



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN EN MANEJO DE
RECURSOS NATURALES**

**“ACORAZONAMIENTO DE CLADODIOS EN SISTEMAS
PRODUCTIVOS DE NOPAL *Opuntia sp.*”**

BIOL. MARIA EDDY MENDOZA OROZCO

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

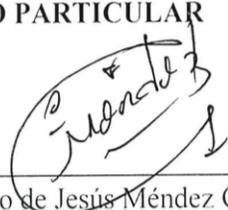
Salinas de Hgo., San Luis Potosí, México
enero, 2016

La presente tesis titulada: **Acorazonamiento de cladodios en sistemas productivos de nopal *Opuntia sp.***, realizada por la alumna: **Maria Eddy Mendoza Orozco**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

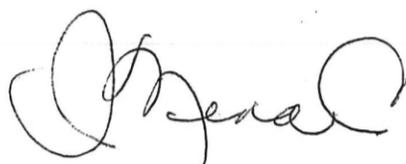
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



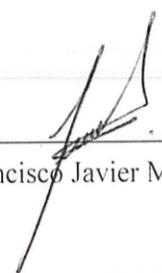
Dr. Santiago de Jesús Méndez Gallegos

DIRECTOR DE TESIS:



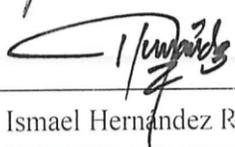
Dr. Jaime Mena Covarrubias

ASESOR:



Dr. Francisco Javier Morales Flores

ASESOR:



Dr. Ismael Hernández Ríos

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí

Enero, 2016

ACORAZONAMIENTO DE CLADODIOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE NOPAL ***Opuntia sp.***

Maria Eddy Mendoza Orozco, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

El nopal (*Opuntia sp.*) es un elemento clave de subsistencia para muchas familias mexicanas por los múltiples y variados beneficios que aporta. Su productividad depende, entre otros aspectos, de la incidencia de plagas y enfermedades, las cuales pueden llegar a reducir hasta el 90% del rendimiento. Recientemente, se ha observado en diferentes regiones del país una malformación denominada, en este estudio, ‘acorazonamiento’ de cladodios, desconociéndose hasta el momento su agente causal. Considerando que su presencia podría estar causando daños de importancia económica, el estudio tuvo como objetivo general determinar los aspectos básicos del acorazonamiento de cladodios y su impacto en sistemas productivos de nopal. Los objetivos específicos fueron: analizar la tendencia de la producción de nopal a nivel nacional, determinar la tipología de productores de nopal tunero y su integración en una red social, describir la sintomatología del acorazonamiento, estimar la incidencia y severidad de dicha malformación e identificar su agente causal. La investigación estuvo dividida en dos fases principales, una de gabinete que contempló la búsqueda, acopio, síntesis y análisis de la tendencia en la producción de nopal, y otra de campo por aplicación de encuestas, muestreos y experimentos. Se analizó la producción de nopal tunero, verdura y forrajero a nivel municipio en México con datos obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). La investigación se realizó en los municipios de Pinos y Villanueva, Zacatecas, en 2014 y 2015, en Pinos se identificaron los tipos de productores de tuna por aplicación y análisis multivariado de una encuesta; y en Villanueva, Zac. se realizaron los muestreos. Para estimar el impacto de daño se consideró la incidencia de plantas con presencia de acorazonamiento y los cladodios acorazonados por planta en su primer y segundo nivel. También se calculó la proporción de pencas sanas y enfermas. Se establecieron cinco niveles de severidad, esta se estimó a través de la relación entre pérdida de yemas y de área fotosintética. La información se analizó mediante estadística descriptiva y prueba de T. La descripción de la sintomatología se realizó mediante observación en campo de pencas sintomáticas, además de analizar cortes microhistológicos de cladodios malformados. Para la identificación del agente causal se estableció un experimento en condiciones semicontroladas de

invernadero con *Diabrotica undecimpunctata* y otro con simulación de lesión física en la parte apical de cladodios con brotes de 6, 12 y 18 días de edad, y se analizó con ANOVA. Así mismo, se realizaron pruebas de PCR y RFLP para la detección de fitoplasmas en cladodios sintomáticos y asintomáticos. Los análisis mostraron que los municipios emergentes en la producción de nopal verdura a nivel nacional son Melchor Ocampo, San Martín de las Pirámides, Tultepec, Teotihuacán y Cuautitlán Izcalli, en el Estado de México con un rendimiento promedio de 125 t ha⁻¹. Las áreas tuneras emergentes son General Felipe Ángeles y Palmar de Bravo en Puebla, con 20 t ha⁻¹, y en nopal forrajero destacan Asientos y San Francisco de los Romo Ags., y Villanueva, Zac. con 45 t ha⁻¹. Se identificaron diez grupos de productores en la comunidad de Pinos, Zacatecas, diferenciándose por la edad del productor, los ingresos provenientes de la venta del cultivo, el rendimiento de tuna, la existencia de una actividad económica complementaria y la creación de relaciones. Por otro lado, el síntoma de acorazonamiento se observó principalmente en brotes tiernos (5-20 días), provocando una cicatrización en la zona lesionada. Este síntoma se presentó con una incidencia de 33% y una severidad hasta del 39%, los cladodios dañados disminuyen hasta el 80% de yemas florales y vegetativas. Cabe destacar, que la probabilidad de obtener brotes sanos a partir de pencas madre sanas es mayor que si provienen de pencas madre acorazonadas. El agente causal no fue identificado, sin embargo, se descartó la posibilidad de que *Diabrotica undecimpunctata* y *D. balteata* fueran los causantes. También se descartó que el acorazonamiento fuera provocado por un fitoplasma, a pesar de su presencia en pencas sintomáticas y asintomáticas. A manera de conclusión, el enfoque municipal de la producción de nopal, la tipología de productores y la red social, así como, la identificación oportuna del síntoma y del agente causal; aunados al conocimiento del impacto de daño del acorazonamiento, son primordiales en el control y prevención de eventos fitosanitarios como plagas y enfermedades y son viables de integrar en la implementación de estrategias de manejo de sistemas productivos de nopal.

Palabras clave: Diabrotica, fitoplasmas, PCR, malformaciones, tipología, histología, red social.

CLADODE “ACORAZONAMIENTO” ON CACTUS PEAR, *Opuntia spp.* PRODUCTION SYSTEMS

María Eddy Mendoza Orozco, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRACT

Cactus pear, *Opuntia spp* is a cornerstone for the livelihood of many Mexican families due to the multiple and varied benefits that provides. Its productivity is constrained, among other factors, from insect and disease impact; they could reduce cactus yield up to 90%. Currently, a cladode deformation, named “acorazonamiento” in this study, has been observed on several cacti growing areas in Mexico; its causal agent is unknown. Considering the risk that this deformation could be producing economic losses, the general aim of this study was to define the basic aspects of the cladode “acorazonamiento”, and its impact on the cactus pear production systems. The following five specific objectives were set: to review the trends for cactus production at the country level; to determine the cactus fruit growers typology and their integration in a social net; to describe the different symptoms of “acorazonamiento”; to estimate incidence and severity of this cladode deformation; and, to identify its causal agent. The research was divided in two main phases: the office work focused on search, gather, synthesis, and analysis of the cactus pear production trends; and the field study did surveys, sampling and research plots. Production of cactus pear as fruit, vegetable (“nopalitos” sold as tender young cladodes), and forage was analyzed at the level of township in Mexico, with data provided by Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesquera. The research approach was carried out in the counties of Pinos y Villanueva (Zacatecas) during 2014 and 2015; at Pinos, the types of cactus fruit growers were identified through the implementation and multivariate analysis of a survey; at Villanueva, all the field sampling was conducted. In order to estimate “acorazonamiento” losses, the number of plants affected with this deformation was counted, both at the first and second level of cladode position. The proportion of healthy and damaged cladodes was also estimated. Five severity levels of “acorazonamiento” were established, and they were defined through the relationship between number of buds lost and photosynthetic area. The data were analyzed using descriptive statistics and the t test. Symptoms description of “acorazonamiento” was taken from direct field observations of affected cladodes, and analysis of micro histological cuts on deformed cladodes. The causal agent identification was pursued in a greenhouse under semi-controlled conditions using the adult of the northern corn rootworm, *Diabrotica undecimpunctata*; another experiment was to simulate a mechanical damage in the apical part of developing cladodes with 6, 12 and 18 days old; the data was analyzed with ANOVA statistics. Finally, PCR and RFLP

tests were conducted for phytoplasma detection on symptomatic and asymptomatic cladodes. The leading Mexican municipalities for cactus pear production as vegetable were Melchor Ocampo, San Martin de las Piramides, Tultepec, Teotihuacan, and Cuautitlan Izcalli (Estado de Mexico) with average yields of 125 t ha⁻¹. The most important Mexican counties for cactus fruit production were General Felipe Angeles and Palmas del Bravo (Puebla) with yields of 20 t ha⁻¹. Stand out cactus growing areas for forage production were found in the townships of Asientos and San Francisco de los Romo (Aguascalientes) and Villanueva (Zacatecas) with average yields of 45 t ha⁻¹. Ten different groups of cactus fruit growers were identified at Pinos (Zacatecas), and they can be distinguished by the person age, the amount of income coming from selling the cactus fruit, the fruit yields of the cactus orchard, an extra economic activity, and the building of relationships. The “acorazonamiento” symptoms were generated with the mechanical damage on the cladode apical parts, especially when they were 5 to 20 days old; a scar was present on the area where the incision was made. At the orchard level, “acorazonamiento” was found with a 33% of incidence, and 39% of severity; the affected cladodes lowered up to 80% of their reproductive and vegetative buds. It is important to highlight the higher probability for a healthy mother cladode to give rise to a healthy new cladode, that probability is lower when it is coming from a mother cladode with “acorazonamiento”. The causal agent for “acorazonamiento” was not found; however, it was ruled out that *D. undecimpunctata* and *D. balteata* were involved. Also, phytoplasmas were dismissed as causal agents, even though they were found on both symptomatic and asymptomatic cladodes. As a conclusion, a municipal approach for cactus pear production, the typology of cactus growers and their social net, as well as the timely notice of the symptoms and causal agent, and on top of that, the knowledge of “acorazonamiento” economic impact, they are key aspects to prevent and control pest and disease factors, and they are feasible to integrate when implementing a strategy for management of cactus pear production systems.

Key words: Diabrotica, phytoplasmas, PCR, cladode deformation, typology, histology, social net.

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de vivir en el mundo del estudio y el privilegio de tener una familia, amigos y profesores que me brindan su apoyo en todo momento.

A mi papa José Cruz y mama Yudi[†], con todo mi amor, por educarme en un hogar cálido de armonía, con su amor, alegría y esfuerzo para lograr que me formara profesionalmente, quienes son puntos de apoyo y despegue en mi vida.

A mi hermano Juan Ignacio y mis hermanas Yazmin Aide y Elen Hudith por los momentos de amor, risas y enojos que me alentaron a seguir adelante a pesar de las dificultades.

A mis abuelitos Lencho y Lupe, que siempre me abrigaron con su amor, comprensión y apoyo, por regalarme sus hermosas sonrisas, gracias a ustedes soy quien soy.

A mis abuelitos Pioquinto[†] e Ilaria[†] por cuidar de mi familia y formarlos como personas excelentes, gracias a ustedes soy quien soy.

A mis tíos, tías y primos que fueron causa de momentos imprescindibles en mi educación y apoyo para mi familia.

Gracias a ustedes soy quien soy, los AMOOOOOOOOO y soy feliz...

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darme la dicha de estar en el mundo del conocimiento, del aprendizaje y de la formación educativa para aplicarlo en la vida real en el bien común. Por darme la oportunidad de concluir la Maestría en Ciencias y por todas las personas que conocí en este camino.

Gracias a mis papas y hermanos por su amor incondicional, son lo mejor que me ha dado Dios y todo lo que soy es por ustedes, los amo.

Gracias a CONACYT por el apoyo brindado que fue fundamental para iniciar, continuar y concluir mis estudios de Maestría en Ciencias.

Gracias a mi consejo particular por el apoyo brindado en aspectos educativos y personales, por ser fundamentales en mi formación.

Agradezco muy especialmente a mi consejero Santiago de Jesús Méndez Gallegos y director de tesis Jaime Mena Covarrubias por todos los momentos de comprensión y apoyo, por su alegría e incondicionalidad en el camino de la Maestría en Ciencias.

Agradezco con todo mi amor a la doctora Brenda Trejo Téllez, al doctor Francisco Javier Morales Flores y a Alejandra Olivera Méndez por ser mi fuente propulsora dirigiéndome como una mujer valiente y comprometida.

Agradezco muy especialmente a Salvador, Joaquín Ortega Espinoza, Carlos Dávila González, Ernesto Dávila Olvera y Ma. Cruz Juárez, por brindarme su confianza y apoyo en la realización de mi investigación, por ser personas incondicionales y de gran entusiasmo.

Gracias a la Alma Mater Studiorum- Universita Di Bologna, Departamento de Ciencias Agrarias por abrirme las puertas para realizar una estancia de investigación en su institución. Especialmente a la profesora Assunta Bertaccini por su accesibilidad, apoyo, asesoramiento y conocimientos brindados durante mi estancia en dicha universidad.

Gracias al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR-Unidad Sinaloa, Departamento de Biotecnología Agrícola por darme la oportunidad de

realizar investigación en su institución. Especialmente a la Doctora Norma Elena Leyva López por su aceptación, amabilidad, accesibilidad, asesoramiento y conocimientos brindados durante mi estancia.

Gracias a mis amigos y con todo cariño para Alejandra Cabrera Rodríguez, Miguel Ángel Flores Villamil, Fernando Isaac Gastelum Mendoza, Mariana Verastegui Ruíz e Irma Nallely del Rio García por los gratos, hermosos e inolvidables momentos a su lado y por darme la oportunidad de aprender juntos el valor de la amistad y del apoyo profesional.

Gracias a mis maravillosas amigas Alejandra Araujo, Paulina Arce, Rebeca Pinto, Zeiiby Machuca, Jael Arely, Beatriz Valle y a mis amigos Jesús Camacho y Marco Magallanes que me abrigaron durante mi estancia en el CIIDIR-Unidad Sinaloa, por sus conocimientos brindados, por los momentos inolvidables y por su alegría a cada instante.

Agradezco a mis amigos Mike, Isaac, Manuel, Emanuel, Víctor Malo, Jorge Ángel, Pablo, Fernando Vasco, Ricardo Serna, Alex, Uriel, Cornelio Belleza, por tantos momentos gratos e inolvidables vividos al máximo en el mundo del fútbol. Muy especialmente a Obed Gutiérrez, Aldair, Dulce Rodríguez, Luis García, Chuy Calderas, Pablo Arenas y JuanMa por apoyarme en mi investigación y por los bellos momentos que disfrutamos juntos.

Agradezco a todas las personas del Campus San Luis Potosí por brindarme sonrisas y amabilidad y por todo lo que aprendí junto con ustedes, me llevo en mi corazón un grato recuerdo de cada uno.

Gracias por sus sonrisas, abrazos y palabras de aliento brindadas...

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. MARCO DE REFERENCIA	3
2.1 El género <i>Opuntia</i>	3
2.2 Importancia del nopal en el mundo	4
2.3 Importancia del nopal en México	5
2.4 Importancia del nopal en Zacatecas	7
2.5 Usos del nopal y su fruto	9
2.6 Sistemas de producción de nopal	9
2.7 Manejo de plantaciones de nopal	10
2.8 Aspectos fitosanitarios del nopal	11
III. OBJETIVO GENERAL	13
IV. OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
V. HIPÓTESIS	13
VI. ÁREA DE ESTUDIO	14
6.1 Localización, temperatura y precipitación	14
6.2 Entorno socioeconómico	15
CAPITULO I. ESTADO ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE NOPAL A NIVEL MUNICIPAL EN MÉXICO	17
1.1 RESUMEN	17
1.2 ABSTRACT	19
1.3 INTRODUCCIÓN	21
1.4 OBJETIVO GENERAL	23
1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
1.6 HIPÓTESIS	23
1.7 MATERIALES Y MÉTODOS	24
1.7.1 Producción de nopal tunero, nopal forrajero y nopal verdura a nivel nacional.	24
1.7.2 Red social de productores de nopal tunero en Pinos, Zac.	24
1.8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
1.8.1 Análisis de la superficie sembrada de nopal verdura	26
1.8.2 Análisis del volumen de producción de nopal verdura	28
1.8.3 Análisis del rendimiento en la producción de nopal verdura	30

1.8.4 Desigualdad en la producción de nopal verdura.....	31
1.8.5 Análisis de la superficie sembrada de nopal tunero.....	34
1.8.6 Análisis del volumen de producción de nopal tunero	36
1.8.7 Análisis del rendimiento de nopal tunero	37
1.8.8 Desigualdad en la producción de nopal tunero	39
1.8.9 Análisis de la superficie sembrada de nopal forrajero en México.....	43
1.8.10 Análisis del volumen de producción de nopal forrajero en México	45
1.8.11 Análisis del rendimiento de nopal forrajero en México.....	47
1.8.12 Desigualdad en la producción de nopal forrajero.....	49
1.8.13 Tipología de productores de nopal tunero en Pinos, Zac.	52
1.8.14 Análisis de correlación de variables de productores de nopal tunero en Pinos, Zac.	55
1.8.15 Análisis de componentes principales de la tipificación de productores de nopal tunero en Pinos, Zac.....	56
1.8.16 Análisis de conglomerados de productores de nopal tunero en Pinos, Zac.	58
1.8.17 Red social de productores de tuna de la comunidad de Pinos, Zac.	69
1.9 CONCLUSIONES.....	70
1.10 LITERATURA CITADA	72
CAPITULO II. IMPACTO DEL ACORAZONAMIENTO DE CLADODIOS EN PLANTACIONES COMERCIALES DE NOPAL	81
2.1 RESUMEN.....	81
2.2 ABSTRACT.....	83
2.3 INTRODUCCIÓN	85
2.4 OBJETIVO GENERAL	87
2.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS	87
2.6 HIPÓTESIS	87
2.7 MATERIALES Y MÉTODOS	88
2.7.1 Sintomatología de cladodios acorazonados.....	88
2.7.2 Cortes histológicos de nopal.....	88
2.7.3 Incidencia y severidad del acorazonamiento.....	88
2.8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	92
2.8.1 Sintomatología de cladodios acorazonados.....	92
2.9 CONCLUSIONES.....	116
2.10 LITERATURA CITADA	117

CAPITULO III. ANÁLISIS DEL AGENTE CAUSAL DEL ACORAZONAMIENTO DE CLADODIOS EN NOPAL.....	119
3.1 RESUMEN.....	119
3.2 ABSTRACT.....	121
3.3 INTRODUCCIÓN.....	123
3.4 OBJETIVO GENERAL.....	125
3.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	125
3.6 HIPÓTESIS.....	125
3.7 MARCO DE REFERENCIA.....	126
3.7.1 Insectos plaga que afectan el nopal.....	126
3.7.2 Enfermedades que atacan al nopal.....	126
3.7.3 Hábitos alimenticios de <i>Diabrotica</i>.....	126
3.7.4 Distribución geográfica de <i>Diabrotica</i>.....	127
3.7.5 Biología y dispersión de <i>D. undecimpunctata</i>.....	127
3.7.6 Biología de <i>D. balteata</i>.....	128
3.7.7 Los fitoplasmas y su identificación por PCR.....	128
3.8 MATERIALES Y MÉTODOS.....	129
3.8.1 Fluctuación poblacional de <i>D. undecimpunctata</i> y <i>D. balteata</i> en plantaciones de nopal.....	129
3.8.2 Alimentación de <i>D. undecimpunctata</i> con nopal.....	129
3.8.2.1 Preparación de pencas.....	130
3.8.2.2 Daño en cladodios de nopal por <i>D. undecimpunctata</i>.....	131
3.8.3 Simulación física de daño en cladodios bajo condiciones semicontroladas.....	131
3.8.4 Simulación física de daño en cladodios en campo abierto.....	132
3.8.5 Identificación de fitoplasmas en nopal (<i>Opuntia</i> sp.) mediante PCR y RFLP.....	132
3.8.5.1 Colecta de muestras de nopal.....	132
3.8.5.2 Preparación de muestras.....	134
3.8.5.3 Extracción de ADN de nopal.....	135
3.8.5.4 Calidad del ADN de nopal.....	136
3.8.5.5 Integridad del ADN de nopal.....	137
3.8.5.6 Purificación de muestras de ADN saturadas con RNA´Sa.....	137
3.8.5.7 Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR).....	138
3.8.5.8 PCR directa y anidada de ADN de nopal.....	138
3.8.5.9 Análisis de PCR en gel de agarosa.....	139

3.8.5.10 Fragmentos de Restricción de Longitud Polimorfica (RFLP) de muestras positivas de nopal.....	139
3.9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	140
3.9.1 Fluctuación poblacional de <i>D. undecimpunctata</i> y <i>D. balteata</i>	140
3.9.2 Daños en cladodios ocasionados por <i>D. undecimpunctata</i>	144
3.9.3 Acorazonamiento de cladodios por simulación de daño físico bajo condiciones semicontroladas de invernadero	147
3.9.4 Acorazonamiento de cladodios por simulación de daño físico en condiciones naturales	148
3.9.5 Identificación de fitoplasmas en nopal	149
3.9.5.1 Extracción y calidad de ADN.....	149
3.9.5.2 Integridad de ADN purificado	151
3.9.5.3 PCR directa de nopal.....	152
3.9.5.4 PCR anidada de nopal	152
3.9.5.5 PCR directo de nopal.....	153
3.9.5.6 PCR anidado de nopal	154
3.9.5.7 Análisis RFLP de ADN de nopal	155
3.10 CONCLUSIONES.....	159
3.11 LITERATURA CITADA	160
VII. ANEXOS.....	165

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales cultivos que impactan en la economía de Zacatecas.....	15
Cuadro 2. Variables evaluadas en la encuesta aplicada a productores de tuna de Pinos, Zac.....	25
Cuadro 3. Municipios emergentes en la producción de nopal verdura a nivel nacional.	34
Cuadro 4. Municipios emergentes en la producción de tuna a nivel nacional	43
Cuadro 5. Municipios emergentes en la producción de nopal forrajero a nivel nacional.	51
Cuadro 6. Correlación de once variables encuestadas a 38 productores de tuna de Pinos, Zacatecas.....	56
Cuadro 7. Componentes principales de 38 productores y 9 variables en Pinos, Zacatecas.	57
Cuadro 8. Análisis de componentes principales de 38 productores de nopal tunero y nueve variables, en el municipio de Pinos, Zacatecas.....	58
Cuadro 9. Aportación de cada grupo de productores a la explicación de R^2 en el análisis de conglomerados.	60
Cuadro 10. Características de los grupos de productores en relación a los componentes principales 1 a 4.	62
Cuadro 11. Localización y características de las plantaciones muestreadas.	89
Cuadro 12. Prueba de T de la incidencia del acorazonamiento entre plantaciones de nopal. ...	101
Cuadro 13. Incidencia e impacto económico por acorazonamiento en plantaciones comerciales en Villanueva, Zac.	101
Cuadro 14. Prueba de T de la incidencia en los tipos de malformación en las plantas.	102
Cuadro 15. Prueba de T de la incidencia en los tipos de malformación en los cladodios.....	103
Cuadro 16. Prueba de T de la proporción entre los tipos de malformación/planta.	103
Cuadro 17. Incidencia del acorazonamiento de cladodios por melga.	104
Cuadro 18. Prueba de T entre las proporciones de tener nuevos brotes sanos o acorazonados a partir de una penca madre sana o acorazonada.....	105
Cuadro 19. Proporción de brotes sanos o acorazonados a partir de una penca madre sana o acorazonada.	106
Cuadro 20. Medidas morfométricas de cladodios acorazonados.	108
Cuadro 21. Medidas morfométricas de cladodios sanos.	108
Cuadro 22. Estimación de la pérdida de área fotosintética en cladodios acorazonados.....	111
Cuadro 23. Yemas perdidas en cladodios acorazonados, respecto al número de yemas en cladodios sanos.	114
Cuadro 24. Clave de las muestras colectadas.	133
Cuadro 25. Longitud y ancho ecuatorial de cladodios bajo experimento con <i>D.</i> <i>undecimpunctata</i>	147
Cuadro 26. Concentración de ácidos nucleicos (A.N) a 260/280 nm de ADN purificado.....	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Regiones principales de tuna en México.....	6
Figura 2. Planta con cladodios acorazonados del cultivar “Villanueva” en Villanueva, Zac.....	12
Figura 3. Vista general de una plantación comercial de nopal muestreada.....	12
Figura 4. Localización de las áreas de estudio.....	14
Figura 5. Distribución de municipios por superficie sembrada (ha) de nopal verdura.....	27
Figura 6. Distribución de las clases de superficie sembrada (ha) con nopal verdura por estado.....	28
Figura 7. Distribución de municipios por volumen de producción (t) de nopal verdura.....	29
Figura 8. Distribución de las clases de volumen de producción (t) de nopal verdura.....	29
Figura 9. Distribución de municipios por rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de nopal verdura.....	30
Figura 10. Distribución de las clases de rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de nopal verdura.....	31
Figura 11. Comportamiento de la producción de nopal verdura por municipio.....	32
Figura 12. Pareto de la distribución de municipios que conjuntan la superficie sembrada de nopal verdura.....	32
Figura 13. Pareto de la distribución de los municipios que conjuntan el 50 %, 30 % y 20 % de la producción de nopal verdura.....	33
Figura 14. Distribución de municipios en las diferentes clases de superficie sembrada (ha) de nopal tunero.....	35
Figura 15. Distribución de las clases de superficie sembrada (ha) con nopal tunero por estado.....	36
Figura 16. Distribución de municipios en las diferentes clases de volumen de producción (t) de nopal tunero.....	36
Figura 17. Distribución de las clases de volumen de producción (t) de nopal tunero.....	37
Figura 18. Distribución de municipios en las diferentes clases de rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de nopal tunero.....	38
Figura 19. Distribución de las clases de rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de nopal tunero.....	39
Figura 20. Comportamiento de la producción de nopal tunero por municipio.....	40
Figura 21. Pareto de la distribución de municipios que conjuntan la superficie sembrada de nopal tunero en un 50 %, 30 % y 20%.....	42
Figura 22. Pareto de la distribución de los municipios que conjuntan el 50 %, 30 % y 20 % de la producción de nopal tunero.....	42
Figura 23. Distribución de municipios en las diferentes clases de superficie sembrada (ha) de nopal forrajero.....	44
Figura 24. Distribución de las clases de superficie sembrada (ha) con nopal forrajero.....	45
Figura 25. Distribución de municipios en las diferentes clases de volumen de producción (t) de nopal forrajero.....	46
Figura 26. Distribución de las clases de volumen de producción (t) de nopal forrajero.....	47
Figura 27. Distribución de municipios en las diferentes clases de rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de nopal forrajero.....	47
Figura 28. Distribución de las clases de rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de nopal forrajero.....	48
Figura 29. Comportamiento de la producción de nopal forrajero por municipio.....	49

