., Rodríguez-Contreras, M. E., Cisneros-López, M. E., Simoes de-Siqueira, K. M., López-Estrada, M. E., Pérez-Vera, O. A., Aquino-Hernández, O., Hernández-Flores, B., Santiago-Santiago, E., Ramírez-Flores, J., Martínez-Bolaños, M., Mora-Aguilera, G., Rivas-Valencia, P., Ramírez, N., Mila, A. L., Alvarado-Rosales, D., Sandoval-Islas, S. y Saavedra-Romero, L. L. 2007. Diagnóstico fitosanitario del nopal verdura. servicio de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y calidad Agroalimentaria (SENASICA), 86 p.
- Ramírez-Cruz, A., Llanderal, C. y and Racotta, R.C. 2008. Ovariole structure of the cochineal scale insect, *Dactylopius coccus*. Journal of Insect Science 8(20):20.
- Rangel-estrada, S.E., Ramírez-Rojas, S., y Osuna-Canizalez, F.J. 2013. Manejo de picudo de nopal, cochinilla y manche negra en Morelos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Primera edición. 50 p.
- Reyes-Agüero, J.A., Aguirre, R.J.R., y Hernández, H.M. 2005. systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). Agrociencia 39: 395-408.
- Rincón-Guerrero, N., Olarte-Quintero, M.A. y Pérez-Naranjo, J.C. 2012. Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 65(1): 6399-6405.
- Robles-Ozuna, L.E., Goycoolea, F.M., Silveira, M.I. y Montoya, L.C. 2007. Uso del quitosano durante el escaldado del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y efecto sobre su calidad. Revista Mexicana de Ingeniería Química Vol. 6, No.2: 193:201.

- Rodríguez-Padrón, R.A., Lopes, S., Swarowsky, A., Rosales-Cerquera, R., Urbanetto-Nogueira, C. y Maffei, M. 2016. Non-destructive models to estimate leaf area on bell pepper crop. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.46, n.11, p.1938-1944.
- Rodríguez-Félix, A. y Villegas-Ochoa, M.A. 1998. Postharvest handling of cactus (*Opuntia* spp.) Stems. *Cactus net Newsletter*. (Inglés P. And Sáens-Hernández C. Eds.) Universidad de Chile., Santiago, Chile. P. 10-13.
- Rodríguez-Félix, A. 1999. Fisiología y tecnología postcosecha de nopalitos. Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. P. 211- 227.
- SAS. 1996. Statistical Analysis System: Institute, Cary, North Caroline, USA.
- Sánchez, R.A.J. 2002. Plaguicidas y fitosanitarios. Memorias. XIII Congreso Nacional Farmacéutico. Granada, España. P. 15-18.
- Sauceda-Acosta, C. P., González-Hernández, V. A., Sánchez-Soto, V. H., Saucedo-Acosta, R. H., Ramírez-Tobías, H. M. y Quintana-Quiroz, J. G. 2017. MACF-IJ, Método automatizado para medir color y área foliar mediante imágenes digitales. *Agrociencia* vol.51 no.4.: 409-423.
- Scheinvar, L., Filardo-Kerstupp, S., Olalde-Parra, G. y Zavaleta-Beckler, P. 2009. Diez especies mexicanas productoras de xoconostles: *Opuntia* spp. y *Cylindropuntia imbricata* (Cactaceae). Primera edición. México, D.F. P. 17-24.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2020. variedades vegetales, camino a una mejor y mayor producción (Blog). [Consultado en abril del 2021] disponible en:
- <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/variedades-vegetales-camino-a-una-mejor-y-mayor-produccion?idiom=es>

Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2013. Agenda de innovación tecnológica del estado de Morelos Actualización 2013. [Consultado en diciembre del 2020] Disponible en:

<http://www.producemorelos.org/AGENDA%20FPMAC%202013.pdf>

Secretaría de Economía (SE). 2006. Perfil de mercado producto-país para nopal elaborado a favor del gobierno de Baja California. Consejería comercial de PROMEXICO en Los Ángeles, California. [Consultado en enero del 2021] Disponible en:

<http://www.sefoa.gob.mx/Comercializacion/EstudioMercadoNopalLA.pdf>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Cierre de la producción agrícola. [Consultado en abril del 2021] Disponible en:

<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Sifuentes. 2013. Producción de nopal verdura a cielo abierto. Manual técnico. 20 p.