Figura 30. Pareto de la distribución de municipios que conjuntan la superficie sembrada de nopal forrajero en un 50 %, 30 % y 20%.....	50
Figura 31. Pareto de la distribución de los municipios que conjuntan el 50 %, 30 % y 20 % de la producción de nopal forrajero.	51
Figura 32. Varianza que explica la tipología de productores..	57
Figura 33. Formación de grupos de productores de tuna a una R^2 de 0.669	59
Figura 34. Separación jerárquica por rasgos distintivos entre los grupos de productores.....	62
Figura 35. Distribución de productores de tuna en Pinos, Zacatecas por CP 1 y 2 ($R^2=0.69$).	67
Figura 36. Integración de productores de tuna de Pinos, Zac. en una red social.....	70
Figura 37. Localización de las plantaciones muestreadas en Villanueva, Zac.	89
Figura 38. Representación de los niveles estudiados en la planta de nopal (1N y 2N).	90
Figura 39. Combinaciones observadas en la producción de brotes sanos o acorazonados provenientes de pencas madre sanas o acorazonadas.	91
Figura 40. Puntos de medición considerados en los cladodios acorazonados.	91
Figura 41. Fotografías de los tipos de malformación observados en campo en cladodios.....	93
Figura 42. Presencia de cicatrización del nopal en la parte lesionada.	94
Figura 43. Cortes histológicos de un cladodio sano de <i>Opuntia ficus-indica</i> cv. Villanueva	96
Figura 44. Corte histológico de cladodios acorazonados de <i>Opuntia ficus-indica</i>	97
Figura 45. Corte longitudinal de la zona lesionada de un cladodio acorazonado.....	98
Figura 46. Estructura del tejido afectado en un cladodio acorazonado de <i>Opuntia ficus-indica</i>	100
Figura 47. Distribución de la frecuencia de plantas que tienen determinadas proporciones de brotes nuevos.....	107
Figura 48. Distribución de la frecuencia de plantas que tienen determinadas proporciones.....	108
Figura 49. Frecuencia de cladodios en las clases del ancho del acorazonamiento	109
Figura 50. Frecuencia de cladodios en las clases de profundidad del acorazonamiento.	110
Figura 51. Frecuencia de cladodios en las clases del porcentaje de pérdida de área fotosintética en pencas acorazonadas.	111
Figura 52. Niveles de severidad por acorazonamiento de cladodios de nopal	112
Figura 53. Frecuencia de cladodios en las clases del número de yemas en pencas sanas.	113
Figura 54. Distribución de cladodios en las clases del número de yemas en pencas acorazonadas.	113
Figura 55. Pérdida de yemas en cladodios acorazonados.....	114
Figura 56. Correlación entre % de pérdida de área y % de pérdida de yemas en cladodios acorazonados.....	115
Figura 57. Correlación entre ancho del acorazonamiento y el % de yemas perdidas en cladodios acorazonados.....	115
Figura 58. Distribución de los grupos experimentales.	130
Figura 59. Representación de las jaulas en donde se colocó el experimento con <i>Diabrotica</i> . ..	131
Figura 60. Plantación de nopal en Villanueva, Zac.	132
Figura 61. Muestras de nopal sintomáticas y asintomáticas.....	133
Figura 62. Sitio de muestra de tejido fresco para extracción de ADN de nopal.....	134
Figura 63. Procedimiento de la extracción de ADN de tejido fresco de 22 muestras de nopal.	136

Figura 64. Procedimiento de purificación de ADN de nopal.	137
Figura 65. Reacción en cadena de la polimerasa (PCR) directa y anidada y fases de desnaturalización, hibridación y extensión.	139
Figura 66. Fluctuación poblacional de <i>D. undecimpunctata</i> y <i>D. balteata</i> en una plantación comercial de nopal tunero (<i>O. xocconostle</i>) en La victoria en Pinos, Zac.	140
Figura 67. Fluctuación poblacional de <i>D. undecimpunctata</i> y <i>D. balteata</i> en una plantación comercial de nopal tunero (cv. cristalina) en Las pollas en Pinos, Zac.	141
Figura 68. Fluctuación poblacional de <i>D. undecimpunctata</i> y <i>D. balteata</i> en una plantación comercial (H1) de nopal (cv. villanueva) en Villanueva, Zac.	142
Figura 69. Fluctuación poblacional de <i>D. undecimpunctata</i> y <i>D. balteata</i> en una plantación comercial (H2) de nopal (cv. villanueva) en Villanueva, Zac.	143
Figura 70. Cladodios afectados por la alimentación de <i>D. undecimpunctata</i>	144
Figura 71. Daños ocasionados por <i>D. undecimpunctata</i> en cladodios de <i>Opuntia</i>	146
Figura 72. Cladodios con síntomas de acorazonamiento por simulación física de daño.....	148
Figura 73. Cladodios de distinta edad acorazonados por simulación física de daño en condiciones naturales.	148
Figura 74. Calidad de ácidos nucleicos a 260/280 nm de ADN purificado.....	150
Figura 75. Análisis en gel de agarosa de ADN purificado obtenido de tejido fresco de nopal.	151
Figura 76. Amplificación de ADN purificado extraído de tejido fresco de nopal.....	152
Figura 77. Amplificación anidada de ADN purificado extraído de tejido fresco de nopal.	153
Figura 78. Amplificación de ADN de nopal. C-= control negativo y C+= control positivo.	154
Figura 79. Amplificación anidada de ADN de nopal.	155
Figura 80. Digestión de ADN de muestras positivas de nopal con enzimas de restricción.....	156

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Artículo Científico enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.....	165
--	-----

ACORAZONAMIENTO DE CLADODIOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE NOPAL *Opuntia* sp.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El nopal (*Opuntia* sp.) es uno de los recursos naturales de mayor importancia histórica, cultural, social y económica para los habitantes del medio rural de México, ya que su cultivo representa una opción productiva y a través de su recolección contribuye a su seguridad alimentaria o bien representa un complemento al ingreso por su comercialización. México es considerado uno de los centros de origen del género *Opuntia*, pues se encuentra ampliamente distribuido en su territorio y además se presenta la mayor abundancia y diversidad de especies (Méndez-Gallegos y García, 2006), particularmente en las zonas áridas y semiáridas del centro-norte del país, que comprenden los estados de Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Jalisco, San Luis Potosí y Zacatecas (Hernández, 2006). Incluso debido a su dispersión actual en los cinco continentes, la especie de nopal *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. es considerada la cactácea de mayor importancia agronómica y económica a nivel mundial (Kiesling, 1999) por la producción de fruto, brotes y forraje (Kiesling, 2008).

Adicionalmente a su aprovechamiento como fruto, forraje y hortaliza, su importancia radica en que es considerada un elemento clave de subsistencia (Méndez *et al.*, 2013a); contribuye al mejoramiento y del suelo (Rodríguez, 2013); es materia prima en la producción de biomasa con fines energéticos y abonos orgánicos (Vázquez *et al.*, 2013), bioplásticos, pinturas, impermeabilizantes y biopelículas protectora; para la elaboración de cosméticos (Guerra-Gutiérrez *et al.*, 2012) y como auxiliar en la prevención y tratamiento de diversas enfermedades (Guevara-Arauz y Ornelas, 2013; Moran-Ramos *et al.*, 2012; Núñez-López *et al.*, 2013; López-Romero *et al.*, 2014). Otro de sus aprovechamientos más importantes es como sustrato en la cría intensiva de cochinilla como fuente de colorante natural (Méndez-Gallegos *et al.*, 2010).

Debido a la presión de aprovechamiento de que es objeto el nopal se ha fomentado durante los últimos años el establecimiento de huertos comerciales, tanto para la producción comercial de tuna, como de nopal con fines hortícolas, constituyéndose de esta manera, en un monocultivo propiamente dicho con los problemas ecológicos derivados que ocasiona este sistema de producción. Una reducida variabilidad genética sustentada prácticamente en tres especies *O.*

amyclaea, *O. megacantha* y *O. ficus-indica* (Reyes *et al.*, 2005) las hace especialmente susceptibles a una eventualidad fitosanitaria como la aparición de plagas y enfermedades, las cuales pueden llegar a reducir severamente la producción.

Aunado a lo anterior el problema se agrava por el descuido y abandono de las plantaciones, dado que pocos productores aplican todas las prácticas de manejo recomendadas y se estima que solo 4.8% de los productores aplican técnicas para combatir plagas y enfermedades (García *et al.*, 2008) lo cual reduce el potencial productivo del nopal (Mena, 2013; Méndez *et al.*, 2013b) generando un incremento adicional en los costos de manejo y disminución del precio de venta (Cadena, 2013), que repercute en el potencial de desarrollo económico y social en las comunidades (Gallegos y Mondragón, 2013). Esto se ve favorecido por que los sistemas actuales de producción comercial se caracterizan por el cultivo continuo de una sola especie y por lo general, univarietal (uniformidad genética), la regulación de agentes bióticos nocivos, por tanto, se sustenta en insumos externos como los pesticidas y no en la naturaleza misma para mantener el equilibrio. Adicionalmente a lo anterior, el poco conocimiento que los productores tienen acerca de la biología y hábitos de los fitófagos del nopal y la etiología de las principales enfermedades, así como las reducidas opciones de control químico registradas para el nopal, complican su manejo integral.

Nuestro país, por ser centro de origen y dispersión del nopal, presenta una entomofauna variada y numerosa (Méndez, 1994; Perales *et al.*, 2010) y una alta incidencia de microorganismos, aunque sólo 18 especies de insectos (Mena, 2013) y 15 agentes patógenos (Méndez *et al.*, 2013b) causan daños de importancia económica, al reducir la cantidad y calidad de la cosecha, así como la vida productiva de la planta (Mena, 2004). Recientemente se han detectado otros insectos y patógenos no registrados en plantaciones comerciales hace algunos años. También se han detectado cladodios con alteraciones morfológicas en plantaciones de diferentes edades, especies y variedades, tanto en México como en otros países. El principal síntoma es la pérdida de la dominancia apical del brote vegetativo, originando que el cladodio afectado adopte una forma de “corazón”; hasta el momento se desconoce su agente causal, dado que pueden estar involucrados factores físicos (temperatura extremas) y biológicos (insectos o patógenos), y por lo que su alta incidencia y dispersión se podría constituir en riesgo potencial de reducción de la productividad de las especies de nopal.

Considerando que a nuestro conocimiento, no existe información sobre el denominado en este estudio ‘acorazonamiento’ de cladodio, es relevante realizar estudios dirigidos a evaluar su impacto en los sistemas productivos de nopal e identificar el agente causal, lo que permitirá establecer las bases para implementar posibles estrategias de manejo.

El estudio se divide en tres capítulos en los cuales se abordan aspectos específicos del nopal. El Capítulo I comprende un análisis de la situación actual de la producción de nopal verdura, tunero y forrajero por municipio, por estado y a nivel nacional. Así mismo, se presenta una red social y una tipificación de productores de nopal tunero en Pinos, Zacatecas, conocimiento obtenido en un estudio de campo. Lo anterior permite identificar elementos para el diseño y aplicación eficiente de estrategias de manejo de las plantaciones comerciales de nopal con innovación rural. El Capítulo II aporta aspectos básicos del acorazonamiento de cladodios y su impacto en los sistemas productivos de nopal, lo cual es clave para la identificación del síntoma y el conocimiento de los efectos negativos que puede ocasionar esta malformación si no se presta atención en su manejo. El Capítulo III está enfocado en la identificación del agente causal, aquí se aporta conocimiento relacionado con algunos posibles agentes causales del acorazonamiento en los cladodios de nopal: fitoplasmas y dos especies de *Diabrotica*. Las aportaciones generadas en la investigación dan pauta para continuar los estudios relacionados con el acorazonamiento de cladodios y para el diseño de estrategias innovadoras de intervención oportuna en los sistemas productivos de nopal.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 El género *Opuntia*

La familia Cactaceae es originaria de América, integra las subfamilias Periskioideae, Cactoideae y Opuntioideae (Bravo, 1978). En México, la subfamilia Opuntioideae comprende cuatro géneros: *Cylindropuntia*, *Grusonia*, *Pereskiopsis* y *Opuntia sensu lat.* Esta última ha sido recientemente re-clasificada, por lo que se reconocen a nivel genérico *Cylindropuntia*, *Grusonia*, *Pereskiopsis* y *Opuntia sensu stricto* (Nyffeler y Egli, 2010).

El género más representativo en la familia Cactaceae es *Opuntia*, con cerca de 200 especies (Bravo y Scheinvar, 1995) la mayoría de ellas endémicas de nuestro país cuya riqueza puede oscilar desde 53 hasta 183 especies, de acuerdo a diferentes autores, ya que existe una gran complejidad en su

identificación taxonómica debido a la presencia de hibridación y poliploidia, así como a los procesos de domesticación e interacción genotipo-ambiente. Sobre el origen geográfico de Opuntioideae se ha postulado que puede ser el norte de Sudamérica (Rebman y Pinkava, 2001; Nyffeler, 2002); mientras que Edwards *et al.* (2005), Edwards y Donoghue (2006), Griffiths y Porter (2009) señalan que es de la región centro-oeste Andina o sur de Sudamérica.

Se han propuesto diferentes hipótesis sobre la divergencia inicial de las especies de nopal, en particular sobre su origen geográfico. En cuanto a evidencia paleobotánica específica para *Opuntia* se han encontrado restos de semillas y cascara en coprolitos desde hace 5,000-9,000 a (Callen, 1965; Flannery, 1985; Nobel, 1998; Kiesling, 1999) o de acuerdo a Smith (1967) y a MacNeish (1992) hasta 12,000-14,000 años a. de C.

2.2 Importancia del nopal en el mundo

A nivel mundial el nopal se ha venido empleando con fines hortícolas, en la producción de fruto, como fuente de forraje y como substrato en la cría de cochinilla (*Dactylopius coccus*), principalmente. Su cultivo se ha incrementado con la intensificación del cultivo en países como: Estados Unidos, México, Perú, Chile, Argentina, Cuba, Alemania, España, Italia, Egipto, Grecia, Eritrea, Etiopía, India, Irak, Israel, Jordania, Madagascar, Mozambique, Namibia, Pakistán, Siria, Sudáfrica, Túnez, Turquía y Zimbawe (Sáenz, 2006). La producción de fruto es en la que intervienen una mayor cantidad de países, ya que actualmente se cultiva de manera comercial en más de 25 países, destacando entre ellos: Italia, México, Chile, Israel, Sudáfrica, Túnez, Marruecos, España, Estados Unidos, Argentina, entre otros. No obstante, México es el líder productor de tuna a nivel mundial y también el que cuenta con la mayor superficie y número de cultivares comerciales, aunque existe una predominancia de cultivares de pulpa blanca (Sumaya-Martínez *et al.*, 2010).

A pesar de que existen pocos registros sobre la utilización del nopal como forraje durante la Colonia y el México independiente, es posible afirmar que se utilizó para la alimentación del ganado. Su explotación se inició a finales del siglo XVI, cuando por la abundancia del ganado los pastos empezaron a escasear en el territorio de la Nueva España, situación que obligó a los ganaderos a cortar y chamuscar nopal para alimentar al ganado suelto en los potreros, sobre todo en épocas de sequía (Anaya-Pérez y Bautista-Zane, 2008). El nopal como fuente de forraje verde

o ensilado proveniente tanto de poblaciones silvestres como de plantaciones es utilizado como suplemento o forraje de emergencia para bovinos de carne y leche y para ovicaprinos, sobre todo en la época de baja disponibilidad de forraje y a pesar del bajo nivel de proteínas que aporta, tiene una rica tradición de uso en México (Méndez-Gallegos y García, 2013). No obstante, Brasil es el principal productor de nopal con fines forrajeros a nivel mundial ya que cuenta con 600,000 ha dedicadas a su producción, con altos índices de productividad que oscilan entre 30 y 50 t de materia seca ha⁻¹ año⁻¹ (Torres, 2010). En otros países, particularmente en condiciones áridas tales como en el norte de África se ha incentivado su cultivo como forraje (Nefzaoui y Ben Salem, 2003).

Uno de los usos más antiguos conocidos del nopal es su utilización como sustrato en la cría de *D. coccus* (Méndez-Gallegos y García, 2013). Este insecto tiene gran importancia social y económica debido a que de los cuerpos secos de las hembras se obtiene un colorante natural denominado Ácido Carmínico, usado ampliamente en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, entre otras (Méndez-Gallegos *et al.*, 2010). Actualmente, aunque ha venido a menos su cultivo, debido a su desplazamiento por los aditivos colorantes el nopal se emplea con este fin en Perú, España, Chile, México y Etiopía, siendo Perú el principal productor a nivel mundial (Méndez-Gallegos *et al.*, 2003).

Los brotes tiernos del nopal son comestibles y han formado parte esencial de la dieta desde hace siglos. En México se consume en fresco, procesado o en diversas presentaciones, en mayor grado que la tuna dado que su consumo *per capita* es de 6.4 kg. Actualmente su consumo se ha popularizado debido a sus propiedades funcionales y nutraceuticas (Méndez y García, 2013). Las plantaciones de nopal con fines hortícolas solo se encuentran en México y en Estados Unidos donde son demandados por la comunidad latina, particularmente por la mexicana (Sáenz, 2006). No obstante, la falta de un plan de mercadotecnia, la baja demanda, la concentración y la alta estacionalidad de la producción de nopalito ocasionan que una parte de su producción no se coseche o no se comercialice (Callejas-Juárez *et al.*, 2008).

2.3 Importancia del nopal en México

En México existe una gran variedad de recursos naturales, pero particularmente en las zonas áridas y semiáridas las cactáceas son relevantes, sobre todo el género *Opuntia*; en estas zonas el nopal adquiere una importancia socioeconómica por sus diferentes usos. Ya que al ser una planta nativa,

con un bajo requerimiento de insumos, reducido nivel tecnológico, una alta eficiencia del agua y alta productividad de biomasa, por lo que se ha incentivado la multiplicación de plantaciones. Se estima que en el país existen alrededor de 3'000,000 ha de nopaleras silvestres y 210,000 ha de nopaleras cultivadas, de las cuales 150,000 son destinadas a forraje, 50,000 para tuna, 10,000 para nopalito y 100 ha para la producción de grana de cochinilla (García, 2003).

La producción de tuna ocupa una superficie de 53,832 ha (SIAP, 2015). Actualmente, la producción de tuna en el país esta distribuida en dos regiones: Región **Centro-Norte** que comprende los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y Jalisco; la región **Centro-Sur** que incluye a los estados de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y Estado de México (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2003; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2009). Aunque posteriormente, Mondragón y Gallegos (2013) señalan que existen tres regiones principales de tuna en México, de acuerdo con las condiciones de suelo, clima, nivel tecnológico y proximidad con la Ciudad de México, el mercado nacional más importante del país. La **región Centro-Norte** incluye Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco y Querétaro; la **región Central**: Estado de México, Tlaxcala e Hidalgo; y la **región Sur** representada por el estado de Puebla (Figura 1).

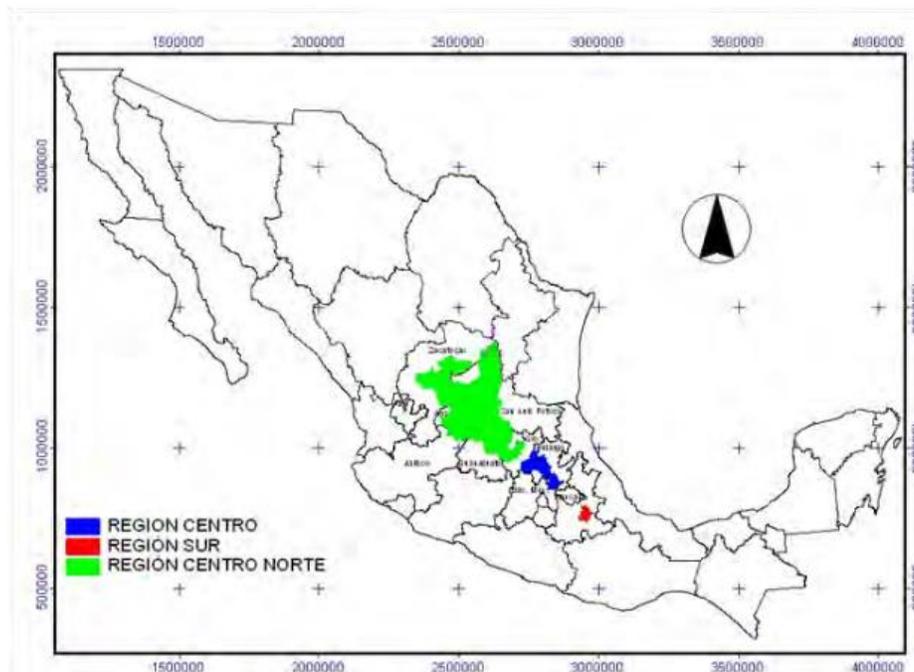


Figura 1. Regiones principales de tuna en México (Gallegos-Vazquez *et al.*, 2009).

La región productora de nopal más importante a nivel mundial es la Región Centro-Norte de México. En esta región se cultivan cerca de 28,344 ha de nopal tunero, destacando el sureste zacatecano, con 16,789 ha (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2009). La superficie mexicana dedicada a producir tuna involucra a un importante número de productores, lo cual es significativo en la generación de empleos e ingresos y con un impacto favorable en la conservación de suelo (García, 2003). Al respecto, Soberón *et al.* (2001) señalan que la producción de tuna se encuentra en 15 de los 32 estados del país generando empleo para cerca de 20,000 personas.

Respecto a la producción comercial de nopalitos se realiza en 24 de los 32 estados del país en una superficie de 12,038 ha, de las cuales 8,835 son de temporal y 3210 de riego, pero su cultivo se concentra (62%) en tres estados principalmente Morelos (3581 ha), Distrito Federal (2904) y Estado de México (888 ha) (SIAP, 2015) y actualmente se incentiva su establecimiento en aquellos estados (Puebla, Hidalgo y Tlaxcala) situados en torno al centro de mayor consumo nacional y mundial (la Ciudad de México). Asimismo, es importante resaltar que ya se encuentra una hectárea en condiciones de invernadero y 35 ha de cultivo orgánico de nopalito en Morelos. A pesar de que Callejas-Juárez *et al.* (2009) señala que el Distrito Federal es el principal productor, de acuerdo a información proporcionada por SIAP (2015) el estado de Morelos ya lo superó.

Respecto a la superficie actual de nopal con fines forrajeros ocupa una superficie total de 16,266 ha de las cuales 42 son bajo riego y 16,224 de temporal. La mayor proporción de superficie se encuentra en Coahuila (14,231 ha), Aguascalientes (1,067 ha), Zacatecas (948 has) y el estado de Jalisco (19 ha) (SIAP, 2015).

2.4 Importancia del nopal en Zacatecas

Zacatecas es el estado con mayor superficie cultivada de nopal tunero a nivel nacional e internacional con 18,201 ha, que representa el 33% de la superficie nacional. La producción de tuna se concentra principalmente en la región sureste del estado, comprendiendo los municipios de Pinos, Noria de Angeles, Ojocaliente (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2003). Actualmente, el municipio de Pinos concentra el 73% de la superficie estatal con 13,360 ha (SIAP, 2015) y puede ser considerado uno de los sitios que concentra la mayor superficie de tuna a nivel mundial (García-Herrera, 2003). La producción de tuna en este estado proviene de pequeñas explotaciones poco capitalizadas ya que son plantaciones en donde no se realizan podas de sanidad ni de formación,

están en condiciones de temporal, hay inversiones mínimas de fertilizantes y pesticidas, y sus huertas tienen baja densidad, lo que repercute en la intensidad de manejo del cultivo, reflejándose en un bajo rendimiento y mala calidad del fruto (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2003; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2009).

El cultivo de nopal es de tipo extensivo debido a que está establecido mayoritariamente en tierras de agostadero y agrícolas, tienen infraestructura para la comercialización de la tuna, además de que los productores son apoyados por programas gubernamentales, tienen un limitado uso de insumos y rendimientos promedios de 6.48 t ha⁻¹, también tienen una diversidad varietal a nivel comercial (Gallegos-Vázquez y Cervantes, 2002). Ya que recientemente se ha venido dando una diversificación en cuanto al establecimiento de cultivares disponibles, ya que de predominar cultivares de pulpa blanca ahora se ha incentivado variantes de color roja y amarilla: Alfajayucán (439 has), Rojo pelón (3456 ha), Burrón (3616 ha), Cristalina (5210 ha) y Amarilla (5483 ha), principalmente (Gallegos-Vázquez y Cervantes, 2002). En esta región, la producción de tuna representa una alternativa viable respecto de cultivos como el maíz, frijol y cebada. Sin embargo, su potencial productivo no ha sido totalmente explorado debido a la falta de planeación para su desarrollo, así como la falta de apoyo hacia los productores, lo cual interviene negativamente en que Zacatecas se situó a la vanguardia a nivel nacional (Gallegos-Vázquez y Cervantes, 2002).

Por otro lado, el estado de Zacatecas aporta también una importante superficie de nopal para la obtención de forraje con 948 ha que representan el 6% de la superficie total a nivel nacional, lo cual ofrece una importante fuente de alimentación para la actividad ganadera estatal, principalmente de rumiantes y ovinos. Asimismo, la superficie estatal de nopal con fines hortícolas es de 324 ha y su aportación nacional es 2.6% (SIAP, 2015). Esta reducida superficie para la producción de nopalito puede estar relacionada a la alta disponibilidad que existe de la hortaliza proveniente de la recolección de plantaciones silvestres, las cuales aún representan una importante superficie en el estado. Un aspecto importante de resaltar es que de acuerdo a la demanda que existe ambos sistemas productivos pueden ser empleados con doble propósito (nopalito-forraje) ya que los cultivares establecidos (Jalpa, Villanueva y COPENA VI) tienen aptitudes forrajeras y hortícolas.

2.5 Usos del nopal y su fruto

Existen diversos productos y coproductos obtenidos tanto de la penca como de la tuna, como son: jugos y néctares, bebidas fermentadas, mermeladas, jaleas, dulces, colorantes, fructuosa, aceites comestibles, entre otros (Méndez-Gallegos y García, 2006). El aprovechamiento de residuos del nopal constituyen una alternativa para la generación de biogás, biodiesel, y bioetanol (Méndez-Gallegos *et al.*, 2011). Del mismo modo el nopal es empleado como forraje para bovinos de carne y leche, ovicaprinos, caprinos y ovinos que son explotados de forma extensiva o semi-intensiva, ya que las pencas proporcionan agua, principalmente en épocas de sequía y ayuda a ganar peso corporal (Méndez-Gallegos *et al.*, 2004b y Mejía *et al.*, 2010). Aunque el nopal contribuye en la dieta del ganado al aportar energía principalmente por su contenido de fibra y existen limitantes por su bajo contenido proteico y de fosforo, por lo que debe ser compensado con otros suplementos (Mejía *et al.*, 2010).

Uno de los usos principales del nopal es en la cría de cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) (Méndez-Gallegos *et al.*, 2004a). Las pencas también se han utilizado para la fabricación de harinas, la cual es usada para preparar tortillas y botanas, su obtención permite diversificar el empleo del nopal en otros subproductos, lo que facilita su manejo, conservación y disponibilidad (Méndez-Gallegos *et al.*, 2004b). También, es usado en la elaboración de productos cosmetológicos (Méndez y García, 2013).

El nopal desempeña un importante papel ecológico al constituir una fuente de materia orgánica al suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, de igual forma protege el suelo de la erosión eólica e hídrica e incrementa su permeabilidad y la retención de agua (Méndez-Gallegos *et al.*, 2004b). En varias zonas rurales del país es empleado para delimitar propiedades y como cercos vivos, y es aprovechado como substrato para lombricomposta de donde se obtiene abono orgánico de calidad (Méndez-Gallegos y García, 2013).

2.6 Sistemas de producción de nopal

El alto grado de especialización que se ha generado en cuanto a la tecnología agrícola empleada en cada sistema de producción tuna, verdura y forraje, permite diferenciar y caracterizar cada componente, aunque varían en función de la región, de las condiciones agroclimáticas y el grado

de tecnología aplicada, que influyen en el rendimiento y la productividad de dichos sistemas (Callejas-Juárez *et al.*, 2009). En general existen diferencias entre el sistema de producción de tuna y los de nopalito y forraje. En cuanto a la caracterización de los sistemas productivos en México Mondragón y Gallegos (2013) realizaron una completa descripción de los tres componentes de los sistemas comúnmente establecidos en las diferentes regiones productoras. Actualmente, las plantaciones se han establecido con densidades más altas y en melgas que permiten obtener rendimientos más altos. Una variante que se aplica en aquellas zonas con regiones poco propicias para el desarrollo del nopal es el sistema de producción forzada, mediante el uso de cubiertas plásticas, tuneles y macrotuneles, invernaderos casa-sombra, entre otros.

2.7 Manejo de plantaciones de nopal

La falta de manejo tecnificado de los huertos ocasiona una producción deficiente y baja cantidad de cladodios jóvenes, lo que repercute negativamente en el rendimiento de los cultivos de nopal (Franco, 1992). Al respecto diversos diagnósticos ponen de manifiesto el descuido y abandono de las plantaciones; en afinidad Esparza y Figueroa (1994) resaltan que en el estado de Zacatecas más del 80% de los productores reveló no dar ningún manejo a sus huertos. Asimismo, resaltaron que es necesario considerar si aquellos que proporcionan manejo a sus plantaciones lo hacen de manera adecuada, oportuna y suficiente. De manera particular, García y Méndez (2006) resaltan que en Zacatecas los factores técnicos, tales como el deficiente manejo de las plantaciones originan bajos rendimientos e inestabilidad de la producción, ya que solo 40% de los productores llevan a cabo las prácticas de cultivos recomendadas. Este porcentaje se reduce drásticamente para el estado de San Luis Potosí, dado que García *et al.* (2008) registraron que solo 6% de los productores encuestados realizan todas las prácticas culturales.

Callejas-Juárez *et al.* (2009) señalan que en México hay grandes diferencias de rendimiento en la producción de nopalito entre los estados, lo que se relaciona directamente con el bajo nivel tecnológico de los sistemas productivos, las restricciones climáticas para la producción (sequía, bajas temperaturas), el escaso manejo agronómico (menos de 10% de los productores realizan todas las prácticas agrícolas recomendadas) y la incidencia de plagas y enfermedades.

Un aspecto importante a considerar es que el combate y manejo de plagas y enfermedades representa uno de los aspectos que mayormente se descuidan (Esparza y Figueroa, 1994; García y

Méndez, 2006; García *et al.*, 2008) e incluso Márquez-Berber *et al.* (2012) resaltan que la principal limitante del sistema de producción en el Estado de México para los productores de nopal es precisamente el control de plagas y enfermedades. La falta de manejo eficiente y tecnificado tiene como resultado que no se manifieste el potencial productivo de las plantaciones (García *et al.*, 2008).

2. 8 Aspectos fitosanitarios del nopal

La diversidad biológica de nopal en México es de importancia ya que gran cantidad de especies animales están asociadas con esta planta, como insectos fitófagos nativos, enemigos naturales, fitopatógenos y también algunos que son exóticos, los cuales se encuentran en el nopal en estado silvestre sin representar problemas serios. Sin embargo, cuando atacan plantaciones comerciales se observan daños considerables (Zimmermann *et al.*, 2005).

Existen alrededor de 300 especies de insectos asociados a cactáceas, de los cuales un poco más de 100 son de importancia como fitófagos y como vectores de enfermedades. La mayoría de especies pertenecen al orden Lepidóptera y Coleóptera, particularmente a las familias Pyralidae y Curculionidae (Sánchez-Borja, 2002; Mena y Rosas, 2004). Alrededor de 20 especies de insectos considerados como plaga del nopal se encuentran en la región del altiplano mexicano, principalmente en Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Potosí. Dentro de los insectos de mayor importancia destacan: el picudo barrenador *Metamasius (Cactophagus) spinolae* (Coleoptera: Curculionidae), seguido por la cochinilla (*Dactylopius* spp), gusano cebra (*Ollycela nephefra*), chinche gris (*Chelinidea* spp), gusano blanco (*Laniifera cyclades*) y picudo de la areola (*Cylindrocoptorus birradiatus*) (Mena y Rosas, 2004; García *et al.*, 2008). Por otro lado, por su alto nivel de daño las principales enfermedades que atacan al nopal son: el ‘engrosamiento de cladodios’ o ‘chatilla’, el ‘mal de oro’, la ‘pudrición suave’ y la ‘mancha negra’.

Uno de los síntomas que se ha observado en las plantaciones comerciales de nopal es el aquí denominado “acorazonamiento” de cladodios (Figuras 2 y 3) los cuales pierden la dominancia apical, reduciendo la posibilidad de emitir nuevos brotes. Esto podría causar daños de importancia económica al reducir la productividad y calidad de la tuna y del nopalito, además de que se desconoce el agente causal de este problema y el porcentaje de afectación en plantaciones comerciales de tuna y nopalito.



Figura 2. Planta con cladodios acorazonados de la cultivar “Villanueva” en una plantación para la producción de nopal en Villanueva, Zacatecas.



Figura 3. Vista general de una plantación comercial de nopal que fue muestreada, en donde se observa el ‘acorazonamiento’ de cladodios.

III. OBJETIVO GENERAL

Determinar los aspectos básicos del acorazonamiento de cladodios en sistemas productivos de *Opuntia* sp. y el impacto económico en su producción.

IV. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el estado actual de la producción de nopal tunero, verdura y forrajero a nivel nacional.
- Identificar la tipología e integración de productores de tuna en la comunidad de Pinos, Zac.
- Determinar la sintomatología del acorazonamiento de cladodios de nopal.
- Estimar la incidencia y severidad del acorazonamiento en plantaciones comerciales de nopal.
- Estimar el impacto económico del acorazonamiento de cladodios en la producción de nopal en Villanueva, Zac.
- Identificar el agente causal del acorazonamiento en plantaciones comerciales de nopal.

V. HIPÓTESIS

El acorazonamiento de cladodios de *Opuntia* sp. es causado por un factor de tipo biológico, que ocasiona una disminución en la producción de brotes vegetativos y florales.

VI. ÁREA DE ESTUDIO

Se definen las condiciones ambientales y económicas en torno a la producción de nopal en el área de estudio en los siguientes apartados.

6.1 Localización, temperatura y precipitación

La presente investigación se realizó en plantaciones localizadas en los municipios de Villanueva y Pinos, Zacatecas (Figura 4). El municipio de Pinos está ubicado en la región sureste, pertenece a la provincia fisiográfica Campo Volcánico Meridional. Se sitúa en los 22° 16' 58" latitud norte y 101° 47' y 101° 34' 51" de longitud oeste; su altura promedio es de 2385 msnm. La temperatura media anual es de 16.2 °C y una precipitación media anual de 447.8 mm (CONAGUA, 2014). Por otra parte, el municipio de Villanueva pertenece a la región sur, en la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, está ubicado a los 22° 21' 46" N y 102° 53' 21" W, a una altura de 1935 msnm. La temperatura promedio es de 16.4 °C y la precipitación media es de 527.5 mm (CONAGUA, 2014).

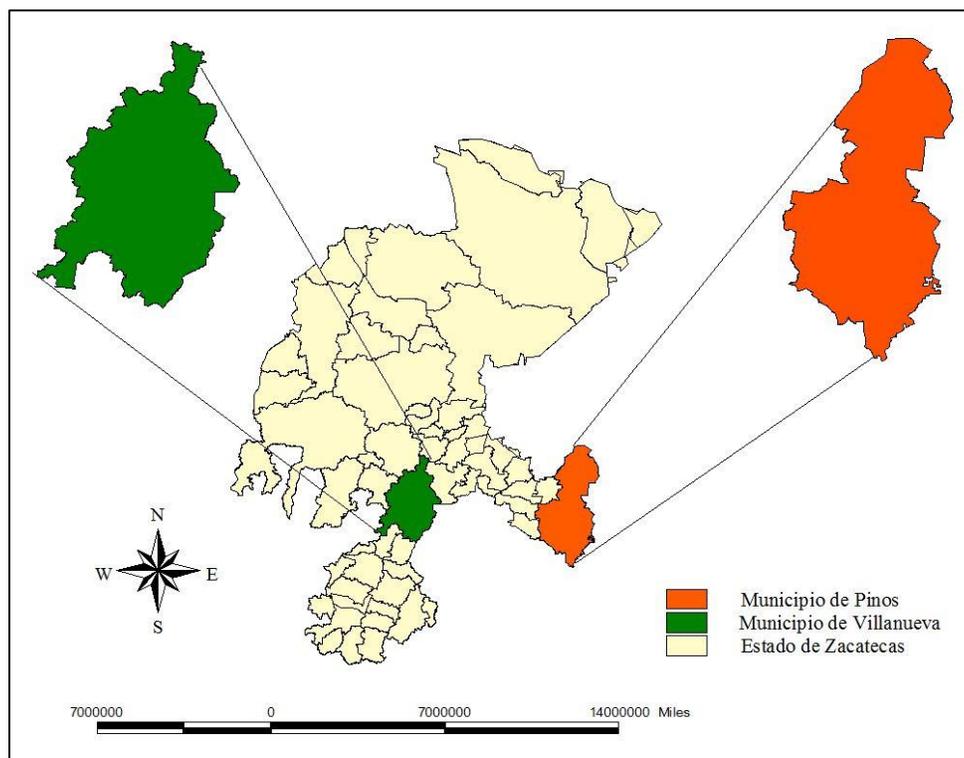


Figura 4. Localización de las áreas de estudio.

6.2 Entorno socioeconómico

Las actividades en que se desenvuelve la economía regional del sureste del estado de Zacatecas están centradas en la producción de tuna (Cuadro 1) ya que en esta región se concentra una gran cantidad de plantaciones comerciales de nopal tunero, áreas de nopaleras silvestres y huertos de traspatio. El cultivo de nopal para fines frutícolas es la actividad agrícola que presenta el valor más alto en la producción a pesar de tener niveles bajos de rendimiento en comparación con otros cultivos perennes como agave y alfalfa, lo cual es compensado al ser comercializado ya que su precio de venta es mayor. Su cultivo repercute en el 24.66% del valor económico total, y sumado a este el valor del nopal verdura (1.62%) y forrajero (0.41%), teniendo un total de 26.69% que está contribuyendo a la economía agrícola de Zacatecas (Cuadro 1). De manera particular el municipio de Pinos, Zac. es el principal productor de tuna a nivel nacional (SIAP, 2013). La producción de nopal verdura y forrajero es más bajo; sin embargo, también contribuye a la economía agrícola del estado, en donde el municipio de Villanueva es el que obtiene los mayores rendimientos de nopal forrajero a nivel nacional. Asimismo, se presentan la agricultura de subsistencia y la producción pecuaria de especies menores. De igual forma en la región sur, la producción de tuna, nopalito y forraje es uno de los ejes en los que destaca la economía regional. Por otro lado, el ganado bovino es la principal especie ganadera, seguido de los ovinos, aunque también hay presencia de un gran número de equinos que son fuente de ingreso en las comunidades (Gallegos-Vázquez y Cervantes, 2002).

Cuadro 1. Principales cultivos que impactan en la economía de Zacatecas.

Cultivo	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha⁻¹)	PMR (\$ t⁻¹)	Valor de producción (miles de pesos)	Aporte a la economía agrícola del estado (%)
Tuna	17,606	219,384	12	2,829	620,535	24.7
Alfalfa	13,388	1,127,377	84	477	537,818	21.4
Otros cultivos	24,509	414,733	260	128,593	408,146	16.2
Agave	2,269	187,338	83	1,728	323,808	12.9
Guayaba	3,040	49,864	16	5,770	287,699	11.4
Uva	3,519	44,773	13	6,405	286,762	11.4
Nopalitos	279	8,897	32	4,593	40,862	1.6

Nopal forrajero	720	23,019	32	446	10,274	0.4
Total	65,329	2,075,385	533	150,840	2,515,904	100

Fuente: SIAP, 2014.

CAPITULO I. ESTADO ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE NOPAL A NIVEL MUNICIPAL EN MÉXICO

1.1 RESUMEN

El nopal (*Opuntia* sp.) es considerado una de las especies de mayor importancia social y económica para los habitantes del medio rural, ya que en México es fuente de alimentación y subsistencia. Existen nopaleras silvestres y se cultiva en huertas y plantaciones comerciales. Los productores manejan sus unidades de producción de distinta forma y mantienen relaciones entre ellos. Estas diferencias permiten la tipificación de productores, importante para la implementación eficiente de políticas de intervención rural dirigidas a grupos específicos. Con base a lo anterior el objetivo general del estudio fue generar una red social de productores de nopal tunero sobre la base de una tipología de producción en el marco nacional para identificar elementos que apoyen el diseño de un programa innovador de manejo de los sistemas productivos de nopal. Se analizó información de nopal tunero, verdura y forrajero: superficie sembrada (SS), volumen de producción (VP) y rendimiento (SIAP, 2013) y se estratificó, se generó una curva de Lorenz (SS vs VP). Por otro lado, se aplicó una encuesta a productores tuneros de Pinos, Zacatecas en el 2014 y se realizó un análisis multivariado; correlación de variables, identificación de Componentes Principales (CP) y formación de clústers lo que permitió diferenciar grupos de productores con características distintivas. Milpa Alta, Distrito Federal y Tlalnepantla, Morelos son los mayores productores de nopal verdura; Pinos, Zacatecas es el más importante en producción tunera; y Castaños, Coahuila es el que más aporta a la producción de nopal forrajero. Los municipios con elevada producción de nopalito son Melchor Ocampo, San Martín de las Pirámides, Tultepec, Teotihuacán y Cuautitlán Izcalli en el Estado de México con un rendimiento promedio de 125 t ha^{-1} ; los municipios tuneros emergentes son General Felipe Ángeles y Palmar de Bravo, Puebla, con 20 t ha^{-1} , y en nopal forrajero son Asientos, San Francisco de los Romo, Ags. y Villanueva, Zac. con 45 t ha^{-1} . Los productores de tuna de Pinos, Zacatecas se integran en diez diferentes grupos, tipificados por el porcentaje de ingreso económico del cultivo de tuna, la edad del productor, el rendimiento de tuna, su actividad económica secundaria y sus relaciones asociativas. Ellos se encuentran estructurados en una red social con actores clave por cada grupo, su integración está determinada por las fuertes relaciones asociativas y de liderazgo. Estos grupos tienen similitudes en sus necesidades, por lo que se deben crear estrategias enfocadas a incrementar el rendimiento de tuna, así como crear y

fortalecer las relaciones con socios foráneos y locales para ampliar el mercado y mejorar la calidad del fruto.

CHAPTER ONE. CURRENT STAGE OF CACTUS PEAR PRODUCTION AT TOWNSHIP LEVEL IN MEXICO

1.2 ABSTRACT

The cactus pear (*Opuntia spp.*) is a valuable plant resource for Mexican people living in the rural areas; its social and economic importance comes from being a food source and a subsistence activity. There are wild cactus populations, as well as small backyard and extensive commercially planted orchards. Cactus growers manage their production systems differently, and develop relationships among them. These differences allow making a growers typology, as a first step for efficiently implementing rural politics addressing specific groups. The general objective was to create a social net of cactus pear fruit growers based on a country level framework of production typology in order to identify the elements to design an innovative program for the management of cactus productive systems. The variables analyzed for cactus pear fruit, forage, and vegetable uses included: planted area (SS), production volume (VP), and yields, with data provided by Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesquera (2013); the data was stratified, and a Lorenz curve was generated (SS vs. VP). Also, a survey was implemented for cactus pear fruit growers from Pinos (Zacatecas) during 2014, and a multivariate analysis was done for variable correlation, principal component identification, and cluster formation; this analysis allowed for tell apart growers groups with distinctive characteristics. Milpa Alta (Distrito Federal) and Tlalnepantla (Morelos) are the biggest producers of cactus as vegetable; Pinos (Zacatecas) is the most important for cactus pear fruit production; and Castaños (Coahuila) is the municipality that grows the most of cactus forage. Melchor Ocampo, San Martin de las Piramides, Tultepec, Teotihuacan and Cuautitlan Izcalli (Estado de Mexico) are the townships with higher production for cactus as vegetable commodity, and their average yields are 125 t ha⁻¹. The leading producing counties for cactus pear fruit production are General Felipe Angeles and Palmas del Bravo (Puebla) with yields of 20 t ha⁻¹. As for cactus growing areas with the highest forage production, Asientos and San Francisco de los Romo (Aguascalientes) and Villanueva (Zacatecas) were the townships with average yields of 45 t ha⁻¹. The cactus pear fruit growers from Pinos (Zacatecas) were fit in ten different groups based on: the percentage of income coming from selling the cactus fruit, the fruit yields of the cactus orchard, an extra economic activity, and the building of relationships among

them. Those growers belong to a social net with key actors in each group, and their integration is determined by strong associative relationships and leadership. These groups also have similarities in their needs; therefore, they need to develop strategies to increase cactus fruit yields, as well as to create and strength the relationships with local and foreign partners in order to expand the cactus market, and improve the cactus fruit quality.

1.3 INTRODUCCIÓN

La producción de nopal tunero, verdura y forrajero en México, en términos de superficie sembrada, volumen de producción y rendimiento difieren de una zona a otra y están condicionados por las características propias del lugar donde se cultiva. Las prácticas de manejo que realizan en las plantaciones comerciales (Callejas-Juárez *et al.*, 2009). Cada unidad productiva es vista como un sistema ya que intervienen factores ambientales, biológicos y humanos. La comprensión del funcionamiento de un sistema está dado por sus componentes, la integración de éstos y su grado de relación (Drack y Schwarz, 2010). Dicho sistema se desarrolla en un tiempo y espacio territorial; además, forma una estructura y niveles jerárquicos, lo que lo hace complejo. Tiene un carácter dinámico en el que sus componentes juegan un papel muy importante para el adecuado funcionamiento del mismo y todos los actores tienen la posibilidad de crear cambios (Figuroa, 2010). También es influenciado por actores externos al estar en continuo flujo de comunicación, lo que crea un cierto grado de organización interna y externa, por lo que el sistema debe ser visto de afuera hacia adentro y viceversa ya que cumple al mismo tiempo la función de un subsistema y de un sistema mayor (Dubrovsky, 2004).

Referente a lo anterior, los productores de tuna de la comunidad de La Victoria, municipio de Pinos, Zac. forman un complejo de relaciones entre ellos, al estar en constante comunicación en ámbitos como son el manejo de las plantaciones, los apoyos gubernamentales, el control de plagas y enfermedades, la transformación y comercialización de la tuna, la vinculación con productores de otros municipios y estados, así como con instituciones educativas. Esto repercute en el grado de conocimiento, tecnificación y comercialización de la tuna, reflejándose en el estado actual de las plantaciones de nopal tunero. Por lo anterior es pertinente conocer el grado de relación entre los productores de tuna de La Victoria a través de la generación y análisis de una red social que permita identificar aquellos productores clave y su grado de centralización.

La red social es una técnica que representa visualmente y matemáticamente como están dadas las relaciones entre los actores de un sistema (Smith, 2009.). Su contribución es importante ya que ofrece un análisis detallado de la estructura, dinámica e integración de sus componentes (productores) (Smith *et al.*, 2009). También permite identificar las relaciones de cooperación, competencia, el flujo de información, las jerarquías y el aprendizaje social (Sih *et al.*, 2009), entre

otros. Por otro lado, el identificar la tipología de productores facilitará la formación de grupos productivos de acuerdo a la tecnificación, manejo de sus plantaciones y vinculación con otros productores a partir de ciertas características que los diferencian o que los acercan (Martínez-Carrasco *et al.*, 2009). Es una técnica usada en agronomía para diferenciar la tecnificación en diversos cultivos y en la separación de grupos que usen marcadores económicos, cualitativos, ambientales y de organización (Renaud-Gentie *et al.*, 2014).

Dichos rasgos distintivos están enfocados en este estudio a la producción de nopal tunero y sus relaciones con otros productores, ya que conociendo el funcionamiento de las relaciones humanas es posible integrar un plan de manejo y estrategias de producción de nopal tunero que estén dirigidas específicamente a las necesidades de cada grupo de productores y que atiendan sus objetivos primordiales, para hacer más eficiente el manejo y aprovechamiento de sus plantaciones de nopal. Así mismo, permite la distribución equitativa de los apoyos gubernamentales dirigidos hacia los grupos que más lo requieren.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Generar una red social de productores de nopal tunero sobre la base de una tipología de producción para identificar elementos que apoyen el diseño de un programa innovador de manejo de los sistemas productivos de nopal.

1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar la desigualdad municipal y estatal de la producción de nopal tunero, verdura y forrajero a nivel nacional para identificar áreas eficientes en el cultivo de este recurso hortícola.
- Estratificar la superficie sembrada, volumen de producción y rendimiento de nopal tunero, verdura y forrajero para determinar áreas emergentes en la producción.
- Determinar los tipos de productores de tuna en una comunidad rural para direccionar estrategias de manejo hacia los puntos más vulnerables del sistema productivo en base a necesidades diferenciadas.
- Identificar la red social de productores de tuna en una comunidad rural de Zacatecas para establecer los actores clave en la aplicación de un programa de innovación rural.

1.6 HIPÓTESIS

El análisis de la desigualdad en la producción de nopal y su estratificación permite identificar zonas emergentes y zonas vulnerables en su producción.

Una comunidad de productores de tuna puede ser dimensionada a través de una red social para formular un programa de innovación rural.

Los productores de tuna en una comunidad rural presentan características distintivas que permiten diseñar y aplicar estrategias de innovación rural.

1.7 MATERIALES Y MÉTODOS

La definición de tipos de productores de nopal comienza con el análisis de producción y superficie de nopal a nivel municipal estratificando mediante una curva de Lorenz para identificar las áreas líderes y emergentes en la producción de nopalito, tuna y forraje. Después se construyó una red social de productores de nopal en el municipio de Pinos, Zacatecas, principal productor de tuna. Finalmente, se aplica una encuesta sobre la base del nivel de productividad, orientación al mercado, su tipo de relación en cuanto a búsqueda de consejos técnicos, de financiamiento o de liderazgo para identificar tipos de productores de nopal.

1.7.1 Producción de nopal tunero, nopal forrajero y nopal verdura a nivel nacional.

Para analizar la desigualdad municipal y estatal de la producción de nopal se examinó la producción de nopal verdura, tunero y forrajero en cuanto a superficie sembrada, volumen de producción y rendimiento (SIAP, 2013). Se generó una estratificación optimizada (Dalenius y Hodges, 1959) con niveles: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo) para establecer la desigualdad entre municipios e identificar los que sobresalen a nivel nacional, así mismo se generó una curva de Lorenz (superficie sembrada vs volumen de producción) para identificar los municipios que cuentan con pequeñas superficies y tienen aportaciones significativas en la riqueza nacional, focalizándolos como áreas emergentes en el sistema productivo de nopal (Lorenz, 1905).

1.7.2 Red social de productores de nopal tunero en Pinos, Zac.

Se construyó una red social de productores de nopal tunero de una comunidad rural registrados en PROCAMPO. Se identificaron las coincidencias en apellidos como indicadores de relación entre ellos y su geometría en cuanto a generación de relaciones, recepción de relaciones, centralidad y cercanía al centro de la red y las relaciones con grupos ya formados. Los parámetros identifican las potencialidades y rapidez de la comunicación con que puede adoptarse la información o una innovación dentro de una comunidad en concreto. También, permite la identificación de actores clave por su posición dentro de la red, lo que facilita y da eficiencia a la introducción de estrategias de intervención en el sistema productivo de nopal abarcando la mayor cantidad de beneficiarios.

1.7.3 Tipología de productores de nopal tunero en Pinos, Zacatecas.

Se analizaron 38 encuestas que fueron aplicadas a productores tuneros de Pinos, Zac., en las que se evaluaron 23 variables (Cuadro 2). Se realizó la tipificación de productores de tuna sobre la base del nivel de productividad, orientación al mercado, su tipo de relación en cuanto a búsqueda de asesoría técnica, de financiamiento o de liderazgo con otros productores. Se delimitaron aquellas variables que tenían más del 80% de respuestas iguales ya que proveían información homogénea o donde menos del 20% de los encuestados respondieron y no se construyó una base confiable de respuestas. Las variables que estaban entre 20% y 80% fueron sometidas a un análisis de correlación para determinar si existía dependencia entre variables (correlaciones mayores a $|0.7|$), eliminado aquellas variables dependientes. Con las variables independientes restantes se realizó un análisis de componentes principales y se generó un clúster, lo que permitió determinar grupos de productores por similitud de las características evaluadas e identificar las necesidades de cada conjunto. Finalmente los productores fueron ubicados dentro de la red social para identificar su posición en el sistema productivo de nopal. Con estos dos elementos (red social y tipología) se brindan las bases para el diseño dirigido de estrategias innovadoras en el manejo de los sistemas productivos de nopal.

Cuadro 2. Variables evaluadas en la encuesta aplicada a productores de tuna de Pinos, Zac.

Edad	Tradición del cultivo de tuna	Grado de estudios	Actividad principal (tuneros)	Actividad secundaria (ganaderos)	Comercialización de tuna	Producción de tuna	Relación entre productores y su localidad
Edad del productor	Hereda la tradición a familiares	Ninguno	Principal actividad	Actividad secundaria u otras actividades	Produce tuna	Superficie cultivada	Líder
	Hereda la tradición a parientes políticos	Primaria	% de ingreso actividad 1	% de ingreso segunda actividad	Vende tuna	Volumen de tuna ($t\ ha^{-1}$)	Consejero
	Hereda la tradición a nadie de la familia	Secundaria			Transforma tuna		Socio
	No hereda la tradición	Preparatoria					

1.8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.8.1 Análisis de la superficie sembrada de nopal verdura

De acuerdo al análisis de los datos obtenidos en el SIAP (2013), son 26 estados los que cultivan nopal verdura, en los que se distribuyen 198 municipios dedicados a dicha actividad. La superficie sembrada (SS) en cada uno de ellos varía considerablemente (Figura 5), el 40% de los municipios están en un nivel muy bajo de SS con menos de 4 ha comparado con el 9% que tienen entre 100 y 4327 ha. Cabe mencionar que estos datos fueron contrastados con los publicados hace 10 años en el SIAP (2003), destacando que la SS de nopal verdura incrementó de 9,710.34 ha a 13,123.91 ha en los últimos 10 años. Su producción se ha establecido en 98 municipios diferentes, aunque, son 45 los municipios que han dejado de producir nopal, principalmente, en Jalisco, Aguascalientes y Michoacán (SIAP, 2003). Cabe mencionar que a pesar de que existen municipios en donde ya no se cultiva el nopal, hay otros en los que se está implementando. Un caso particular es el Estado de México, aquí incrementaron las áreas de producción de nopal ya que se sumaron 14 municipios a los ya existentes. Así mismo, en los estados de Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Sonora y Tamaulipas se han extendido las áreas de producción de nopal, registrándose un incremento de 8 a 10 municipios por estado que ya cultivan este recurso alimenticio. Esto indica un auge en su producción y su desplazamiento hacia otras zonas que posiblemente son más propicias para su cultivo.

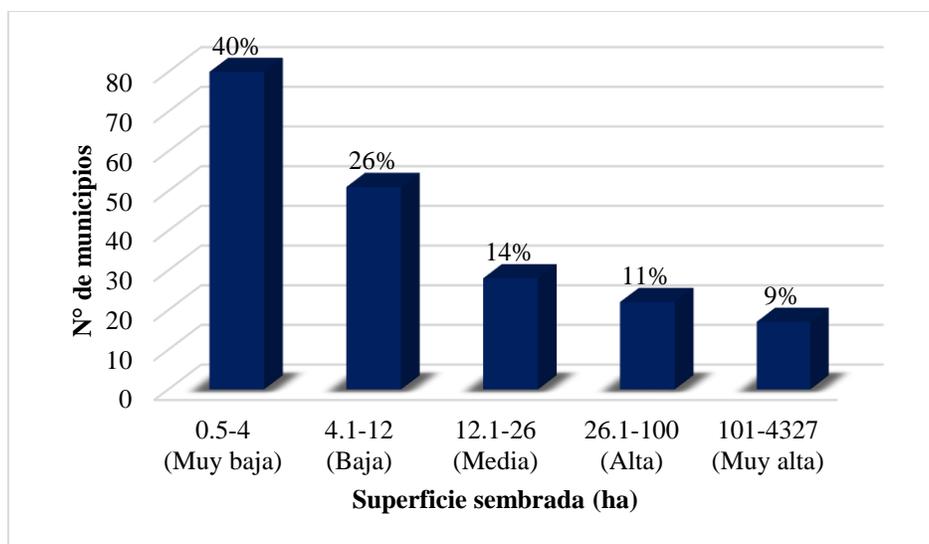


Figura 5. Distribución de municipios por superficie sembrada (ha) de nopal verdura.

Los municipios que se destacan por estar dentro de la clase “Muy alta” de SS (Figura 6) de nopal verdura son Milpa Alta, D.F con 4327 ha y Tlalnepantla, Morelos con 2458 ha, Zapopan. Estas entidades se han mantenido en los últimos 10 años como los mayores productores debido a su alta SS, viéndose incrementada en 151 ha y 688 ha respectivamente. En este mismo periodo, Milpa Alta disminuyó su rendimiento de 80 a 62 t ha⁻¹, en cambio Tlalnepantla lo incrementó de 30 a 96 t ha⁻¹ (SIAP, 2003 y SIAP, 2013). Por tanto este municipio presenta un importante auge en su producción, debido posiblemente a adecuadas prácticas de manejo y comercialización de su producción. De acuerdo con Venado-Campos *et al.*, 2015 Tlalnepantla, Morelos es un municipio que combina el uso de tecnología tradicional y moderna, además que hacen uso de innovaciones tecnológicas que potencian las fuerzas productivas. También el 77% de los productores destinan su producto a un centro de acopio de la comunidad, lo que les asegura la venta. Lo anterior refleja el porqué del auge en su producción, ubicándolo en una posición importante para seguir sus prácticas de manejo y así poder lograr rendimientos altos. Por otro lado, el estado de México cuenta con el mayor número de municipios (24) que producen nopal verdura, destacándose San Martín de las Pirámides, Otumba y Atlacomulco. Este estado ha incrementado su área de producción, posiblemente debido a la oportunidad que tienen de venderlo en los mercados de la Ciudad de México, ya que 10 años antes únicamente 12 municipios de este estado producían nopal, (SIAP, 2003). Por otro lado, el estado de Morelos, aunque cuenta solo con cinco municipios dedicados a producir nopal tiene tres de ellos con muy alta superficie sembrada (Tlalnepantla, Tlayacapan y

Totolapan). Lo cual indica que la concentración de la producción, facilita el acopio y comercialización, además de que permite el establecimiento de clusters productivos.