Tafoya, F., Whalon, M.E., Vandervoot, C., Coombs, A.B. y Cibrian-tovar, J. 2007. Aggregation pheromone of *Metamasius spinolae* (Coleoptera: Curculionidae): chemical analysis and field test. *Environmental Entomology*, 36(1):53-57.

Toivonen, P.M.A., y Brummell, D.A. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharv. Biol. Tec.* 48: 1-14.

Torres, R., Montes, E.J., Pérez, O.A. y Andrade, D.R. 2015. Influencia del color y estados de madurez sobre la textura de frutas tropicales (Mango, papaya y plátano). *Información Tecnológica*. Vol. 26 N° 3: 47-52.

Torres-Ponce, R.L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M.L. y Nevárez-Morillon, G.V. 2015. El nopal: Planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.6 Núm. 5 p. 1129-1142.

- Torres-Sales, A., de Viera-Leite, M.L.M. y Pereira-Andrade, A. 2016. Adaptación de cultivares de nopal forrajero al semiárido estado de Paraíba, Brasil. *Agron. Mesoam.* 27(1):151-157.
- Townsend, G.R. y Heuberger, J.V. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Disease Report* 24: 340-343.
- Vasconcelos, A.G.V., Lira, M.A., Cavalcanti, V.A.L.B. y Santos, M.V.F. 2009. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim (*Dactylopius ceylonicus*). *Rev. Bras. Zootec.* 38(5):827-831.
- Vázquez-Alvarado, R.E., Gutiérrez-Ornelas, E. y Morales-Treviño, H. 2010. Evaluación de la productividad y caracterización de tres variedades de nopal mejorado y tres criollos. *Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial No. 5*: 243-250.
- Vázquez-Mendoza, P., Ferreira-Dos Santos, M.V., Carvalho-de Sousa, T., Dubeux-Junior, J.C.B., Cordeiro-Dos Santos, D. y Calzada-Marín, J.M. 2020. Clones de nopal oreja de elefante mexicana con potencial forrajero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. pub. esp. núm. 24*:231-237.
- Zúñiga-Tarango, R., Orona-Castillo, I., Vázquez-Vázquez, C., Murillo-Amador, B., Salazar, E., López-Martínez, J.D., García-Hernández, J.L. y Rueda-Puente, E. 2009. Desarrollo radical, rendimiento y concentración mineral en nopal *Opuntia ficus indica* L. Mill. en diferentes tratamientos de fertilización. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 11: 53–68.

8. Conclusiones generales

1. Es importante saber reconocer a plagas de nuevo ingreso en el territorio productivo de nopal verdura del estado de Morelos como *Loxomorpha*

Flavidissimalis “gusano telarañero del nopal” para poder implementar estrategias de manejo efectivas.

2. Existen alternativas viables para el control de la mancha negra del nopal verdura, como son algunos extractos acuosos fáciles de preparar y de muy bajo costo principalmente de neem y sauce para al menos dos especies de hongos relacionados con esta enfermedad.
3. El jabón potásico elaborado de forma artesanal posee un buen efecto para reducir poblaciones de cochinilla del nopal en cultivos con una incidencia alta, aunque preferentemente se deben aplicar como insecticidas preventivos, siendo una alternativa eficiente para el control de esta plaga.
4. Se pueden implementar o rotar cultivos de nopal verdura principalmente con la variedad Copena F1 entre otras, ya que poseen buenas cualidades agronómicas de adaptabilidad en la zona, además tienen un grado considerable de tolerancia a plagas y enfermedades, dando paso a una buena alternativa de establecimiento para también minimizar las aplicaciones de agroquímicos y su impacto negativo.