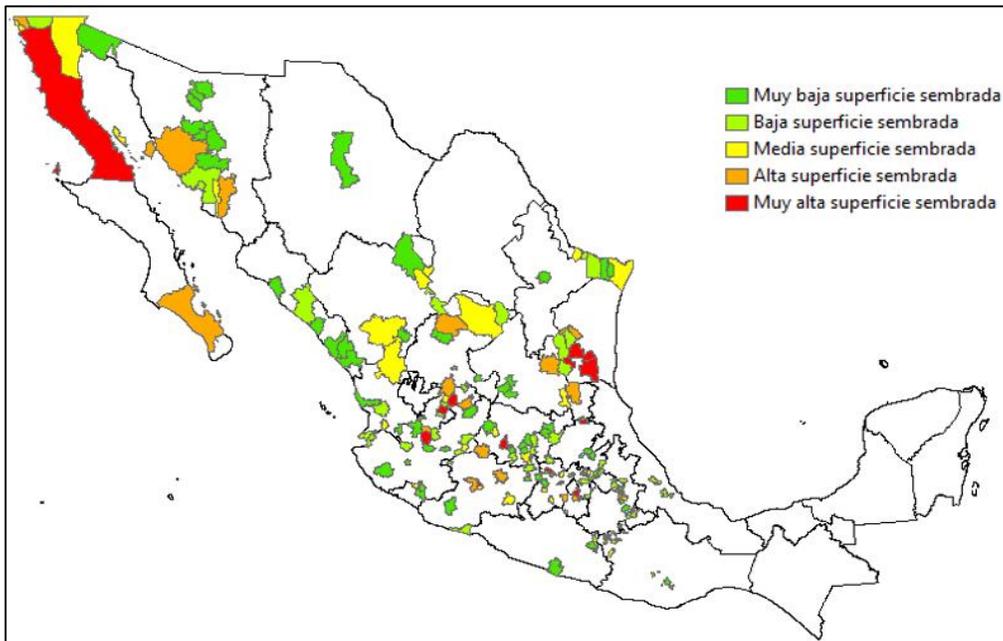


Figura 6. Distribución de las clases de superficie sembrada (ha) con nopal verdura por estado.

1.8.2 Análisis del volumen de producción de nopal verdura

En base a lo registrado hace 10 años por el SIAP (2003), el volumen de producción de nopal verdura incremento de 563,443 t a 786,774 t en el 2013 (SIAP, 2013). Cabe mencionar que en la actualidad el 58 % de los municipios dedicados a esta actividad, producen menos de 175 t y solo el 19% se destaca por producir de 675 a 269,848 t, lo cual refleja la gran disimilitud en la producción de esta hortaliza (Figura 7). Estas discrepancias están relacionadas con la superficie sembrada, con los regímenes climáticos de cada zona y con el manejo que se da a las plantaciones.

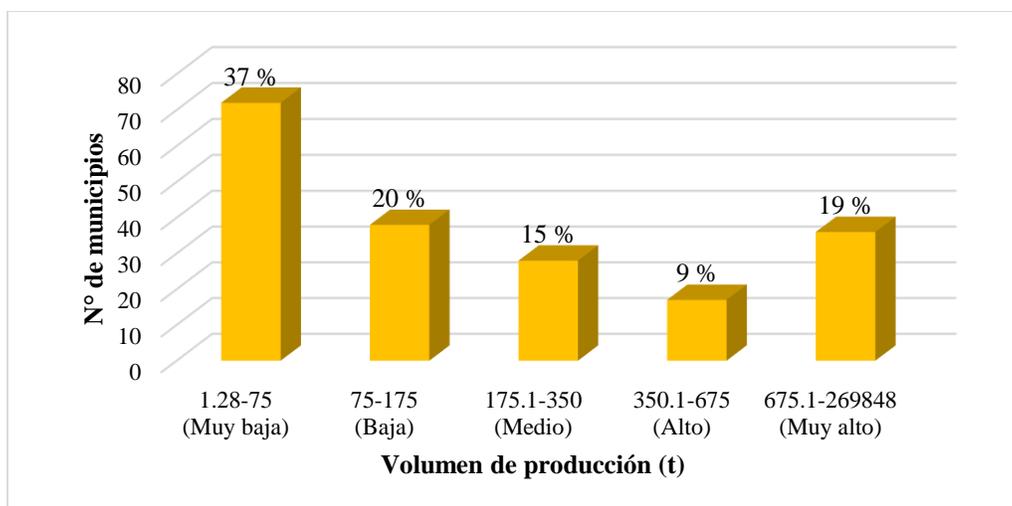


Figura 7. Distribución de municipios por volumen de producción (t) de nopal verdura.

Milpa Alta, D.F. y Tlalnepantla, Morelos se destacan por su volumen de producción con 269,848 y 231,168 t respectivamente. Milpa Alta disminuyó en 66,407 t su volumen en los últimos 10 años, lo contrario de Tlalnepantla que aumentó su volumen cuatro veces. Cabe mencionar que Otumba, México con 48,631 t, Totolapan, Mor. con 48,000 t y Tlayacapan, Mor. con 42,300 t, son de los municipios con mayor volumen de producción (Figura 8). Estos dos últimos municipios no producían nopalito hace 10 años, y en la actualidad tienen un auge en su producción.

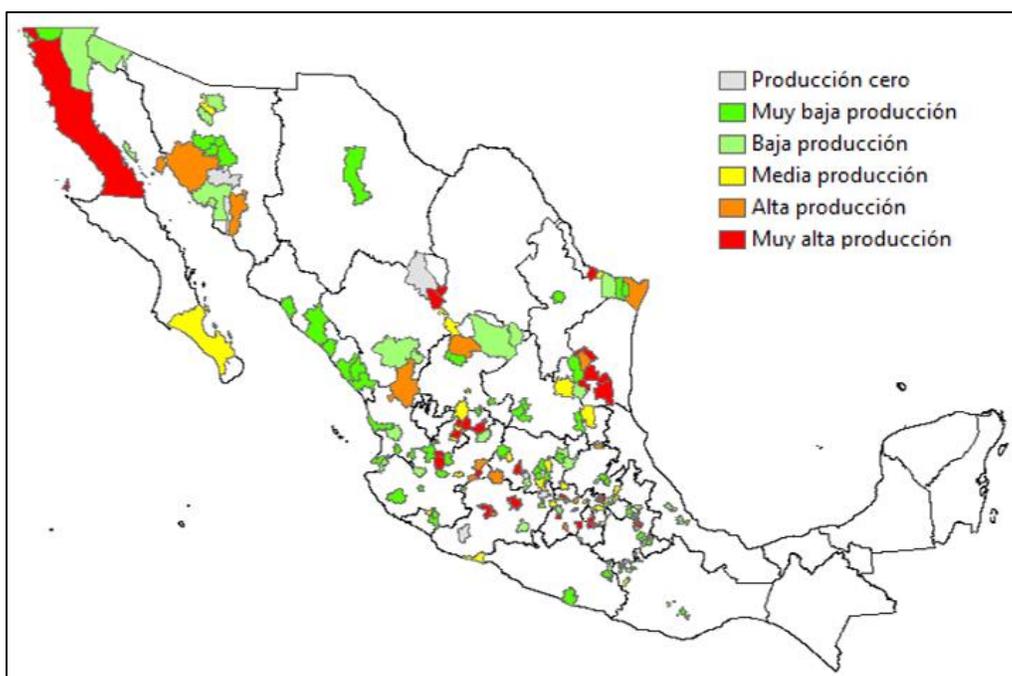


Figura 8. Distribución de las clases de volumen de producción (t) de nopal verdura.

1.8.3 Análisis del rendimiento en la producción de nopal verdura

El rendimiento promedio de nopal verdura hace 10 años era de 58.82 t ha⁻¹ y en la actualidad es de 62.84 t ha⁻¹ SIAP (2013), esto refleja un auge en su producción. Cabe mencionar que el 71% de los municipios tienen un rendimiento menor a 34 t ha⁻¹ y solo el 12 % obtiene entre 58 y 135 t ha⁻¹ (Figura 9).

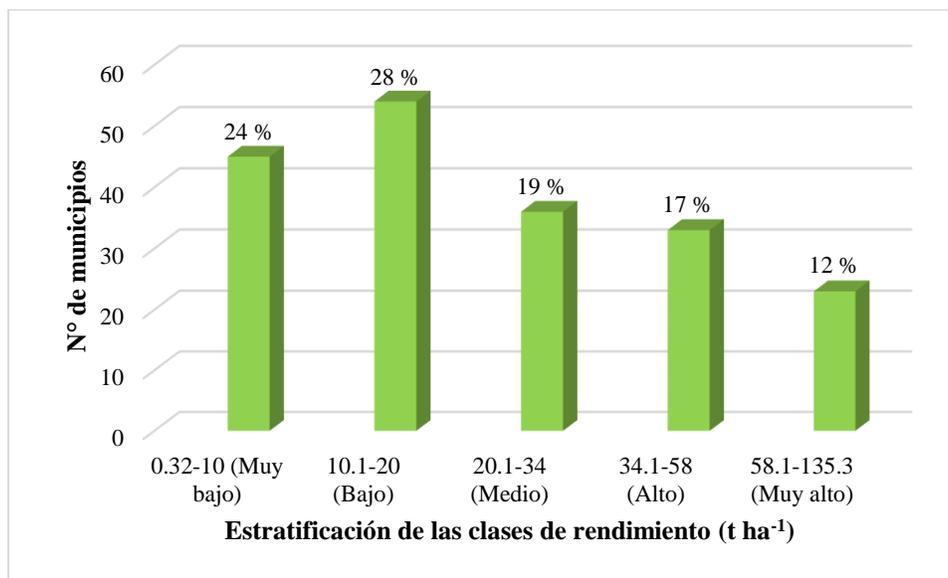


Figura 9. Distribución de municipios por rendimiento (t ha⁻¹) de nopal verdura.

Los municipios de Melchor Ocampo (135 t ha⁻¹), San Martín de las Pirámides (126 t ha⁻¹), Tultepec (122 t ha⁻¹), Teotihuacán (122 t ha⁻¹) y Cuautitlán Izcalli (121 t ha⁻¹), en el Estado de México, tienen los más altos rendimientos (Figura 10). Sin embargo, estos no cuentan con la mayor superficie sembrada, lo cual indica que son zonas productivas muy eficientes. Cabe destacar que Melchor Ocampo y Tultepec no producían nopal hace 10 años y ahora son de los más productivos. Por otro lado, de acuerdo con SIAP (2003), los municipios de Cuautitlán, San Martín de las Pirámides, Teotihuacán, Tecámac y Tezoyuca tenían los más altos rendimientos (200 t ha⁻¹), sin embargo, estos dos últimos municipios ya no producen nopalito, y los demás bajaron su rendimiento a 122 t ha⁻¹ (SIAP, 2013).

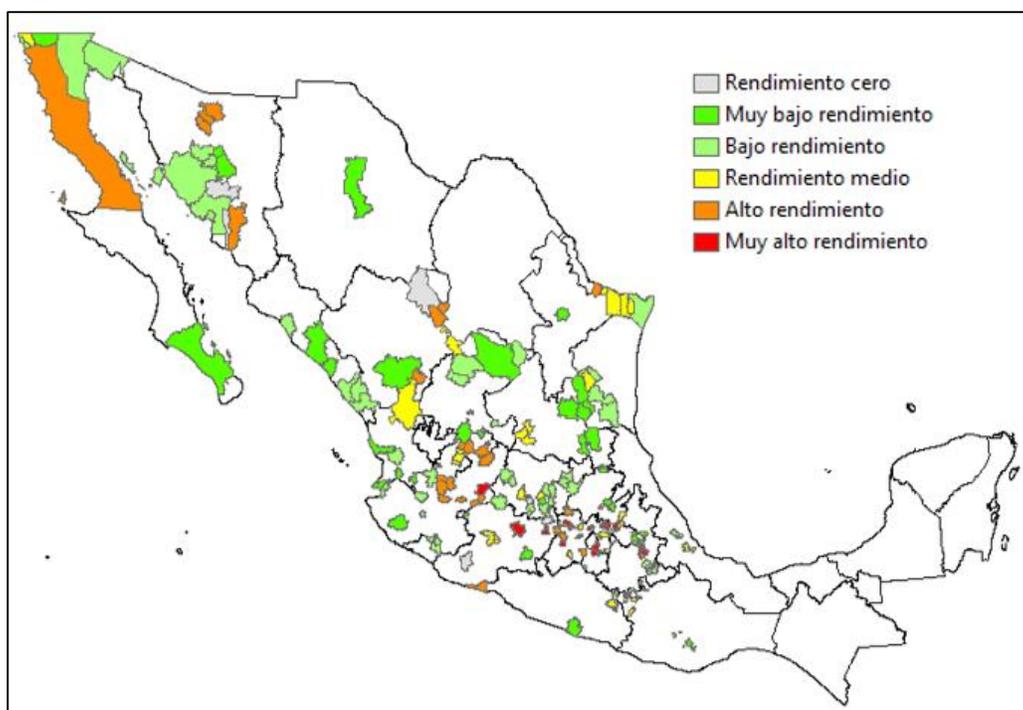


Figura 10. Distribución de las clases de rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de nopal verdura.

1.8.4 Desigualdad en la producción de nopal verdura

Al aplicar un modelo de riqueza tomando como variable el porcentaje de volumen de producción y el porcentaje de superficie sembrada se desprende que la producción de nopal verdura a nivel nacional se encuentra por debajo del ideal (Figura 11). De los 198 municipios que producen nopal en México, el 99% de ellos comprenden el 48% de la SS y aportan el 36% del volumen de producción de nopal a nivel nacional; y únicamente el 1% representado por Tlalnepantla, Morelos y Milpa Alta, D.F que juntos tienen el 52% de la SS y aportan el 64% del volumen de nopal verdura a nivel nacional (Figura 12 y 13). Esto indica la marcada diferencia, ya que existen superficies muy altas con rendimientos muy bajos, por el contrario, hay superficies muy bajas con rendimientos muy altos, siendo puntos de análisis para conocer que las caracteriza y que las hace diferentes, lo cual puede ser reproducido a otros campos de cultivo. Callejas-Juárez (2009) señala que en México hay grandes diferencias de rendimiento en la producción de nopalito entre los estados, lo que se relaciona directamente con el bajo nivel tecnológico de los productores, las restricciones climáticas para la producción (sequía, bajas temperaturas, etcétera), el escaso manejo agronómico (menos de 10% de los productores realizan todas las prácticas agrícolas recomendadas) y la incidencia de plagas y enfermedades.

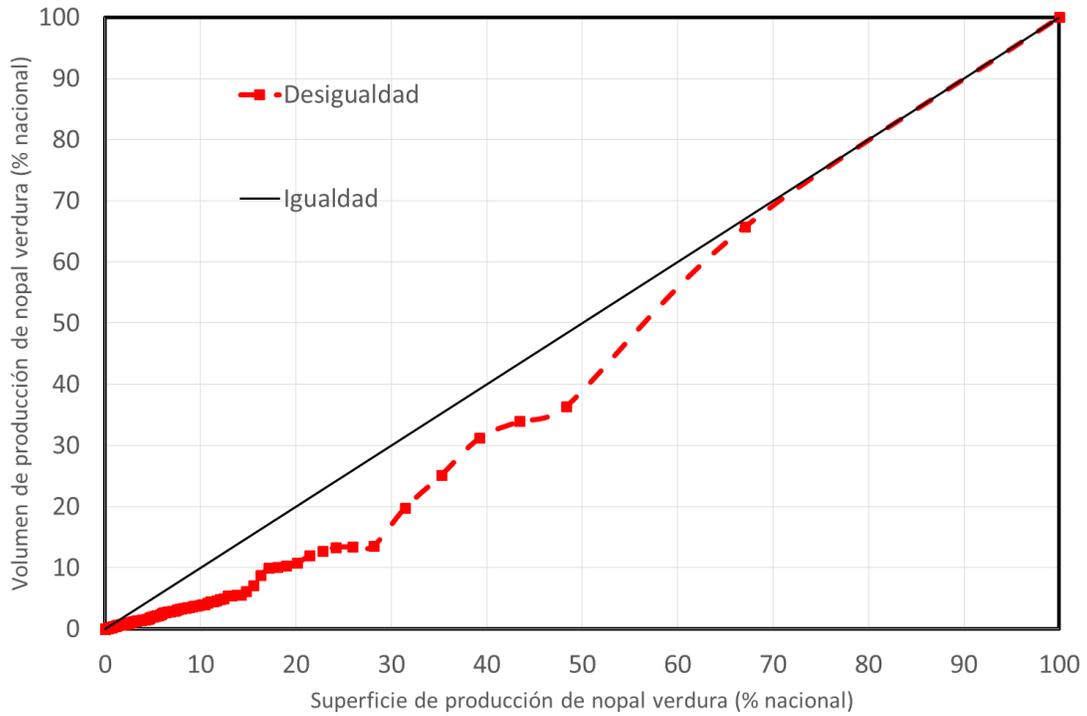


Figura 11. Comportamiento de la producción de nopal verdura por municipio (desigualdad), en relación a un ideal (igualdad) en su producción.

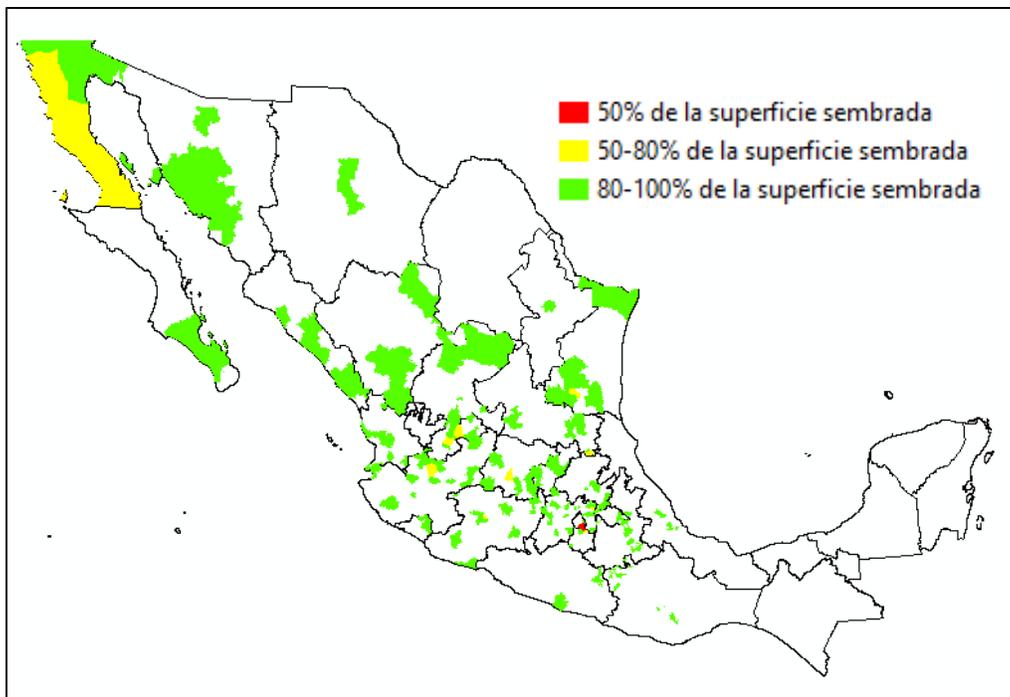


Figura 12. Pareto de la distribución de municipios que conjuntan la superficie sembrada de nopal verdura en un 50 %, 30 % y 20%.

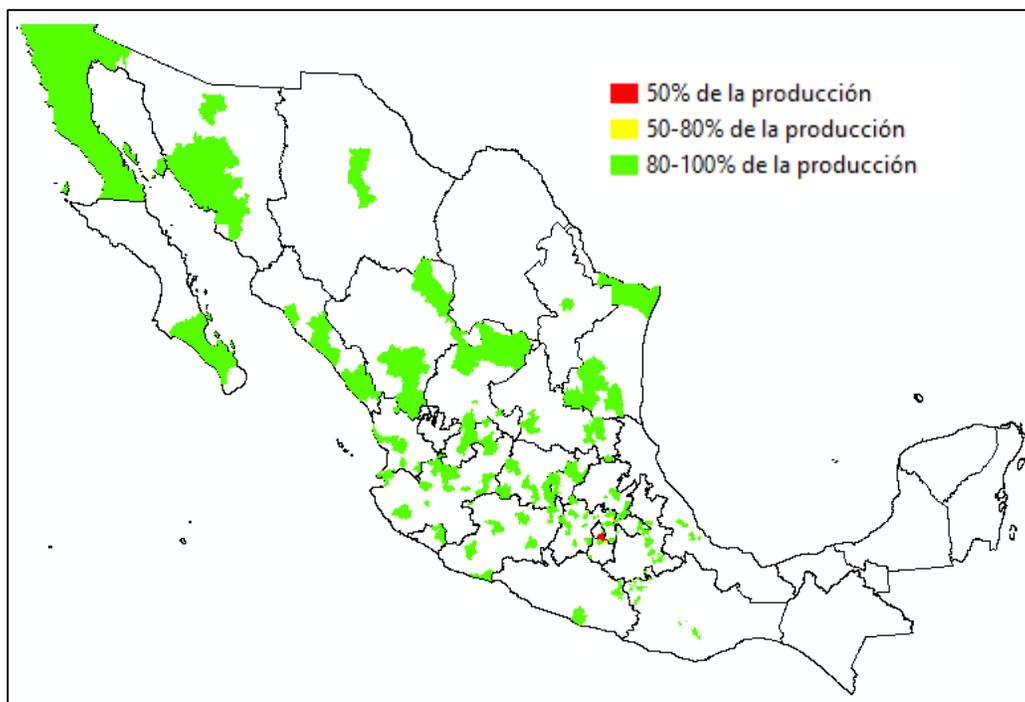


Figura 13. Pareto de la distribución de los municipios que conjuntan el 50 %, 30 % y 20 % de la producción de nopal verdura.

Al analizar la contribución al volumen de producción de nopal verdura a nivel nacional, se identificó a los municipios de Melchor Ocampo, San Martín de Las Pirámides, Tultepec, Teotihuacán y Cuautitlán Izcalli, estado de México como los más destacados. Ya que a pesar de la poca superficie sembrada con nopal verdura tienen rendimientos extraordinarios que los ubican como polos de producción (Cuadro 3). La diferenciación estatal y municipal en la producción de nopal es muy marcada. Tanto en el nivel de superficie sembrada como en el volumen y rendimiento de producción. Estas desigualdades posiblemente son por factores climáticos adversos que no permiten el adecuado desarrollo de las plantas. El tipo de suelo, el requerimiento de nutrientes y la fertilización intervienen en el rendimiento del cultivo de nopal (Valdez-Cepeda *et al.*, 2004). También las sequías, heladas y la aplicación elevada de nutrientes intervienen en el desarrollo adecuado de la producción de nopal (García-Herrera *et al.*, 2004a). Cabe mencionar, que existen áreas que han sido convertidas a cultivo de nopal y que eran empleadas para producir maíz, frijol o cebada, presentando una alta siniestralidad (Calva-Pérez *et al.*, 2004). Por otro lado, los productores podrían no tener real interés en sacar adelante su producción debido a que las marcadas deficiencias en la comercialización del producto no permiten avanzar, además, del elevado

intermediarismo, y la baja rentabilidad productiva por efecto de los precios bajos del mercado (Calva-Pérez *et al.*, 2004 y García-Herrera *et al.* (2004a). Aunado a lo anterior, las ineficientes políticas de planeación y de organización de productores y el manejo inadecuado de los huertos.

Cuadro 3. Municipios emergentes en la producción de nopal verdura a nivel nacional.

Estado	Municipio	S Sembrada (ha)	Volumen (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	S Sembrada (% nacional)	Volumen (% Nacional)	Superman (% Volumen / % Superficie)	Clase
México	Melchor Ocampo	3	406	135	0.02	0.05	2.26	Muy alto
México	San Martín de Las Pirámides	101	12770	126	0.77	1.62	2.11	Muy alto
México	Tultepec	1	123	123	0.01	0.02	2.05	Muy alto
México	Teotihuacán	3	366	122	0.02	0.05	2.04	Muy alto
México	Cuautillán							
México	Izcalli	2	243	121	0.02	0.03	2.02	Muy alto
México	Otumba	432	48631	113	3.29	6.18	1.88	Muy alto
México	Amanalco	17	1650	110	0.13	0.21	1.62	Muy alto
Hidalgo	Apan	1	98	98	0.01	0.01	1.63	Muy alto
Morelos	Tlalnepantla	2458	231168	96	18.73	29.38	1.57	Muy alto
Morelos	Totolapan	530	48000	96	4.04	6.10	1.51	Muy alto
Morelos	Tepoztlán	70	4750	95	0.53	0.60	1.13	Muy alto
Morelos	Tlayacapan	500	42300	94	3.81	5.38	1.41	Muy alto
México	Atlacomulco	115	10100	89	0.88	1.28	1.47	Muy alto
Michoacán	Irimbo	5	404	81	0.04	0.05	1.35	Muy alto
Puebla	Acatzingo	100	7600	76	0.76	0.97	1.27	Muy alto
Puebla	Quecholac	17	1275	75	0.13	0.16	1.25	Muy alto
Michoacán	Tuxpan General	1	75	75	0.01	0.01	1.25	Muy alto
Puebla	Felipe Ángeles	56	4194	75	0.43	0.53	1.25	Muy alto

1.8.5 Análisis de la superficie sembrada de nopal tunero

En México 18 estados se dedican a la producción de tuna, entre ellos existen 149 municipios dedicados a dicha actividad. El 71 % de ellos tienen una SS menor a 150 ha y solo el 11 % tienen entre 775 y 13,130 ha sembradas, lo cual indica una marcada diferencia en la producción de tuna respecto a los otros municipios (Figura 14). La superficie sembrada incremento en los últimos 10 años en 7,261 ha (SIAP, 2013). Se estima que en el país existen 210,000 ha de nopaleras cultivadas,

de las cuales, 50,000 son de tuna (García, 2003) y en la actualidad existen 55,812.4 ha. Es importante mencionar que se sumaron al cultivo de este fruto 32 municipios, siendo el estado de Oaxaca el que tuvo mayor impulso, ya que 11 municipios nuevos producen tuna, sin embargo, vale la pena destacar que 26 municipios ya no producen tuna. Por otro lado, el estado de Tlaxcala no cultivaba tuna y ahora tres municipios ya se dedican a su cultivo. El estado de Hidalgo tiene la mayor cantidad de municipios (33) que cultivan tuna, seguido por Zacatecas y San Luis Potosí con 21 cada uno. La producción de tuna se presenta en 16 estados del país. Al respecto, Soberón *et al.* (2001) señalan que la producción de tuna se encuentra en 15 estados. Cabe destacar que Zacatecas es el estado con la mayor superficie cultivada de tuna (18,011 ha), así mismo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2009) y Esparza-Frausto *et al.* (2004) señalan que este estado alberga la mayor superficie cultivada de nopal tunero y prácticamente la totalidad de la producción de tuna en la entidad se concentra en el sureste.

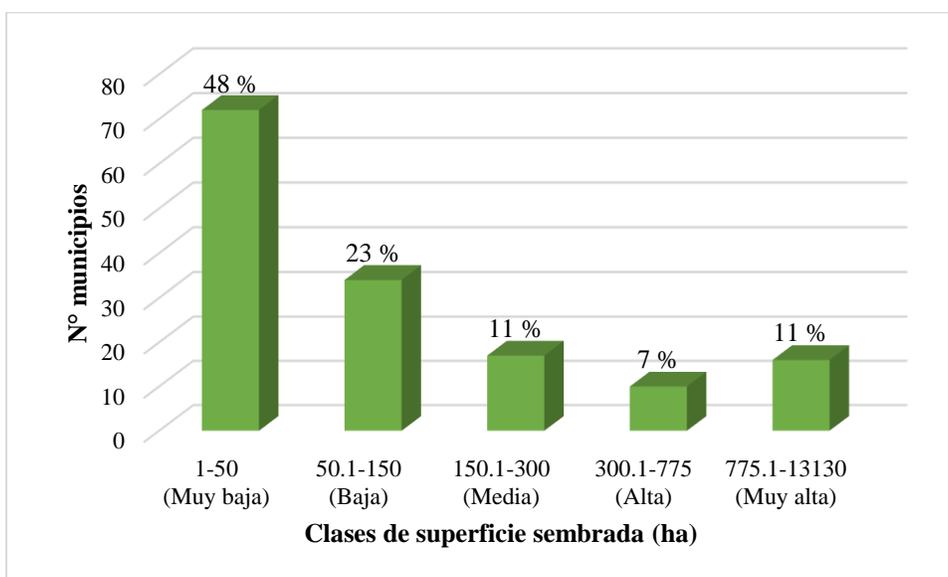


Figura 14. Distribución de municipios en las diferentes clases de superficie sembrada (ha) de nopal tunero.

Los municipios que se destacan en la clase “Muy alta” de superficie sembrada son Pinos, Zac. con 13,130 ha, seguido de San Martín de las Pirámides, Méx. con 4,658 ha y Acatzingo, Puebla con 4,150 ha (Figura 15). La superficie dedicada al cultivo de tuna se ha incrementado en los últimos 10 años, principalmente en el municipio de Pinos, esta aumento 2,135 ha, en San Martín de las Pirámides aumentó 210 ha y 2,030 ha en Acatzingo (SIAP, 2013).

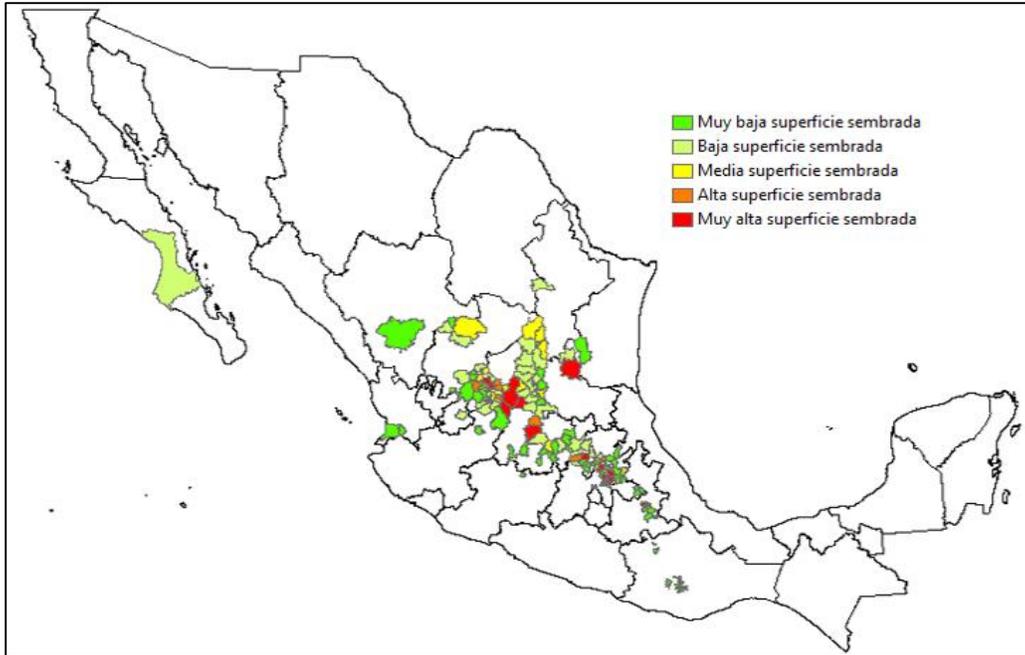


Figura 15. Distribución de las clases de superficie sembrada (ha) con nopal tunero por estado.

1.8.6 Análisis del volumen de producción de nopal tunero

Respecto al volumen de producción de tuna incrementó en los últimos 10 años, ya que aumentó en 92,240 t (SIAP, 2013). El 74% de los municipios producen menos de 1,000 t y únicamente el 25% entre 1,000 y 164,986 t, lo que refleja una marcada diferenciación en la producción de tuna (Figura 16).

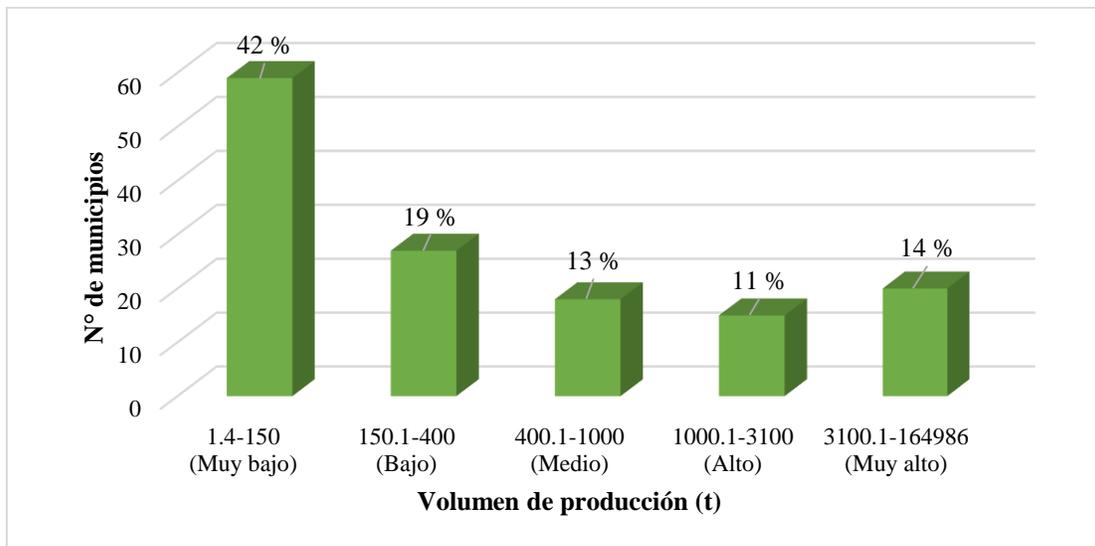


Figura 16. Distribución de municipios en las diferentes clases de volumen de producción (t) de nopal tunero.

Los municipios que se destacan por tener un Muy alto volumen de producción de tuna son: Pinos, Zac. con 164,986 t, seguido de Acatzingo, Puebla con 70,505.50 t y San Martín de las Pirámides, Méx. con 42,393.20 t (Figura 17). Cabe mencionar que estos municipios también se destacan por estar en la clase de superficie sembrada “Muy alta”, lo cual se ve reflejado en su volumen. El volumen de producción en los municipios mencionados anteriormente incrementó considerablemente, en el 2003 Pinos producía 70,388 t y ahora produce más del doble, debido a que incrementó su rendimiento de 7 a 14 t ha⁻¹ (SIAP, 2003). Acatzingo producía 38,160 t, casi la mitad de lo actual, en contraste, San Martín de las Pirámides disminuyó su volumen en 21,976 t debido a que su rendimiento disminuyó de 11 a 9 t ha⁻¹. Cabe destacar que el municipio de Dolores Hidalgo, Gto. incrementó su volumen de 660 a 13,888 t debido al incremento de su superficie sembrada, ubicándose actualmente en la clase de volumen “Muy alto”.

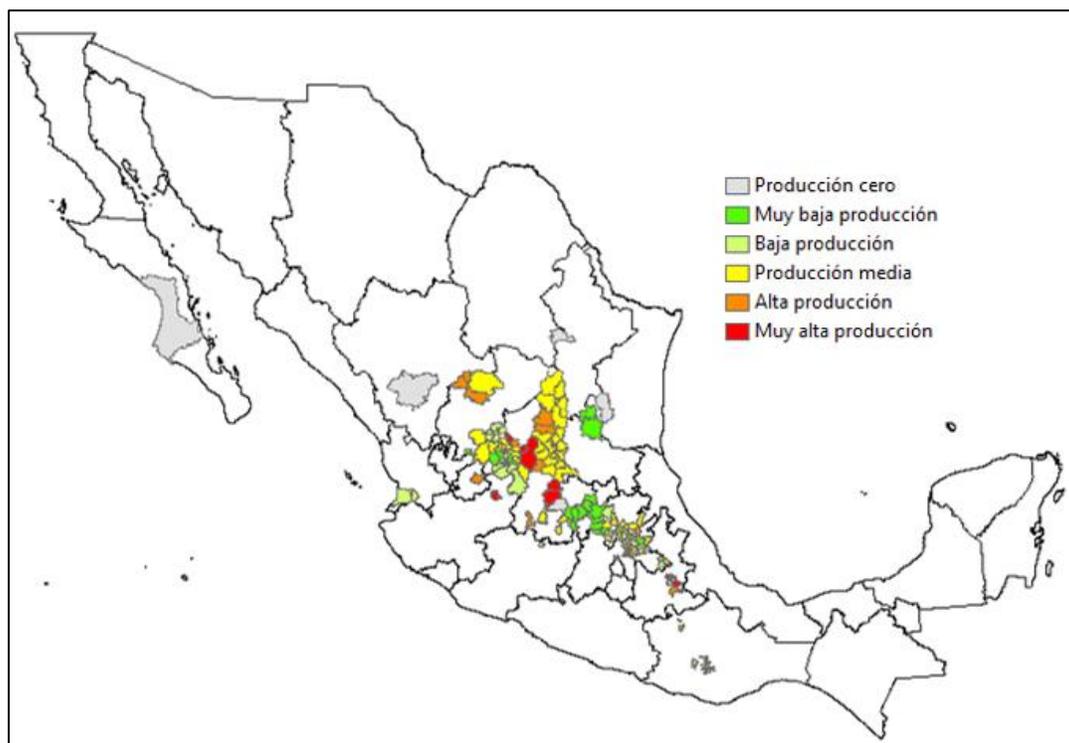


Figura 17. Distribución de las clases de volumen de producción (t) de nopal tunero.

1.8.7 Análisis del rendimiento de nopal tunero

El 82 % de los municipios tienen un rendimiento menor a 8 t ha⁻¹ y únicamente el 18% llega a producir entre 8 y 20 t ha⁻¹ (Figura 18).

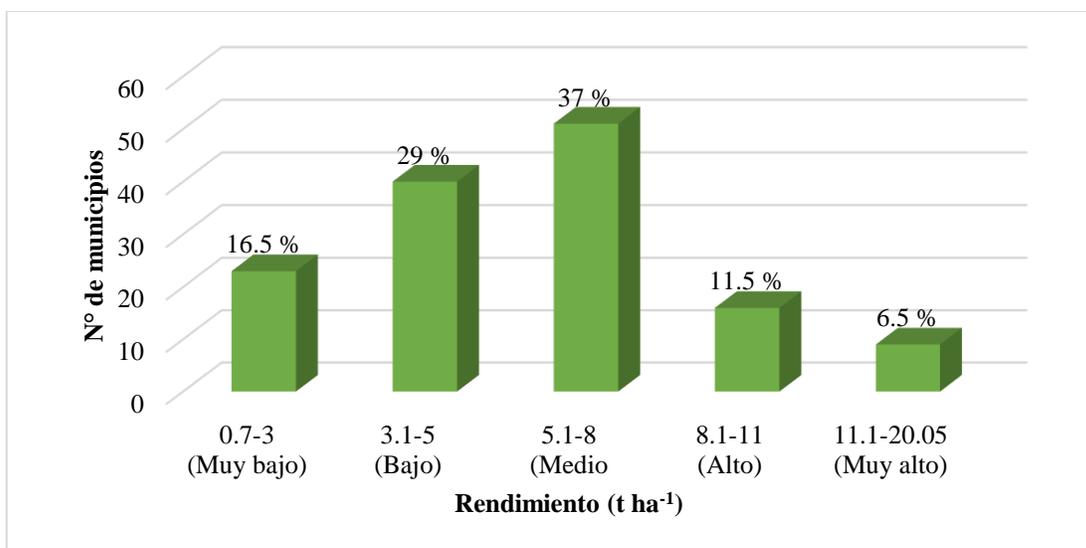


Figura 18. Distribución de municipios en las diferentes clases de rendimiento (t ha⁻¹) de nopal tunero.

Los municipios que se encuentran como los más productivos en la clase “Muy alta” de rendimiento son: General Felipe Ángeles, Puebla con 20.05 ton ha⁻¹ cabe mencionar que este municipio se encuentra en una clase “Media” de superficie sembrada, por lo que es eficiente en la producción al tener muy altos rendimientos en una superficie media (Figura 19). Le sigue el municipio de Palmar de Bravo, Puebla con 20 ton ha⁻¹, este municipio no producía tuna hace 10 años y ahora se destaca por su rendimiento, ubicándose en un municipio ejemplo. Acatzingo, Puebla con 16.99 ton ha⁻¹, este municipio también se encuentra en la clase “Muy alta” de superficie sembrada y de volumen de producción. En continuidad esta Pinos, Zac. con 14.19 ton ha⁻¹ y Jalostotitlan, Jal. con 14 ton ha⁻¹. Pinos incremento el doble su rendimiento en los últimos 10 años y este último municipio no producía tuna hace 10 años, por lo que tuvo un importante auge. Cabe mencionar que Loreto, Luis Moya, Miguel Auza, Noria de Ángeles, Ojocaliente, Villa García, Villa González Ortega y Villa Hidalgo, Zac. incrementaron su rendimiento en promedio 6.6 t ha⁻¹. Por otro lado, los municipios de Actopan, El Arenal, San Salvador, Hgo., Copandaro, Michoacán, Axapusco, Nopaltepec, Otumba, San Martín de las Pirámides, Temascalapa y Teotihuacán, Méx. disminuyeron su rendimiento en promedio 6 t ha⁻¹. Algunos de los factores que explican esta tendencia a la baja son: la saturación en el mercado (no se vende toda la producción, o solo la de mayor calidad), falta de apoyo a la producción tunera y los efectos negativos de factores climáticos adversos (principalmente heladas, sequías y granizadas) (García-Herrera y Méndez-Gallegos,

2013). Por otro lado, Mondragón-Jacobo y Gallegos-Vázquez (2013), mencionan que la productividad de una huerta tunera depende de diversos factores entre ellos: tipo de suelo, pendiente del terreno, variedad de tuna, densidad de plantación, humedad disponible, fertilización y heladas tardías.

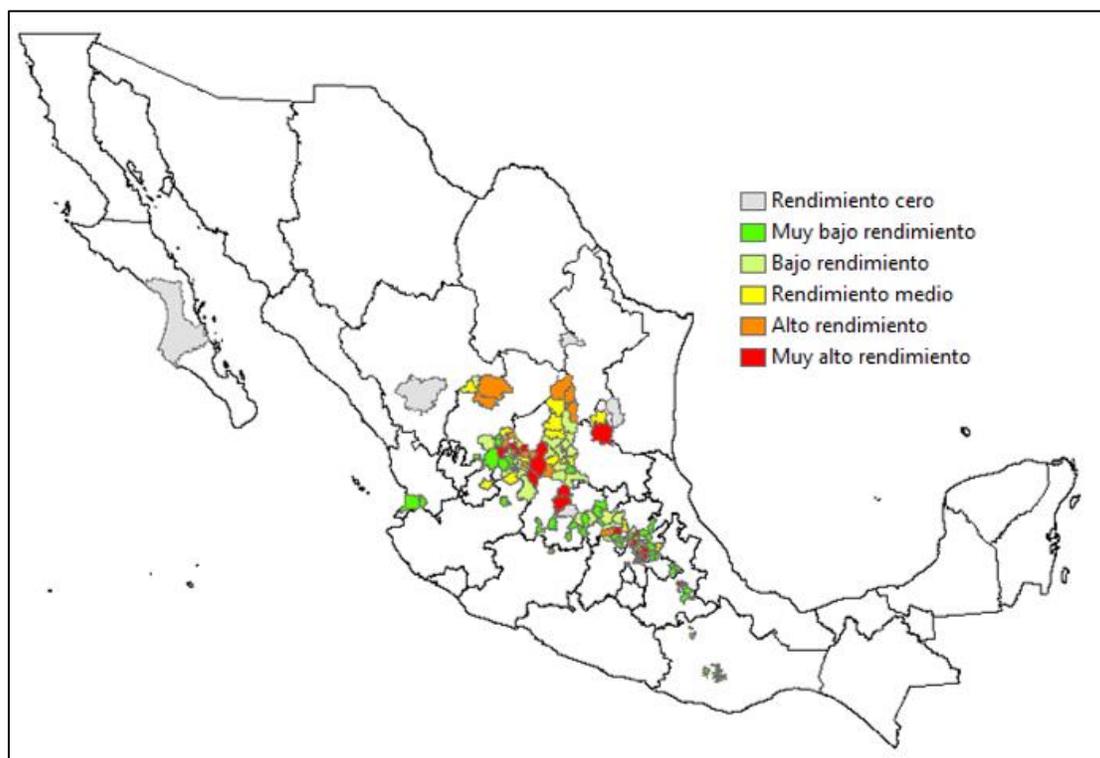


Figura 19. Distribución de las clases de rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de nopal tunero.

1.8.8 Desigualdad en la producción de nopal tunero

En relación a un modelo de riqueza, tomando como variables el % de volumen de producción y el % de superficie sembrada en la producción de tuna se deduce que la producción de este producto está por debajo del ideal (Figura 20). De los 149 municipios que producen tuna en México, el 98% comparte el 60% de la superficie sembrada y solo aportan el 42 % del volumen de producción, lo cual indica que se está por debajo del ideal en 18 % ya que debe igualar al porcentaje de la superficie sembrada (60%). El 40% de la superficie sembrada se distribuye en solo en tres municipios (Pinos, Zac., San Martín de las Pirámides y Acatzingo, Puebla). El municipio de Pinos, Zac. concentra el 24% de la superficie sembrada y aporta el 34% del volumen de producción, lo que lo coloca en el principal productor de tuna a nivel nacional.

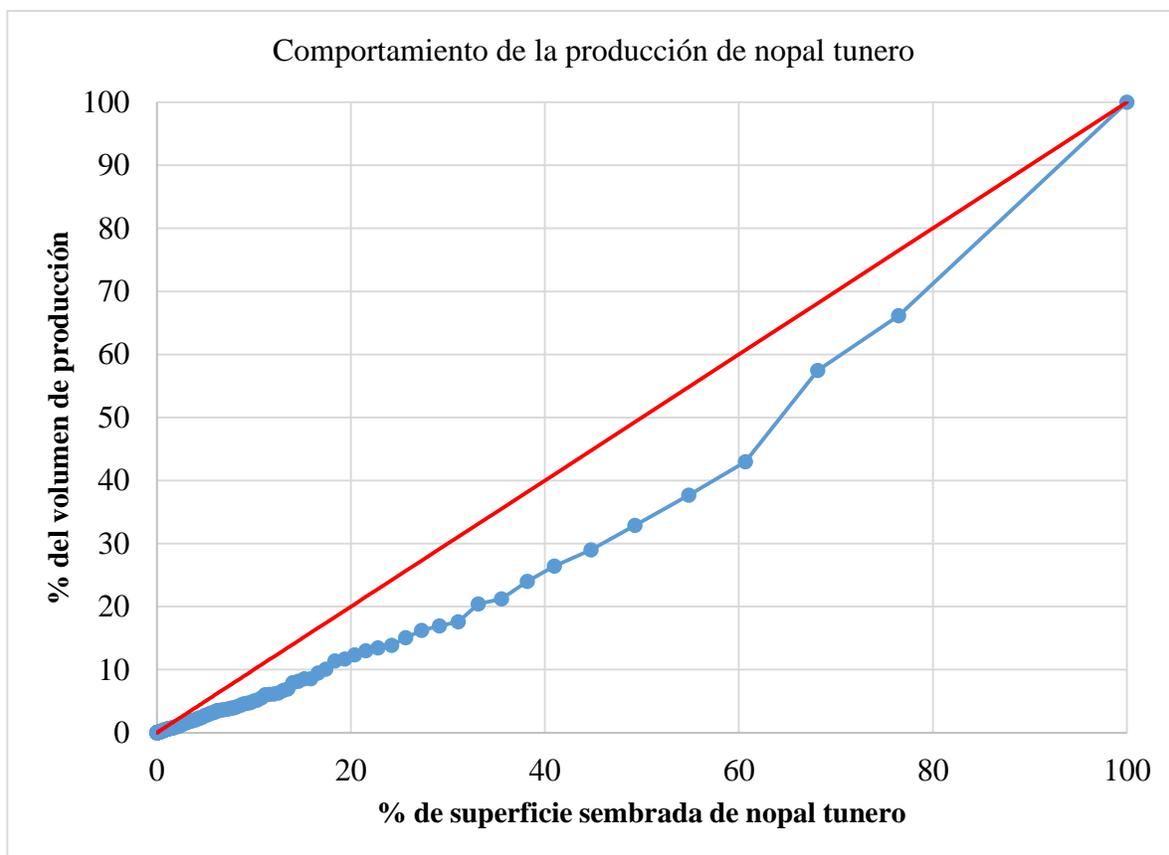


Figura 20. Comportamiento de la producción de nopal tunero por municipio (puntos azules), en relación a un ideal esperado en su producción (puntos rojos).

Existen superficies sembradas muy grandes con un muy bajo rendimiento, lo que indica que no hay un aprovechamiento efectivo de la plantación, ya sea debido a las prácticas de manejo o a las condiciones climáticas de la zona, lo que repercute en la baja producción de tuna. Así mismo, hay reducidas superficies con muy altos rendimientos, estas plantaciones son consideradas como muy eficientes y que posiblemente cuentan con buenas prácticas de manejo.

Cada vez crece más el interés por esquemas de producción forzada con tuna en México, por lo que los bajos rendimientos pueden deberse al comportamiento fisiológico de los frutales de clima templado ya que éste se altera al moverlos hacia lugares que presentan temperatura y humedad muy diferentes, lo que repercute en la brotación de yemas y en el desarrollo floral (Esparza-Frausto *et al.*, 2004). En general el nopal se encuentra en zonas donde la temperatura media anual es cercana a 23 °C, aunque las principales zonas nopaleras están ubicadas en lugares con temperatura media anual oscilando entre 16 y 20 °C. Durante la etapa de desarrollo del fruto la temperatura

ideal es de 20 a 25 °C y cuando está madurando de 14 a 18°C. Gallegos-Vázquez y Medina-García, 2013). Al cultivar una especie fuera de su ambiente óptimo se reduce el rendimiento debido al estrés causado por factores ambientales, principalmente temperaturas altas y bajas, sequías y exceso de humedad. Otros problemas que limitan la producción son las plagas y enfermedades, el manejo deficiente o su ausencia, la mala organización y la falta de interés en organizarse, la falta de recursos económicos, la deficiente comercialización (García-Herrera y Méndez-Gallegos, 2013) y la mala calidad del fruto no permiten el éxito en el mercado (Valdez-Cepeda *et al.*, 2004).

El 20 % de la superficie sembrada se concentra en 144 municipios (Figura 21) siendo los más representativos Huichapan, Hgo., San Diego de la Unión, Gto., Villa García y Villa Gonzalez Ortega, Zac., el 30 % se distribuye en 14 municipios algunos de ellos son Nopaltepec, Méx., Ojuelos de Jalisco, Jal. y Teotihuacán, Méx., y el 50 % solo se concentra en 5 municipios siendo: Pinos, Zac., San Martín de las Pirámides, Méx., Acatzingo, Puebla, Otumba y Axapusco, Méx. Lo que indica una desigualdad en la producción de tuna en los municipios, lo que puede ser causa del bajo uso de insumos, inadecuadas prácticas de manejo, condiciones climáticas no adecuadas, presencia de plagas y enfermedades, nulos apoyos del gobierno, entre otros aspectos.

Los municipios que en conjunto conforman el 50 % del volumen de producción solo son tres, Pinos, Zac., San Martín de las Pirámides, Méx. y Acatzingo, Puebla. El 30 % lo conforman siete municipios, destacando Otumba, Axapusco y Nopaltepec, Méx. El 20 % se concentra en 139 municipios (Figura 22). Esto refleja que muy poca de la producción está distribuida en una gran cantidad de municipios, siendo zonas con volúmenes bajos. De acuerdo con (Mondragón-Jacobo y Gallegos-Vázquez (2013), existen algunos productores innovadores (incluyen poda, fertilización química y orgánica y control fitosanitario) en el norte de Guanajuato, ellos han alcanzado rendimientos satisfactorios de 25 a 30 t ha⁻¹ de rojo pelón y hay una tendencia importante hacia el incremento del cultivo. Por otro lado, en Las Pirámides llevan a cabo un sistema de producción semi-intensivo de temporal (podas, fertilización, control de plagas y enfermedades y malezas, terraceo de plantas y mano de obra intensiva). Esta zona se ha favorecido por su cercanía a la central de abastos de la Cd de México, sin embargo también se enfrentan a problemas como la nula estandarización en la calidad del fruto y deficiente estrategia de mercado. Estas son prácticas que a ellos les han favorecido y por tanto se encuentran dentro de los mejores productores de nopal tunero a nivel nacional.

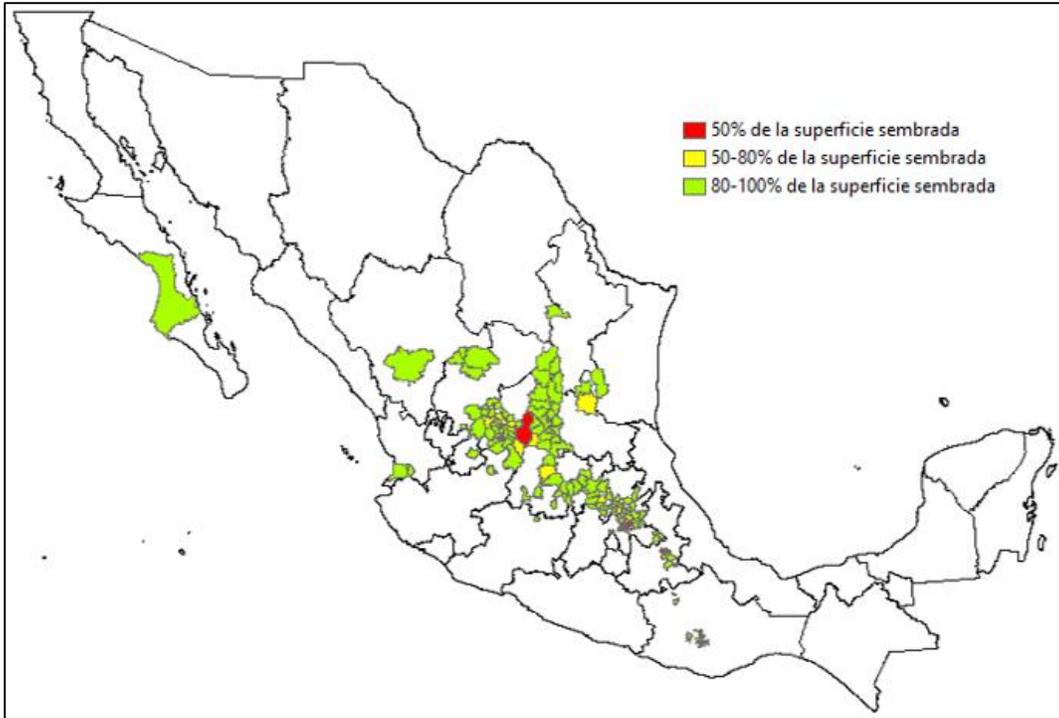


Figura 21. Pareto de la distribución de municipios que conjuntan la superficie sembrada de nopal tunero en un 50 %, 30 % y 20%.

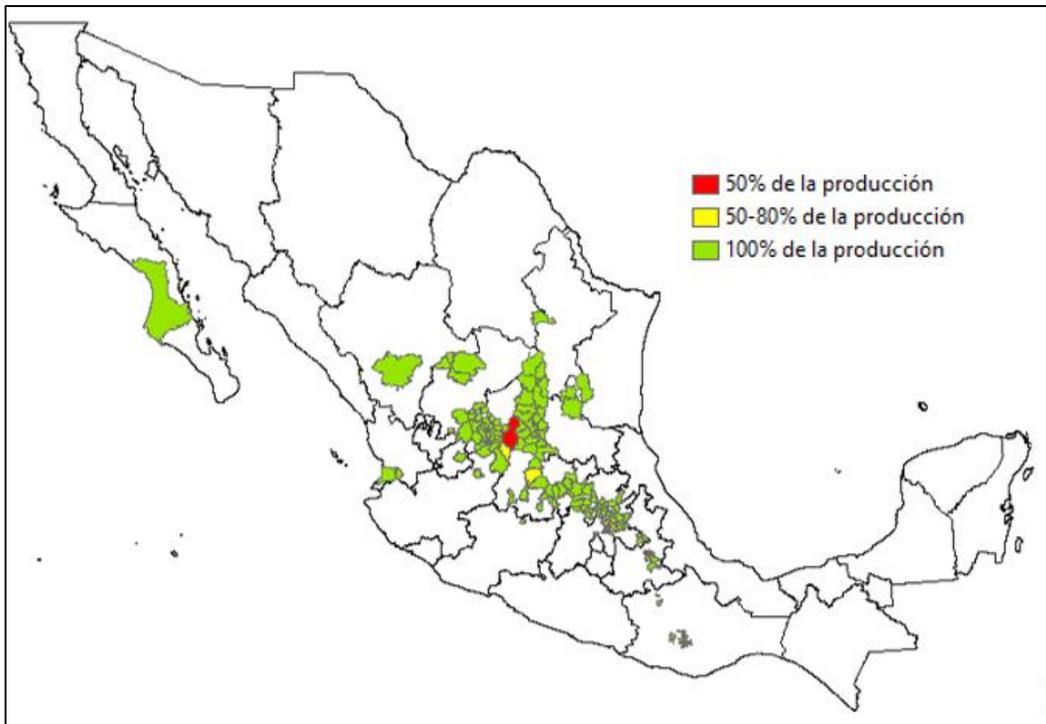


Figura 22. Pareto de la distribución de los municipios que conjuntan el 50 %, 30 % y 20 % de la producción de nopal tunero.

Al analizar la contribución al volumen de producción de nopal verdura a nivel nacional, se identificó a los municipios de General Felipe Ángeles, Palmar de Bravo y Acatzingo como los más destacados. Ya que a pesar de la poca superficie sembrada con nopal verdura tienen rendimientos extraordinarios que los ubican como polos de producción (Cuadro 4).

Cuadro 4. Municipios emergentes en la producción de tuna a nivel nacional

Estado	Municipio	S Sembrada (ha)	Volumen (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	S Sembrada (% nacional)	Volumen (% Nacional)	Superman (% Volumen / % Superficie)	Clase
Puebla	General Felipe Ángeles	285	5,012.50	20.05	0.51	1.03	2.01	Muy alto
Puebla	Palmar de Bravo	1	20	20	0.00	0.00	2.29	Muy alto
Puebla	Acatzingo	4,150.00	70,508.50	16.99	7.44	14.47	1.95	Muy alto
Zacatecas	Pinos	13,130.00	164,986.00	14.19	23.53	33.85	1.44	Muy alto
Jalisco	Jalostotitlán	1	14	14	0.00	0.00	1.60	Muy alto
Zacatecas	Villa Hidalgo	230	2,340.00	13	0.41	0.48	1.17	Muy alto
Guanajuato	Dolores Hidalgo	1,149.00	13,888.00	12.09	2.06	2.85	1.38	Muy alto
Guanajuato	San Diego de La Unión	532	6,384.00	12	0.95	1.31	1.37	Muy alto
Zacatecas	General Pánfilo Natera	92	962	11.73	0.16	0.20	1.20	Muy alto

1.8.9 Análisis de la superficie sembrada de nopal forrajero en México

En México son siete estados los que se dedican al cultivo de nopal forrajero, en los que participan un total de 41 municipios dedicados a dicha actividad. El 76% de los municipios tienen una superficie sembrada de nopal forrajero menor a 300 ha, y únicamente el 24% tiene entre 1,325 y 4,428 ha (Figura 23). En México hay 150,000 ha destinadas a forraje (García, 2003) y solo se emplean actualmente 15,987 ha que generan ingreso económico a los productores. La superficie destinada a este cultivo incremento en los últimos diez años 6,126 ha (SIAP, 2013). De acuerdo

con Fuentes-Rodríguez *et al.* (2004), la distribución de las principales especies forrajeras se sitúan en el Altiplano Potosino-Zacatecano (Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Durango, Guanajuato y Jalisco) y en Nuevo León, Coahuila, Querétaro, Hidalgo, Tamaulipas y Chihuahua. Cabe mencionar que de acuerdo al SIAP (2003), Chihuahua y Guanajuato ya no producen nopal forrajero, lo contrario pasa con Durango, Michoacán y Nuevo León quienes hace 10 años no producían. Además, once municipios se sumaron en este cultivo y once dejaron de producir nopal, probablemente porque no era rentable.

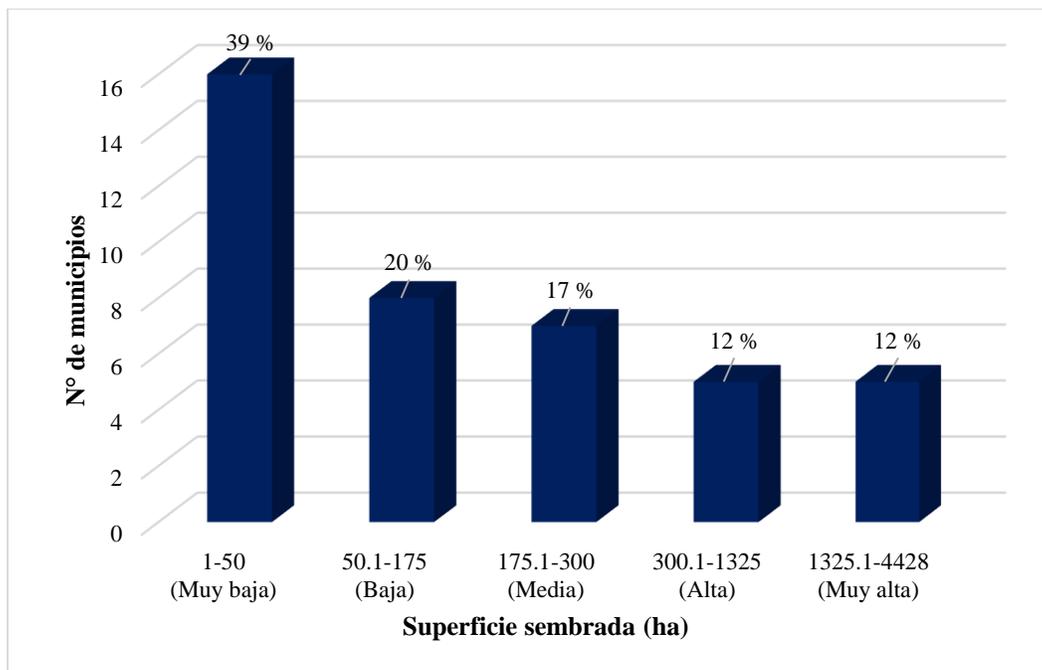


Figura 23. Distribución de municipios en las diferentes clases de superficie sembrada (ha) de nopal forrajero.

En la clase “Muy Alta” de superficie sembrada de nopal forrajero (Figura 24) se encuentran cinco municipios, siendo los más destacados Castaños y Saltillo, Coahuila con 4,428 y 1851 ha respectivamente. De acuerdo al SIAP (2003), el municipio de Castaños dedicaba únicamente 808 ha al cultivo de nopal forrajero, teniendo un incremento cinco veces mayor para el 2013. Cabe mencionar que Castaño y Saltillo, Coah. a pesar de que tienen la más altas superficie sembrada de nopal forrajero sus rendimientos se encuentran en una clase de rendimiento baja. Siendo municipios que no son eficientes en su producción debido probablemente a prácticas inadecuadas

de manejo, la presencia de plagas y enfermedades o malas condiciones ambientales para su producción.

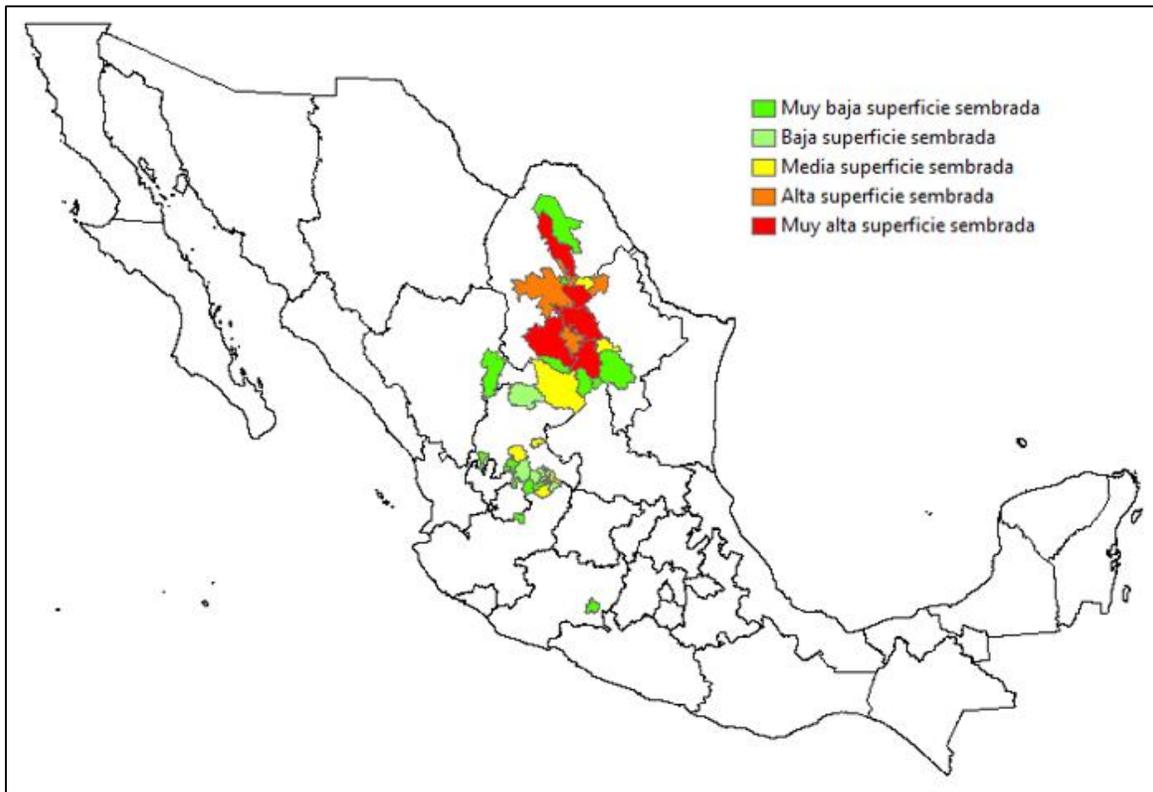


Figura 24. Distribución de las clases de superficie sembrada (ha) con nopal forrajero por estado.

1.8.10 Análisis del volumen de producción de nopal forrajero en México

De acuerdo al volumen de producción de nopal forrajero, el 69% de los municipios se encuentran en las clases producen menos de 3,300 t, y el 31% produce entre 3,300 y 48,708 t (Figura 25).

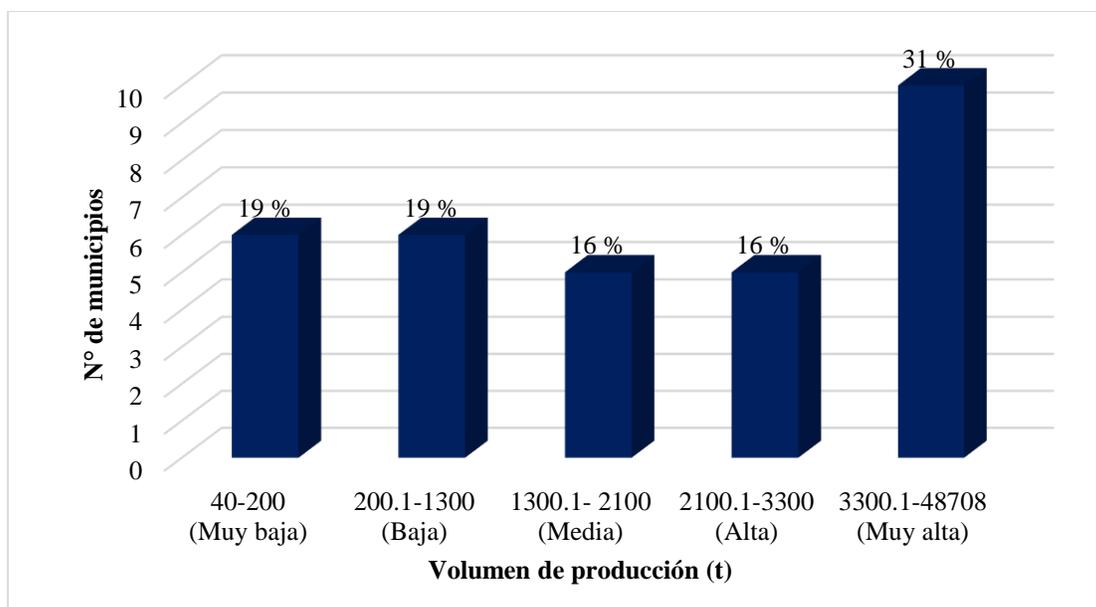


Figura 25. Distribución de municipios en las diferentes clases de volumen de producción (t) de nopal forrajero.

En la clase de volumen de producción “Muy alta” se encuentran Castaños y San Buenaventura, Coah. con 48,708 ton y 16,065 ton respectivamente (Figura 26). Cabe destacar que Castaños ha tenido un importante auge en los últimos 10 años, ubicándose como el municipio que más aporta a la producción de nopal forrajero en el país, con un rendimiento de 11 t ha⁻¹. Algunos de los municipios que han incrementado su volumen son Aguascalientes, Asientos y el Llano, Ags., debido a que aumentaron su rendimiento (SIAP, 2003). Por otro lado, Jerez, Zac. incremento su superficie sembrada y por tanto su volumen, aunque disminuyo su rendimiento. Así mismo, Villanueva, Zac. disminuyó considerablemente su volumen y rendimiento de producción a pesar de haber incrementado su superficie sembrada.

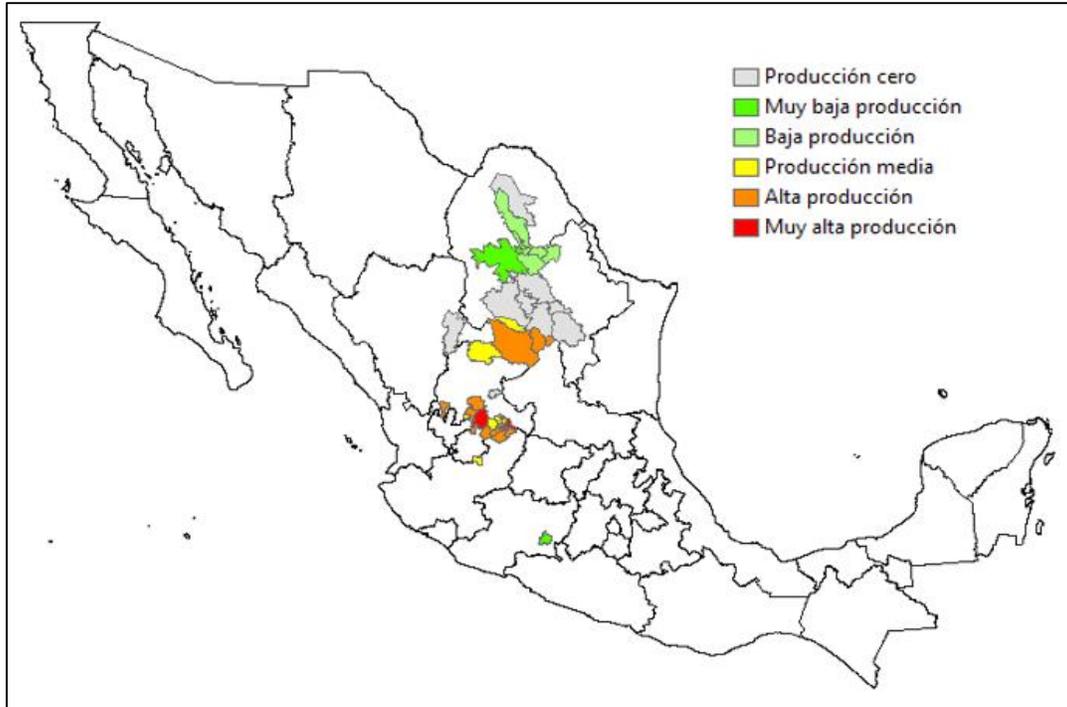


Figura 26. Distribución de las clases de volumen de producción (t) de nopal forrajero.

1.8.11 Análisis del rendimiento de nopal forrajero en México

El 43% de los municipios tienen un rendimiento de nopal forrajero menor a 30 t ha⁻¹ y únicamente el 47% entre 30 y 50 t ha⁻¹ (Figura 27).

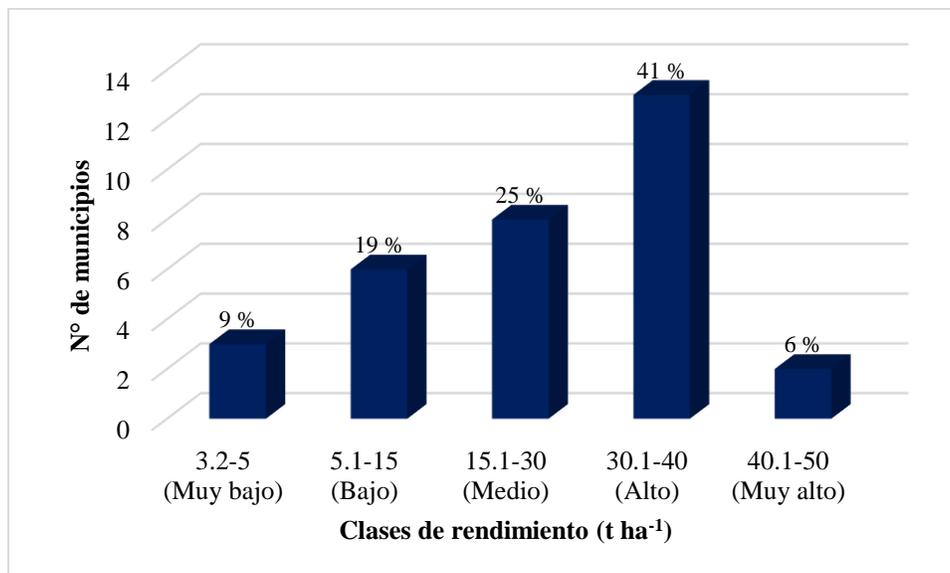


Figura 27. Distribución de municipios en las diferentes clases de rendimiento (t ha⁻¹) de nopal forrajero.

En la clase de rendimiento “Muy alta” (Figura 28) se encuentran los municipios de Asientos, Ags con 50 ton ha⁻¹ y Villanueva, Zac. con 41.3 ton ha⁻¹. La clase “Alta” concentra a los municipios de Tepetongo y Jerez, Zac. con 38 y 36 ton ha⁻¹. Los últimos tres municipios mencionados, disminuyeron 96 t ha⁻¹ en promedio su rendimiento en los últimos 10 años, esto puede deberse a eventos como la entrada de plagas o enfermedades, al inadecuado manejo de las huertas, cambios drásticos en el clima o a la falta de recursos económicos y humanos, lo que probablemente afecto su producción. Lo contrario pasó con el municipio de Asientos, ya que mejoro su rendimiento. De acuerdo con López-García *et al.*, (2003), el rendimiento del nopal depende del clima, el vigor de las plantas, la especie cultivada, la fertilidad y nutrición del suelo, densidad de plantación, preparación del suelo, así como del tipo de manejo que se dé a las huertas. También mencionan que la productividad de estos agroecosistemas es relativamente baja e inestable fuertemente dependiente del clima y las condiciones de manejo.

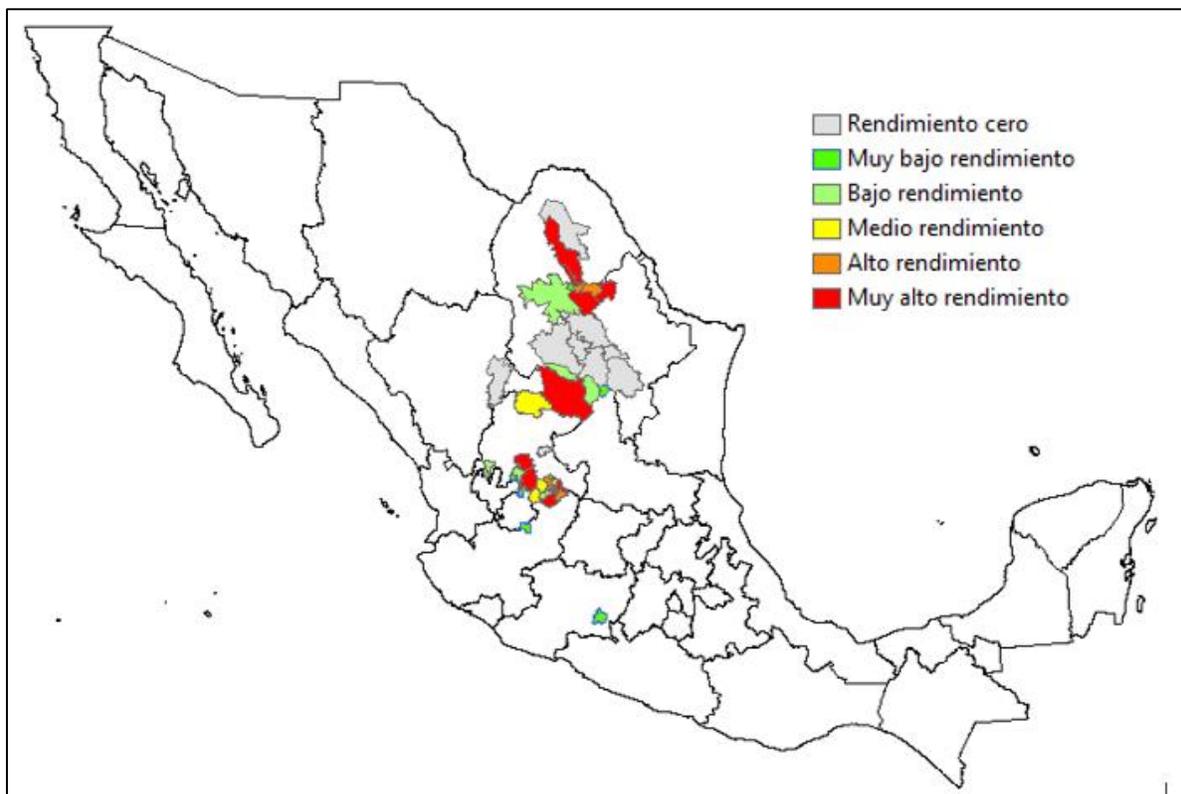


Figura 28. Distribución de las clases de rendimiento (t ha⁻¹) de nopal forrajero.

1.8.12 Desigualdad en la producción de nopal forrajero

La producción de nopal forrajero se encuentra por encima del ideal respecto de un sistema de riqueza (Figura 29), en donde se tomó como variables el % de superficie sembrada y el % del volumen de producción. De los 41 municipios dedicados a producir nopal forrajero, el 88% aporta en conjunto el 54% del volumen de producción a nivel nacional y concentran el 34% de la superficie sembrada, siendo municipios muy eficientes en su producción. El 39% de la superficie sembrada se concentra en cuatro municipios (San Buenaventura, Parras, Ramos Arizpe y Saltillo, Coah), con solo el 11% del volumen de producción, Saltillo se encuentra por debajo del ideal. De manera particular, Castaños, Coah. tiene el 28% de la superficie sembrada y el 35% del volumen de producción, lo cual lo acomoda en uno de los municipios de mayor aporte a la producción de nopal forrajero a nivel nacional.

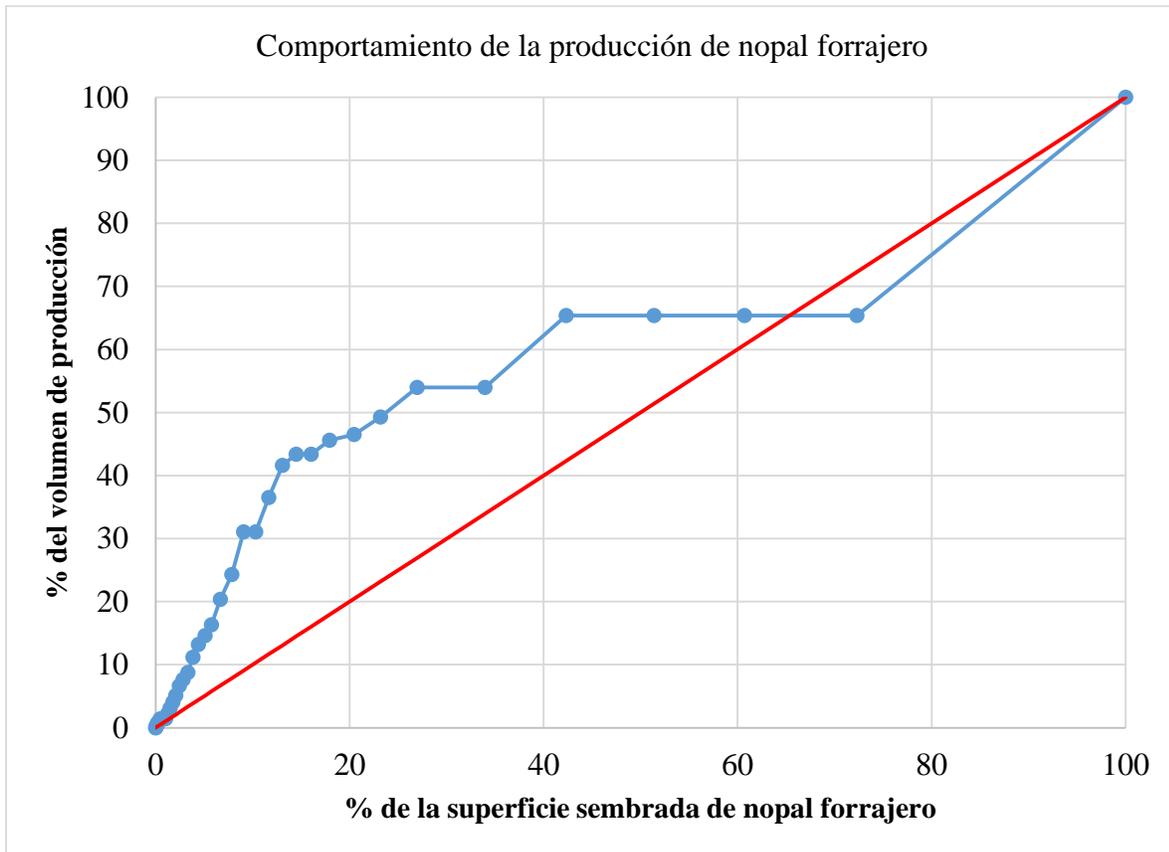


Figura 29. Comportamiento de la producción de nopal forrajero por municipio (puntos azules), en relación a un óptimo esperado (línea roja) en su producción.

Existen municipios con muy baja superficie y con rendimientos altos, y superficies bajas con muy altos rendimientos, así mismo hay grandes superficies con muy bajos. Lo que da lugar a la aseveración de que hay municipios que son muy eficientes en su producción de nopal forrajero y por lo contrario hay los que no tienen un adecuado aprovechamiento de sus plantaciones.

El 50 % de la superficie sembrada se distribuye en cuatro municipios, siendo Castaños, Saltillo, Ramos Arizpe y Parras, Coah. El 30 % se concentra en cinco municipios, San Buenaventura, General Cepeda, Nadadores, Candela y Cuatro Ciénegas, Coah. el 20 % en 32 municipios (Figura 30). El 50 % del volumen de producción se concentra en los municipios de Castaños, San Buenaventura, Coah, y Asientos, Ags. El 30 % en siete municipios, destacándose Jerez, Mazapil y Villanueva, Zac., y Nadadores, Coah. el 20 % en 31 municipios, dentro destacan Frontera, Coah. y El Llano, Ags (Figura 31).

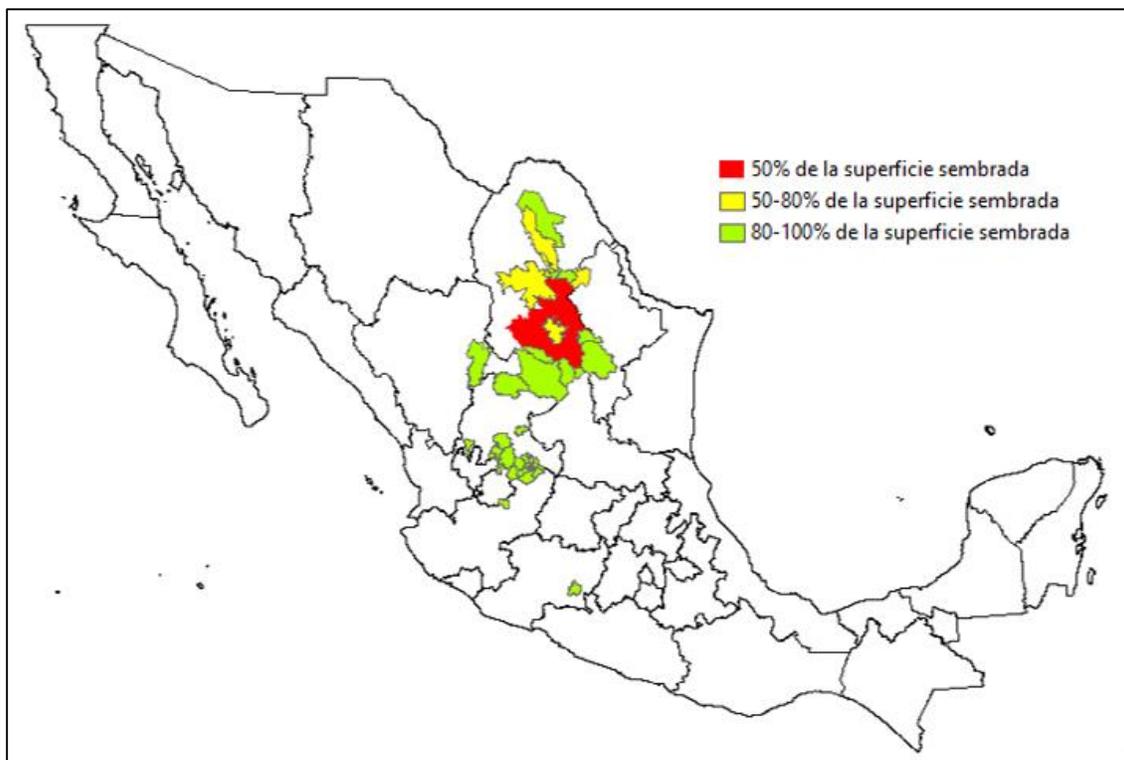


Figura 30. Pareto de la distribución de municipios que conjuntan la superficie sembrada de nopal forrajero en un 50 %, 30 % y 20%.

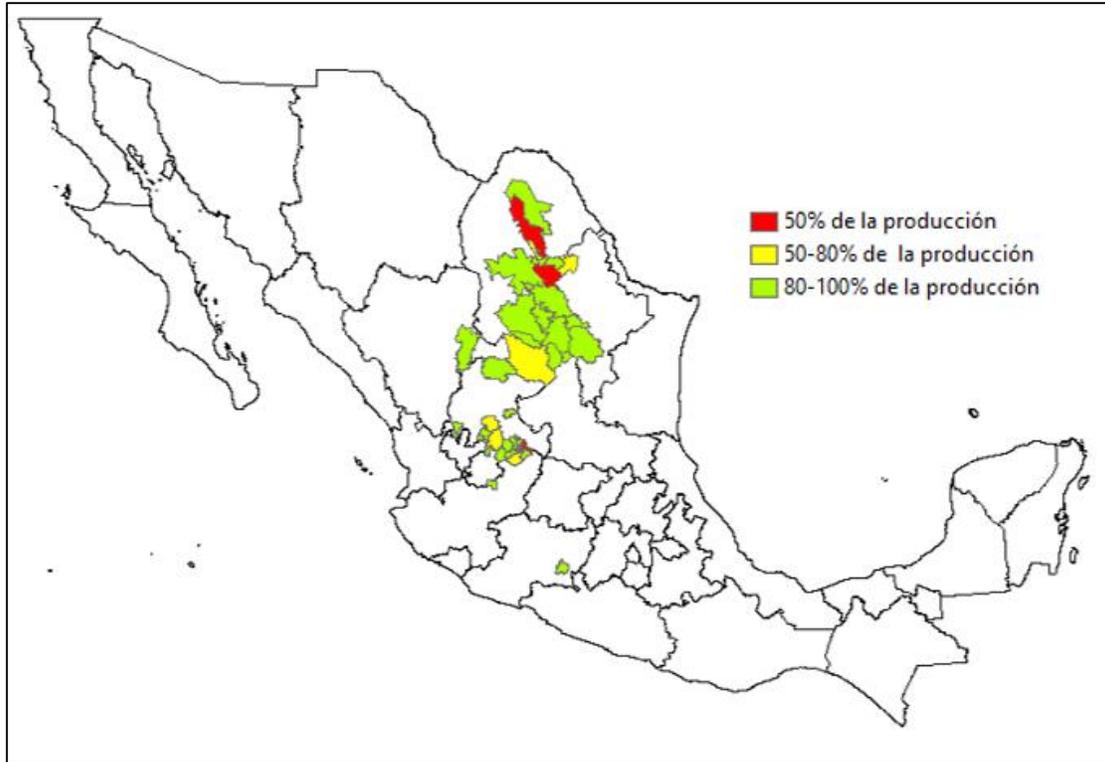


Figura 31. Pareto de la distribución de los municipios que conjuntan el 50 %, 30 % y 20 % de la producción de nopal forrajero.

Al analizar la contribución al volumen de producción de nopal verdura a nivel nacional, se identificó a los municipios de Asientos y Villanueva como los más destacados. Ya que a pesar de la poca superficie sembrada con nopal verdura tienen rendimientos extraordinarios que los ubican como polos de producción (Cuadro 5).

Cuadro 5. Municipios emergentes en la producción de nopal forrajero a nivel nacional.

Estado	Municipio	S Sembrada (ha)	Volumen (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	S Sembrada (% nacional)	Volumen (% Nacional)	Superman (% Volumen / % Superficie)	Clase
Aguascalientes	Asientos	191	9,550.00	50	1.1947020	6.7864015		
	Villanueva				0.9069727	4.0789897	5.6804135	Muy alto
Zacatecas	a	145	5,740.06	41.3			4.4973674	
							9	Muy alto

1.8.13 Tipología de productores de nopal tunero en Pinos, Zac.

El análisis de la información obtenida permitió realizar la caracterización de los productores de nopal tunero de Pinos, Zacatecas. Este apartado se envió como artículo a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (Anexo A). A continuación se describen las características de los productores de nopal de la comunidad estudiada.

En cuanto a la edad de los productores ésta oscilo entre 27 y 73 años. Este límite de edad es similar a la edad registrada por Venado-Campos *et al.* (2015) para productores de nopalito en Tlalnepantla, Morelos (19 a 68 años). Por su parte Márquez *et al.* (2012) mencionan que la edad promedio de productores de nopal tunero en Axapusco, Edo. de México es de 60 años. Vale la pena resaltar que en los tres estudios se aprecia que en la producción de tuna están inmersos principalmente adultos mayores, lo cual implica que debido a su edad presentan limitantes para realizar actividad física al llevar a cabo las prácticas de manejo requeridas. Lo anterior dificulta también brindar el desarrollo de capacidades y habilidades de manera adecuada. Por tanto estos productores requieren de estrategias de producción que no impliquen un esfuerzo físico que dañe su integridad. Esta situación se complica ante la imposibilidad de contratar mano de obra externa. Por otro lado, son personas con una experiencia considerable en el cultivo de nopal y transmiten conocimientos a las nuevas generaciones de jóvenes al heredar la tradición a sus familiares. Esto permite dar continuidad a la producción de tuna y nopal y da identidad al lugar (Santos *et al.*, 2014), ya que la identidad y el arraigo de los pobladores hacia la agricultura se dan en todo cultivo y lugar. Pinos, Zac. es el municipio con mayor producción de tuna y por ello, el relevo generacional es un valor intangible que debe ser aprovechado con políticas que apoyen a estos productores que van envejeciendo.

Respecto al grado de escolaridad, 63% de los productores cursaron la secundaria y el 37% la primaria. Por su parte, Venado-Campo *et al.* (2015), destacan que en Tlalnepantla, Morelos 47% curso la secundaria y 26% la primaria, 17% tienen nivel medio superior y solo 8% superior. Por tanto se deduce que los productores de Pinos, Zacatecas tuvieron menor posibilidad de estudiar, posiblemente porque las condiciones de ingreso de esta zona son más precarias y el traslado a las escuelas se complica por la lejanía. Es clara la necesidad de fortalecer los niveles de educación; sin embargo debe ser orientada hacia las nuevas generaciones para que el nivel de educación les aporte las características de inventiva, innovación y curiosidad por descubrir nuevos esquemas de

manejo y mejora de los canales de comercialización, usos emergentes en torno al nopal, además de las herramientas para comprender los procesos biológicos ligados al desarrollo de las plantaciones de tuna.

En cuanto a la superficie cultivada de tuna por productor, ésta oscila de 0.25 a 57 ha, siendo mayor, a la registrada por Venado-Campos *et al.* (2015), quienes mencionan que cada productor de nopal verdura en Tlalnepantla, Morelos tiene en promedio 5.5 ha cultivadas, similar superficie de tuna fue obtenida por García-Herrera *et al.* (2004b). Así mismo García *et al.* (2008) señalan 2.8 ha de tuna por productor para el estado de San Luis Potosí. Por su parte, Riojas y Fuentes (2006), destacan que los productores que obtienen volúmenes mayores tienen más posibilidad de integrarse al mercado internacional. En relación al rendimiento de tuna, éste oscila entre 1.8 a 20 t ha⁻¹, comparado con las 6.1 t ha⁻¹ promedio reportadas por García-Herrera *et al.* (2004b) en la misma zona de estudio. Ante la reducida superficie con que se cuenta, es importante y necesaria la organización de los productores y el diseño y aplicación de estrategias de manejo que estandaricen el producto y logren una diferenciación del mismo, así como incrementar el rendimiento y la calidad de la tuna.

Vale la pena resaltar que el 45% de los productores de tuna de la comunidad estudiada mostraron un fuerte arraigo hacia la producción de este cultivo y obtienen el 100% de su ingreso por dicha actividad. Esto representa un aspecto positivo en la organización y cooperación local para hacer de la tuna una fuente de ingresos sólida. Es benéfico el interés que tienen los agricultores en continuar con el cultivo, sobre todo al considerar que aquellos productores con fuerte identidad ocupacional son más flexibles al cambio debido a su capacidad adaptiva y pueden ser menos vulnerables ante situaciones no previstas (Marshall *et al.*, 2014). Al respecto Checa y Velázquez (2014) señalan que el contexto histórico de las relaciones sociales de un sitio determinado fortalece la capacidad y disposición del trabajo en conjunto. Una forma de incentivar estas relaciones es mediante acciones colectivas que permiten a los pobladores mantener su identidad y ampliar su mercado. También pueden ser fortificadas por planes, por proyectos comunes y por la unificación de criterios acerca del futuro de la producción de nopal en la comunidad (Ramos, 2014); sobre todo si se considera que en Pinos, Zacatecas el cultivo de tuna es una actividad muy arraigada aunque no dependen completamente de este negocio.

En relación a las actividades productivas de los agricultores, ellos además de dedicarse a la tuna, también son ganaderos, jornaleros, emigrantes o comerciantes, lo que les brinda entre el 20 y 50% de su ingreso económico. Los productores de Pinos tienen actividades complementarias como la ganadería, además de recibir apoyo económico proveniente de las remesas enviadas por sus familiares (García-Herrera *et al.*, 2004b). No obstante el hecho de tener actividades adicionales podría traer como consecuencia la pérdida del conocimiento y la tradición del cultivo de nopal tunero en la región. La pluralidad de actividades se presenta en aquellos lugares en donde las actividades agropecuarias han perdido centralidad y ya no son la única fuente de ingresos de los productores rurales (Santos *et al.*, 2014). Esto refleja que se está perdiendo poco a poco el interés en realizar actividades relacionadas con el campo, aunado al insuficiente e inoportuno apoyo económico y de organización que aseguren la rentabilidad de los sistemas agrícolas. Otro aspecto a considerar es que en la búsqueda de fuentes alternativas de sustento para mantener a sus familias descuidan sus huertas. Las limitantes técnicas de mantenimiento de las parcelas con tuna han provocado el abandono paulatino de las huertas (Márquez *et al.*, 2012). Entre estas destacan el manejo inadecuado de las huertas, la presencia de plagas y enfermedades, la baja calidad de tuna, los bajos precios de venta y la baja rentabilidad del cultivo.

Los productores de tuna se dedican a la venta o autoconsumo del fruto, sin agregarle valor como producto semiterminado para su venta o la transformación en mermeladas, dulces u otros coproductos. La mayoría de los productores destinan su producción para venta local, a intermediarios y muy pocos la comercializan a Estados Unidos. Esto refleja la diferencia de oportunidades de mercado debido a que no cumplen con los estándares de calidad del fruto y solo algunos tienen la oportunidad y posibilidad de introducirse al mercado nacional e internacional. El problema de la comercialización no solo implica a productores de nopal tunero, sino también de otros cultivos (Santos *et al.*, 2014). Esta comercialización limitada es causada por un mercado insuficiente, aunado a que es un fruto estacional y su precio es variable. Una situación que se presenta en San Luis Potosí con los productores de tuna es que solo venden 40% de su producción (García *et al.*, 2008).

La mayoría de los productores se relacionan con productores locales (67%), en relaciones como líder (un modelo a seguir), consejero (búsqueda de información relacionada con la producción) o socio (necesidad de apoyo económico), 24% no establece relación alguna por lo que se consideran

productores que trabajan de manera individual, 8% se relaciona únicamente con productores foráneos (fuera de su propia comunidad) y el restante 1% de productores tratan con productores foráneos y locales. Estas relaciones de producción se dan por conversaciones con agricultores experimentados o con familiares que se dedican a dicha actividad (Riojas y Fuentes, 2006) o por recomendaciones específicas (plagas y enfermedades) de otros agricultores y vendedores de agroquímicos (Márquez *et al.*, 2012). Son relaciones muy locales y espontáneas, dado que puede existir escasa interacción y poca cooperación entre productores por la competencia existente. Algunas relaciones se vuelven más cercanas llegando a relaciones de compadrazgo (Ramos, 2014). La falta de confianza y organización no permite un desarrollo satisfactorio para los habitantes tuneros de Pinos, Zacatecas, ya que 18% de los productores trabajan individualmente, un 10% lo hace con productores foráneos y el 72% con productores locales, sin embargo sus relaciones no son extensas, ya que siempre trabajan y relacionan con los mismos compañeros.

1.8.14 Análisis de correlación de variables de productores de nopal tunero en Pinos, Zac.

Se realizó un análisis de correlación de 11 variables medidas a productores de tuna en Pinos, Zac. (Cuadro 6). Se tomó como criterio descartar aquellas variables con un grado de relación mayor a 0.7 o menor a -0.7. Como resultado de lo anterior quedaron en total 9 variables ya que tres de ellas presentaron una alta correlación. Se eliminó “consejero” por tener una relación de 0.802 con la variable “socio” por lo que se deduce que un mismo productor se relaciona con otros agricultores de tuna que fungen igualitariamente como consejeros y socios, ambos siendo foráneos o locales. También se descartó el “porcentaje de ingreso de actividad secundaria” por su relación negativa de -0.848 con “porcentaje de ingreso de actividad 1” lo que indica que al obtener mayores ingresos económicos por el cultivo de la tuna, el ingreso generado por otras actividades es menor, por tanto se tiene mayor interés en el cultivo de tuna, siendo variables compensatorias. El “porcentaje de ingreso de actividad secundaria” tiene una relación positiva (0.807) con “actividad secundaria”, lo que indica que los productores que se dedican a otras actividades aparte del cultivo de tuna incrementan su ingreso económico. Cabe destacar que hay algunas relaciones entre variables que nos ayudan a interpretar la caracterización de los productores tuneros como son la edad del productor y el nivel de estudios de secundaria (-0.48), lo que indica que los productores de mayor edad no tuvieron oportunidad de estudiar y probablemente tuvieron que dedicarse totalmente al

campo, lo que los coloca como los precursores de la actividad tunera. Por otro lado, los productores que no se dedican a una actividad secundaria obtienen la mayor parte de sus ingresos por el cultivo de la tuna (-0.69), por último, las relaciones de liderazgo y consejero tienden a ser hacia las mismas personas posiblemente por la falta de confianza.

Cuadro 6. Correlación de once variables encuestadas a 38 productores de tuna de Pinos, Zacatecas.

	Educación secundaria	% de ingreso por cultivar tuna	Actividad económica secundaria	% de ingreso de actividad secundaria	Venta de tuna	Edad del productor	Rendimiento de tuna	Superficie sembrada	Relación de liderazgo	Relación asociativa	Relación de consejeros
Educación secundaria	1										
% de ingreso por cultivar tuna	-0.13	1									
Actividad económica secundaria	0.08	-0.69	1								
% de ingreso de actividad secundaria	0.14	-0.85	0.85	1							
Venta de tuna	0.02	0.12	-0.03	-0.002	1						
Edad del productor	-0.48	0.23	-0.17	-0.28	0.03	1					
Rendimiento de tuna	0.004	0.13	-0.05	-0.01	0.18	-0.2	1				
Superficie sembrada	0.002	0.03	0.01	0.04	0.17	-0.003	0.15	1			
Relación de liderazgo	0.2	-0.2	0.16	0.2	-0.28	-0.41	-0.25	-0.16	1		
Relación asociativa	0.08	-0.08	0.15	0.2	0.2	-0.3	0.11	-0.12	0.27	1	
Relación de consejeros	0.14	-0.15	0.25	0.3	0.07	-0.35	-0.1	-0.04	0.4	0.8	1

1.8.15 Análisis de componentes principales de la tipificación de productores de nopal tunero en Pinos, Zac.

Se realizó un análisis de componentes principales (CP) con las nueve variables del cuadro anterior, y se determinaron cuatro CP que explican 69% (Figura 32) el modelo de tipología de productores de nopal a una varianza de 0.69 y con un total de 5 variables (edad del productor, porcentaje de ingreso por cultivar tuna, rendimiento de tuna, actividad secundaria y relación asociativa) distribuidas en los 4 CP (Cuadro 7).

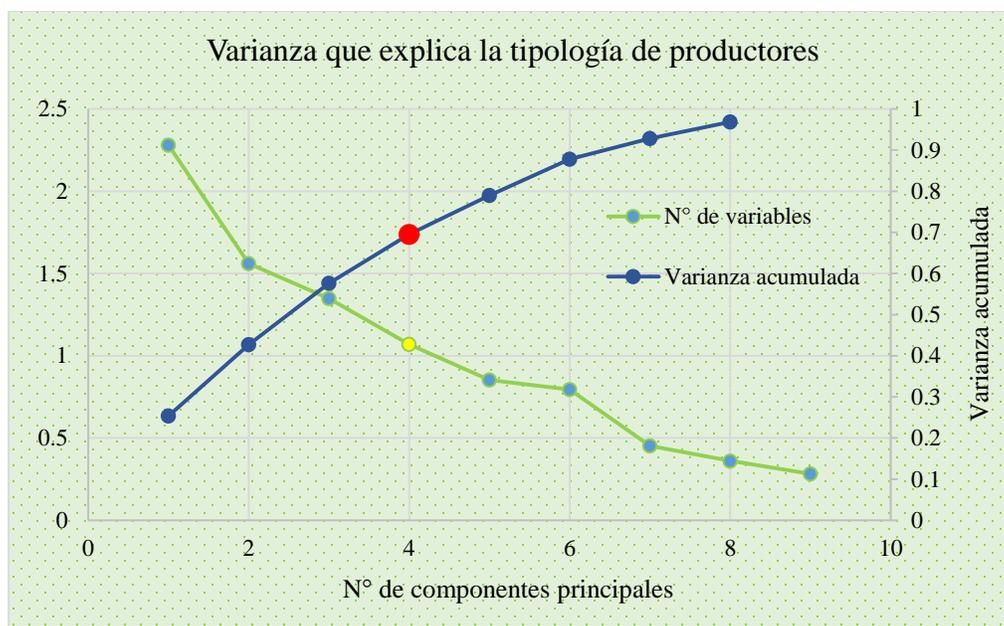


Figura 32. Varianza que explica la tipología de productores. Número de componentes principales (punto amarillo) a una varianza de 0.695 (punto rojo).

El componente principal 1 con nueve variables aporta el 25% a la explicación del modelo, sin embargo el “porcentaje de ingreso por cultivar tuna” (-0.449) y la “edad del productor” (-0.454) son las que aportan mayor significancia (área sombreada). Lo que indica que valores pequeños de estas variables corresponden a un ingreso económico y edad de productores menor. En el CP 2 la variable de mayor peso es “rendimiento de tuna” (0.548), indicando que valores grandes de esta, corresponde a un mayor rendimiento de tuna. El CP 3 con la variable más significativa de “actividad secundaria” (0.564), esta al tener valores altos indica que los productores se dedican principalmente a actividades fuera del ámbito rural. Finalmente el CP 4 con la variable “relación asociativa” (0.636) indica que valores altos corresponden a productores con asociaciones locales a foráneas. Estos cuatro componentes principales explican el 0.695 de la varianza total.

Cuadro 7. Componentes principales de 38 productores y 9 variables en Pinos, Zacatecas.

Variable	Componente principal 1	Componente principal 2	Componente principal 3	Componente principal 4
Educación secundaria	0.327165	0.269524	-0.222733	-0.447955
% de ingreso por cultivar tuna	-0.447979	0.178241	-0.495823	0.015293
Actividad económica secundaria	0.415779	-0.101959	0.564864	0.093703
Venta de tuna	-0.13744	0.495749	0.236628	0.31786

Edad del productor	-0.454276	-0.355428	0.226183	0.212034
Rendimiento de tuna	-0.083891	0.54807	0.106018	-0.025636
Superficie sembrada	-0.118716	0.288601	0.338326	-0.487102
Relación de liderazgo	0.441778	-0.156966	-0.366111	0.038316
Relación asociativa	0.279016	0.323706	-0.136324	0.636346

El 0.69 de la varianza se logra con cuatro componentes principales y cinco variables (Cuadro 8). Se tomó como criterio que el modelo fuera explicado al menos con el 50% de las variables más significativas, lo que facilitaría el esclarecimiento y comprensión de las dimensiones en que se explica el modelo, perdiendo la menor información posible. Ya que al incrementar un CP la varianza explicada sube únicamente 0.8 y si se disminuye un CP la varianza baja 0.12. Las variables que en conjunto tuvieron mayor influencia en la separación y formación de grupos de productores fueron “edad del productor y porcentaje de ingreso por cultivar tuna” que explican 25% del modelo y se encuentran dentro del CP 1. Seguido por las variables rendimiento de tuna, actividad económica secundaria y relación asociativa.

Cuadro 8. Análisis de componentes principales de 38 productores de nopal tunero y nueve variables, en el municipio de Pinos, Zacatecas.

N° de variables	Varianza	Varianza Acumulada	Ecuación
2	0.2534	0.2534	CP1 = - 0.454 edad del productor - 0.447 porcentaje de ingreso económico por producción tunera
1	0.1734	0.4267	CP2 = 0.548 rendimiento de tuna
1	0.1496	0.5764	CP3 = 0.564 actividad económica secundaria
1	0.1187	0.6951	CP4 = 0.636 relación asociativa

1.8.16 Análisis de conglomerados de productores de nopal tunero en Pinos, Zac.

Mediante la aplicación de la técnica de análisis multivariado, se conformaron 10 grupos de productores de tuna con una R^2 de 0.669 (Figura 33), dichos grupos se separaron por rasgos distintivos y se agruparon por la similitud de sus características. En un estudio realizado por Martínez-Carrasco *et al.*, (2009) formularon un análisis similar definiendo tres tipos de productores de alimentos ecológicos en España.

En la Figura 33 se muestra la separación jerárquica de grupos, los cuales se identificaron por la letra G (grupo) más una letra minúscula.

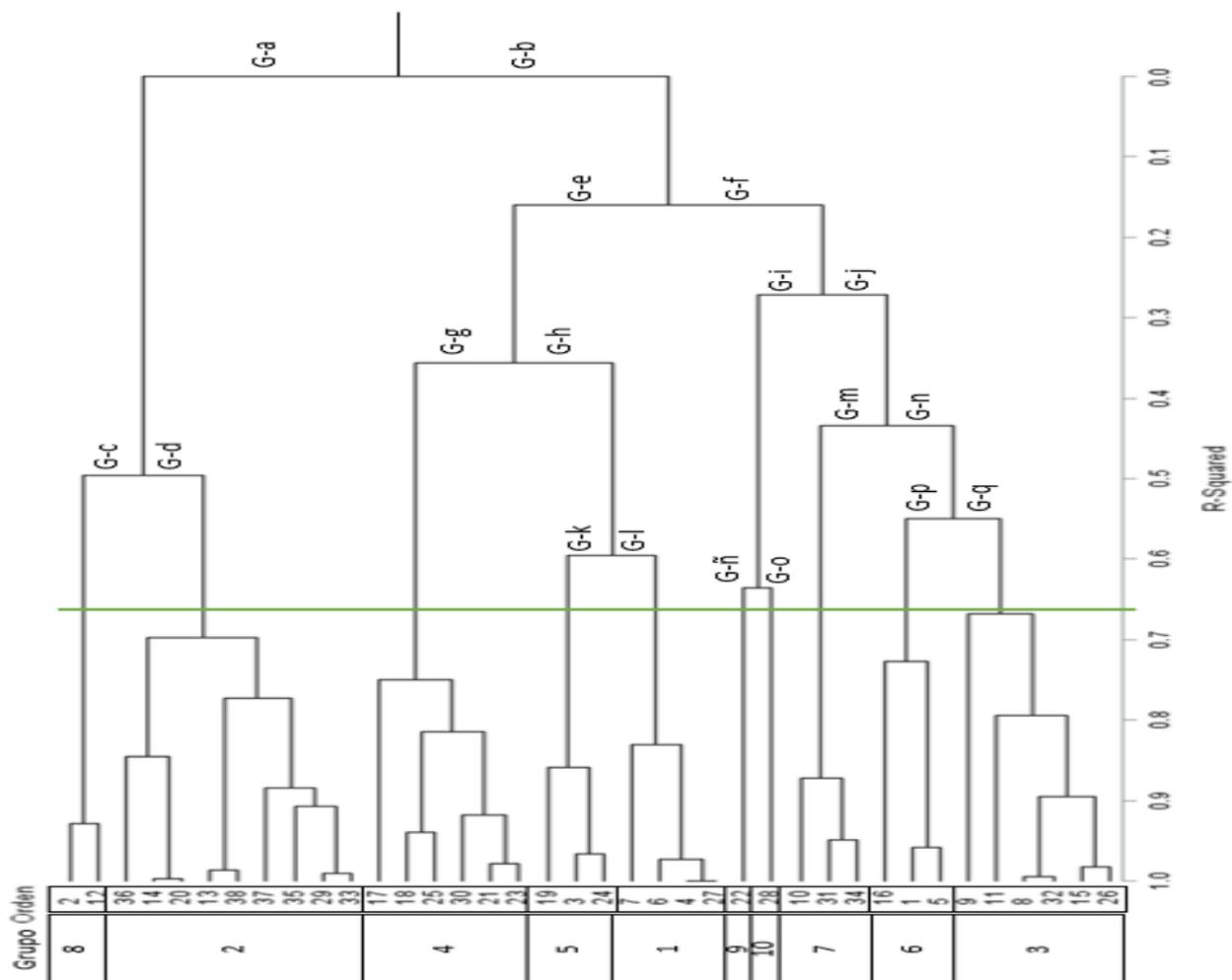


Figura 33. Formación de grupos de productores de tuna a una R^2 de 0.669 (línea verde) y separación jerárquica de grupos, G = grupo, letra minúscula = identificador de cada grupo.

Al incrementar el número de grupos a formar también aumenta la explicación de R^2 (Cuadro 9) debido a que éstos se van separando por diversas características, tendiendo a llegar a $R^2=1$ cuando los grupos son individuales. En el presente estudio se explica el modelo a una R^2 de 0.669 la cual se logra al formar 10 grupos de productores de tuna. Se tomó como criterio que existiera una similitud de productores con una R^2 entre 0.6 y 0.7, lo cual permite hacer una caracterización más apropiada de grupos por su semejanza y facilita su conducción al implementar estrategias de manejo. Valores de R^2 menores a 0.6 implican menor cantidad de grupos pero mayor heterogeneidad entre los productores de cada grupo. Por otro lado, valores mayores a 0.7 brindan mayor homogeneidad pero involucran más grupos, lo que dificulta la intervención social por la disponibilidad de recursos económicos y humanos. El que exista mayor heterogeneidad entre los

productores de cada grupo o mayor cantidad de grupos implica mayor esfuerzo y quizá menos eficiencia al incorporar programas de manejo, por lo que se buscó un valor que mediara estas condiciones. De acuerdo con Santos *et al.* (2014) la eficacia de las políticas de desarrollo rural se puede incrementar significativamente a partir de una diferenciación de productores y de sus sistemas de producción.

Cuadro 9. Aportación de cada grupo de productores a la explicación de R^2 en el análisis de conglomerados.

Grupo	Explicación de R^2
1	0
2	0.16
3	0.271
4	0.356
5	0.434
6	0.496
7	0.549
8	0.595
9	0.635
10	0.669

Los grupos de productores de tuna G-a y G-b se separaron en primera instancia por el tipo de actividad 2 que realizaban, consecutivamente se fueron separando por su relación con socios locales o foráneos o por ser productores que trabajan individualmente, así como por el volumen de tuna que producen, representados por los grupos G-c, G-d, G-e y G-f (Figura 34 y 35). Inmediatamente estos grupos se separaron en los que se dedican 100 % al cultivo de tuna y quienes también realizan otras actividades (G-g, G-h, G-i y G-j). A medida que aumentaba el valor de R^2 se formaron más grupos, teniendo como siguiente característica distintiva si eran productores jóvenes, adultos o adultos mayores, más el tipo de relación con socios locales, foráneos o individualistas (G-k, G-l, G-m y G-n). Finalmente para alcanzar una R^2 de 0.669 se formaron 10 grupos que se separaron en último momento por la edad, el porcentaje de ingreso de la actividad 1, la relación con otros productores de tipo socios y el volumen de tuna.

Características que permitieron la separación de grupos de productores de tuna con una R2 de 0.669

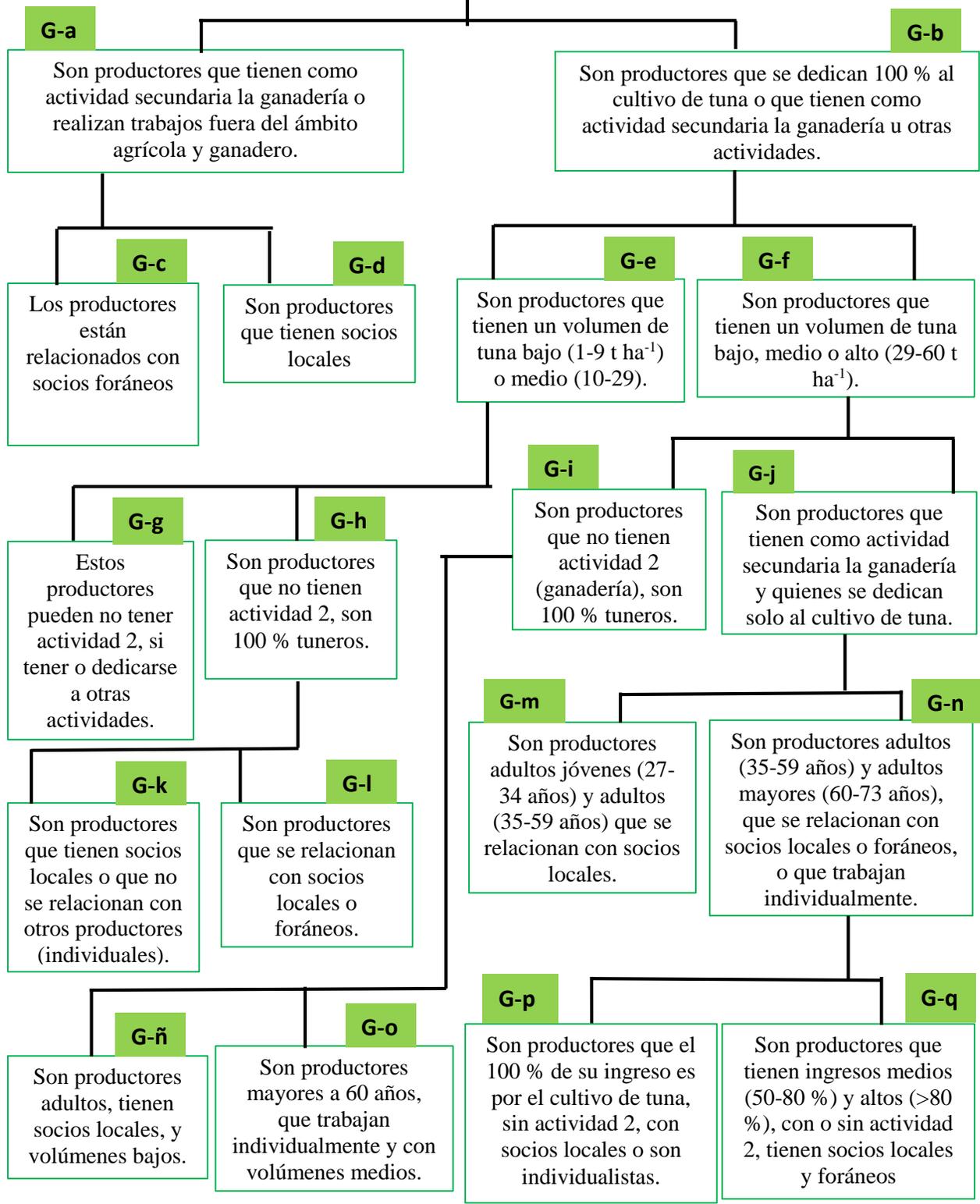


Figura 34. Separación jerárquica por rasgos distintivos entre los grupos de productores que se formaron a una R^2 de 0.669.

Las características distintivas entre grupos (verticalmente) y las similares entre productores (horizontalmente) se presentan en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Características de los grupos de productores en relación a los componentes principales 1 a 4.

Grupo	Productor	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	
		Edad del productor (años)	Porcentaje de ingreso de actividad 1 (productor de tuna)	Volumen de tuna (ton ha^{-1})	Actividad secundaria (ganadero)	Relación con productores de tuna de tipo "Socio"
G1-L	4,6,7,27	Adultos (35-59) y adultos mayores (>60)	Alto (80-100 %),	Bajo (1-9)	Sin actividad 2	Local y foráneo
G2-d	13,14,20,29,33,35,36,37,38	Adultos	Bajo (<50), medio (50-80 %)	Medio (10-29), alto (>30)	Son ganaderos o realizan otras actividades	Local e individual
G3-q	8,9,11,15,26,32	Adultos	Medio y alto	Medio y alto	Algunos si tienen y otros no	Local, individual y foráneo
G4-g	17,18,21,23,25,30,3,19,24	Adultos y adultos mayores	Medio y alto	Bajo y medio	Hay quienes si tienen, quienes no y los que realizan otras actividades	Local e individual
G5-k	3,19,24	Adultos y adultos mayores	Medio y alto	Bajo	Sin actividad 2 o con otras actividades.	Individual y local
G6-p	1,5,16	Adultos y adultos mayores	Alto	Medio y alto	Sin actividad 2	Local e individual
G7-m	10,31,34	Adultos jóvenes (<34) y adultos	Medio y alto	Alto	Algunos si tienen y otros no	Local

G8-c	2,12	Adulto joven y adulto	Bajo y medio	Bajo y medio	Hay quienes si tienen y quienes realizan otras actividades	Foráneos
G9-ñ	22	Adulto	Alto	Medio	Sin actividad 2	Local
G10-o	28	Adulto mayor	Alto	Bajo	Sin actividad 2	Individual

En relación a la caracterización de cada grupo, se obtuvo que los conjuntos que integran a la mayor cantidad de productores son el 2, 3 y 4, mientras que los grupos 9 y 10 son formados por tan solo un productor cada uno.

El grupo G1-L está conformado por productores de tuna que tienen edades entre 34 y 63 años, su ingreso es 100 % por el cultivo de tuna con volúmenes de producción de 1 a 5 ton ha⁻¹, son personas que no se dedican a otras actividades y tienen relación con productores de la misma localidad y foráneos (Cuadro 10). Por tanto es un grupo susceptible de introducir una estrategia que permita incrementar los volúmenes de producción mediante un manejo de sus plantaciones tuneras y así mismo crear y fortalecer sus relaciones con productores foráneos, dirigiéndolos con una visión de trabajo en conjunto para generar vínculos con empresas que permitan la transformación y comercialización de la tuna.

El grupo G2-d está formado por productores en edades entre 34 a 60 años, su ingreso económico por el cultivo de tuna oscila de 20 a 70 % ya que la mayoría se dedican a actividades fuera del ámbito agrícola y ganadero, tienen volúmenes de producción de 10 a 30 ton ha⁻¹ y la mayoría tienen socios locales, solo uno de ellos trabaja individualmente (Cuadro 10). Es un grupo al que se podrían aplicar medidas para incrementar su volumen de producción y que se debe vincular con productores foráneos con la visión de ampliar su área de comercialización de la tuna, lo cual repercutirá en que estos productores tengan como prioridad el cultivo de la tuna y que sus ingresos sean generados principalmente por esta actividad. Esto es importante para evitar perder la tradición y el conocimiento en el cultivo de este recurso, así mismo impide el desplazamiento de las familias hacia zonas de trabajo fuera de su localidad, lo cual les genera mayores gastos.

El grupo G3-q está formado por productores con edades de 52 a 59 años, con ingresos de 50 a 100% por la tuna y con volúmenes de 10 a 38 t ha⁻¹, son personas que se dedican 100% al cultivo de tuna o que también son ganaderos y que se relacionan principalmente con socios locales, solo

uno de ellos trabaja individualmente y otro tienen un socio foráneo (Cuadro 10). Es un grupo de productores que se debe incentivar para crear vínculos de relación con productores foráneos, lo cual les permitiría en un futuro trabajar en conjunto y ampliar su zona de distribución de tuna, también es importante que incrementen su volumen de producción.

El grupo G4-g está conformado por productores en edades entre 55 y 73 años, con el 50 a 100% de su ingreso por el cultivo de tuna y con volúmenes de producción de 5 a 20 t ha⁻¹, en este grupo hay quienes se dedican 100% al cultivo de tuna, quienes su actividad secundaria es la ganadería y quienes además se dedican a otras actividades aparte del cultivo de tuna pero fuera del ámbito rural (Cuadro 10). También tienen socios locales y solo uno de ellos trabaja individualmente, los productores que no se relacionan con otros es por la falta de confianza que existe en la comunidad tunera, lo cual es negativo ya que repercute en el buen funcionamiento y en el crecimiento del sistema productivo de tuna. En este grupo se deben aplicar estrategias que permitan el incremento del volumen de producción de tuna a través del manejo de sus plantaciones, así mismo se deben crear vínculos con productores foráneos y ampliar las zonas de comercialización de este producto, lo cual repercutirá en que el cultivo de tuna sea la principal actividad de ingreso económico de las familias tuneras y que su conocimiento se siga transmitiendo de generación en generación.

El grupo G5-k está formado por productores en edades entre 42 y 61 años, con ingresos del 50 al 100 % por medio de la tuna, su volumen de producción es menor a 5 ton ha⁻¹ y no tienen actividad 2. Tienen socios locales o trabajan de manera individual sin mantener relación con otros productores (Cuadro 10). En este grupo se debe prestar especial atención en incrementar el volumen de su producción ya que es muy bajo, también es necesario generar relaciones con productores locales y foráneos.

El grupo G6-p contiene a productores entre 48 y 69 años que se dedican únicamente al cultivo de tuna y el 100 % de su ingreso es debido a esta actividad, tienen volúmenes altos de producción con 46 y 50 t ha⁻¹ y solo uno de ellos obtiene 12 t ha⁻¹. Tienen socios locales y uno de ellos trabaja individualmente (Cuadro 10). A este grupo se le debe implementar el interés en vincularse con productores foráneos lo cual permitiría ampliar la distribución de la tuna.

El grupo G7-m mantiene a productores entre 33 y 38 años de edad, con un ingreso económico del 80 al 100% por el cultivo de tuna y con volúmenes de producción altos entre 40 y 60 t ha⁻¹, solo

uno de ellos no se dedica 100% al cultivo de tuna y tienen socios locales (Cuadro 10). Es un grupo que se caracteriza porque los productores son los más jóvenes y que tienen un alto interés en la producción de tuna ya que obtienen altos volúmenes de la misma; sin embargo, sus relaciones no van más allá de lo local, por lo que se les debe crear el interés de vincularse con productores foráneos para ampliar su mercado. Es un grupo de productores ejemplo en la producción de nopal.

El grupo G8-c también tiene a productores jóvenes de 27 a 36 años y que en comparación con el grupo anterior tienen volúmenes bajos de producción con 2 y 12 t ha⁻¹ y el 50 a 40% de su ingreso proviene de otras actividades que no son tuneras y con socios (Cuadro 10). En este grupo se debe prestar atención en aplicar una estrategia que incremente su volumen de producción, así como fortalecer sus relaciones para trabajar en conjunto.

El grupo G9-ñ está formado por un productor de 43 años que se dedica únicamente al cultivo de tuna y su ingreso total proviene de esta actividad, obtiene 12 t ha⁻¹ y se relaciona con socios locales (Cuadro 10).

El grupo G10-o está formado por un productor de 73 años que se dedica solo a la producción de tuna con el 100% de su ingreso por dicha actividad, con volumen de producción baja de 3.5 ton ha⁻¹ y no se relaciona con nadie (Cuadro 10).

En la Figura 34 se presenta la dispersión de productores de tuna de acuerdo a los componentes principales 1 y 2. En el cuadrante superior derecho (Figura 35) se encuentran diez productores (4,7,10,12,13,27,29,31,33,36) distribuidos en cuatro grupos (1,2,7,8) que son similares por ser adultos o adultos jóvenes que tienen volúmenes de tuna de medios a altos y que su ingreso económico está representado de un 50 a 20% por actividades diferentes al cultivo de tuna, por tanto su prioridad no es la actividad tunera. En el cuadrante superior izquierdo (Figura 35) se localizan diez productores (1,5,6,8,9,15,16,22,26,34) distribuidos en cinco grupos (1,3,6,7,9), siendo adultos y adultos mayores, su ingreso económico va de 50 a 100% por el cultivo de tuna, y son productores que tienen volúmenes de tuna medios a altos. El cuadrante inferior derecho (Figura 34) se caracteriza por representar a once productores (2,7,14,17,18,19,20,23,24,35,37) distribuidos en cinco grupos (1,2,4,5,8) con rasgos similares ya que son adultos o adultos jóvenes que obtienen del 20 al 50 % de su ingreso por otras actividades diferentes al cultivo de tuna y tienen volúmenes de tuna que van de bajos a medios. El cuadrante inferior izquierdo (Figura 35) incluye a siete

productores (3,11,21,25,28,30,32) de cuatro grupos diferentes (3,4,5,10), son adultos y adultos mayores que tienen volúmenes de tuna de bajos a medios y que su ingreso económico va de 50 a 100% por motivo del cultivo de tuna, siendo el más representativo el grupo 10 y productor 28.

En relación a la separación de grupos, éstos se dispersaron en primera instancia por la edad del productor y por su dependencia económica de la actividad tunera, siendo los principales criterios de clasificación (Figura 35). Los grupos 10, 6 y 3 son los grupos de mayor edad y que dependen al 100% de la actividad tunera; mientras que los grupos 8 y 2 están integrados por productores jóvenes que dependen muy poco de la actividad tunera (Figura 35). De acuerdo al rendimiento de producción de tuna que es la siguiente razón de separación, los integrantes del grupo 7 son los productores más importantes de tuna; mientras que los productores del grupo 4 tienen los menores volúmenes de producción de tuna. Estos últimos grupos contienen a productores entre 33 y 73 años con más del 50% de ingresos económicos por la actividad tunera (Figura 35). Los productores más jóvenes pueden tener una visión de ingreso económico más amplia, ya que no se dedican solo al cultivo de tuna y por ello, podrían tener mayor disposición a cambiar la tradición del cultivo y estar interesados en crear y promover otras fuentes de ingreso económico. Por otro lado, se les puede incentivar para que dirijan su atención primordialmente a la producción de tuna debido a que son adultos jóvenes que tienen capacidad para realizar actividades del campo.

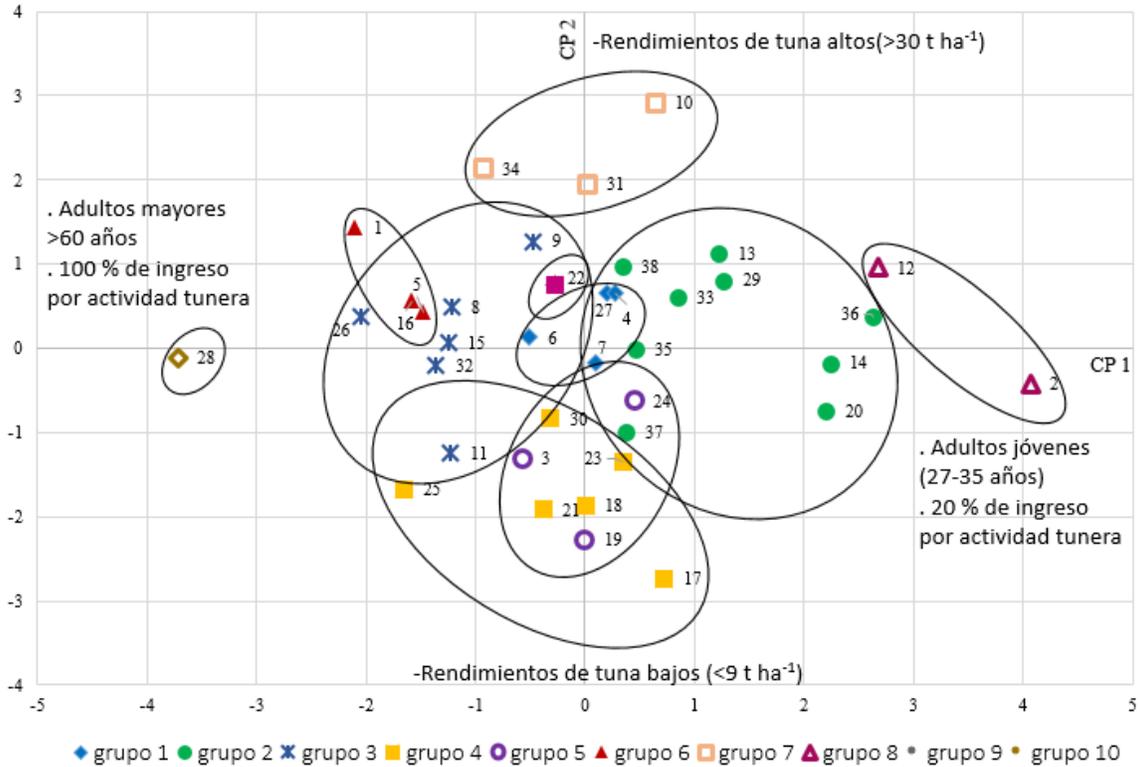


Figura 35. Distribución de productores de tuna en Pinos, Zacatecas por CP 1 y 2 ($R^2=0.69$).

A fin de facilitar el diseño de estrategias para los productores de tuna, se conjuntaron los grupos de productores con debilidades compartidas. Estas estrategias se listan a continuación:

La primer estrategia está enfocada a los grupos 2 (productores indecisos), 4 (productores no rurales), 5 (productores adultos con productividad muy baja), 9 (productores exclusivos de tuna, adultos) y 10 (productores exclusivos de tuna, adultos mayores). Para estos productores se debe tener como objetivo prioritario: incrementar el rendimiento de tuna a un nivel de 30 t ha⁻¹; además, crear vínculos con productores locales y foráneos, es recomendable al menos una relación externa por productor. La segunda estrategia es para los grupos 1 (productores exclusivos de tuna sin edad definida) y 3 (productores rurales). Los objetivos a cumplir para este grupo de productores son: incrementar el volumen de producción, fortalecer las relaciones existentes por medio de acciones de trabajo en conjunto que aporten beneficios y crear nuevos vínculos con productores foráneos. La tercera estrategia se enfoca a los grupos 6 (productores exclusivos de tuna, adultos y adultos mayores) y 7 (productores adultos jóvenes) para crear vínculos con productores foráneos. La cuarta

estrategia está dirigida al grupo 8 (productores adultos jóvenes indecisos) y consiste en incrementar el volumen de producción y fortalecer las relaciones existentes.

Cada estrategia está encaminada a mejorar el estado actual de los productores de tuna, mediante acciones que permitan incrementar el volumen de producción de tuna ligado al adecuado manejo de las plantaciones, así como, incrementar la calidad de fruto, fortalecer las relaciones interpersonales y la vinculación con productores foráneos con la intención de ampliar el mercado. Esta dirección de la visión de trabajo en conjunto podría generar relaciones con empresas que permitan la transformación de la tuna y extender su área de comercialización. Al ampliar el mercado se generarán mayores ingresos, lo que podría direccionar a los productores a retomar el cultivo de tuna como su actividad prioritaria. Lo anterior es trascendental para evitar perder la tradición, el conocimiento en el cultivo de este recurso y la identidad de la región, y de esta manera evitar el desplazamiento de las familias hacia zonas de trabajo fuera de su localidad. Por otro lado, es necesario el fortalecimiento de las relaciones de trabajo con una proyección a futuro, ya que la falta de organización y cooperación limitan el fortalecimiento de la producción (Checa y Velázquez, 2014). Estos autores mencionan que las iniciativas en comercialización y la adquisición de recursos económicos que sean aplicados a las plantaciones ayudan a mitigar la vulnerabilidad del sistema productivo. Los productores que están constituidos en cooperativas tienen la posibilidad de vender a precio fijo o pactado dentro y fuera del país (Riojas y Fuentes, 2006), lo que apoya el valor fundamental de la organización para lograr un desarrollo comunal e incrementar los ingresos económicos de una región. Cabe mencionar que solo 29 % de los productores de tuna en Pinos, Zacatecas está organizado formalmente (García-Herrera *et al.*, 2004b).

Los productores pueden organizarse a través de asambleas comunales, siendo un importante mecanismo para la toma de decisiones y con resultados satisfactorios en la producción y comercialización. Estos espacios de cooperación se crean a partir de la conformación de grupos con ideales similares, además de que impulsa los sistemas hacia el éxito al proveer un crecimiento económico para la comunidad (Ramos, 2014). Por otro lado, la confianza es fundamental ya que brinda seguridad en la percepción de las personas hacia el emprendimiento de acciones nuevas (Checa y Velázquez, 2014). Los productores de tuna de Pinos, Zacatecas que no tienen formas de organización desarrolladas, limitan la posibilidad de desarrollar su sistema productivo. Por ello se

deben crear estrategias de intervención que incluyan al mayor número de actores posibles. En este contexto, los grupos organizados y con fuertes relaciones tienen mayor orientación al cambio representado como adopción de nuevas tecnologías (Marshall *et al.*, 2014).

1.8.17 Red social de productores de tuna de la comunidad de Pinos, Zac.

La generación de la red social permitió identificar los productores clave por cada grupo formado en la tipificación. La red que se encuentra en la parte superior fue generada por relaciones de parentesco y la inferior por las relaciones obtenidas en las encuestas (Figura 36). Los productores marcados en cuadro marrón y con número identificador son los agricultores que forman parte importante en la red, ya que son esenciales para el flujo de información por su conexión hacia los grupos de productores. La red social facilita reconocer e interpretar la estructura, dinámica e integración de los productores de tuna (Smith *et al.*, 2009). De la misma forma, se identificó la dirección del flujo de información y la posición jerárquica de cada componente, igualmente se señalaron en el estudio de Sih *et al.*, (2007). La identificación de estos actores dentro de la red social permite focalizar y direccionar estrategias de innovación rural con mayor facilidad, además que eficientiza su aplicación en el sistema productivo de nopal en beneficio de las familias productoras de dicha comunidad. Estos actores serán las primeras personas con quienes se tendrá contacto para implementar un programa de innovación rural, y ellos transmitirán la información a los demás productores, viéndose la red como una línea de intercomunicación activa. Dicho programa deberá tener como objetivos incrementar el rendimiento de tuna con una calidad adecuada y crear y fortalecer relaciones con productores foráneos con mira hacia ampliar el mercado.

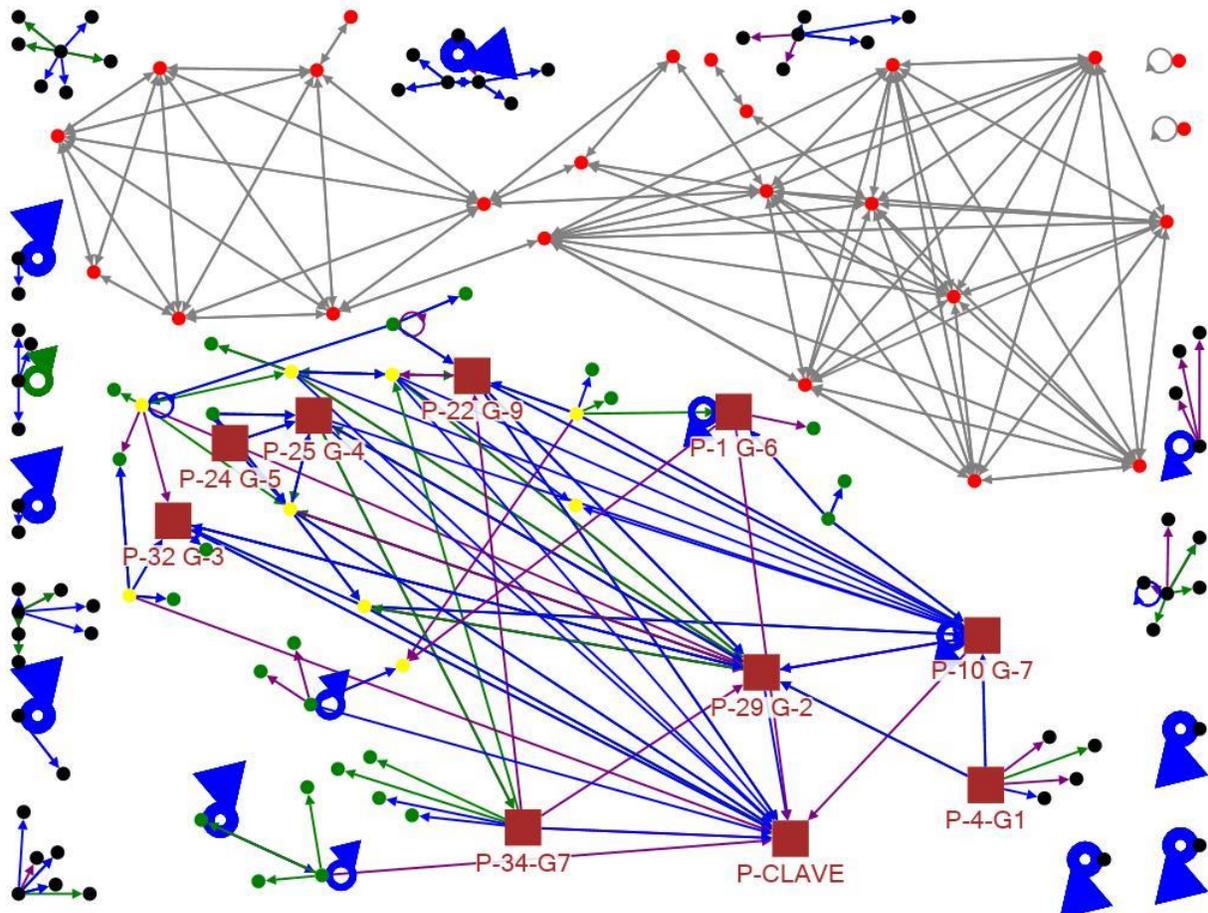


Figura 36. Integración de productores de tuna de Pinos, Zac. en una red social. Productores clave por grupo (cuadrado marron), productores laterales (circulo verde), productores centrales (circulo amarillo), productores con poca influencia (circulo negro), relaciones de liderazgo (lineas azules), relaciones de consejeros (lineas verdes) y relaciones de socios (lineas purpuras). P-25= número de productor y G-4=grupo al que pertenece.

1.9 CONCLUSIONES

La producción de nopal verdura, tunero y forrajero no es similar en todo el país, ya que existen zonas que reflejan un auge importante en su producción por tener un rendimiento considerablemente mayor. La tendencia observada es que su producción se está desplazando hacia zonas con mejores condiciones agroecológicas y de mercado, por el contrario, hay zonas que han dejado de producirlo.

Estos contrastes se deben principalmente a las diferencias de temperatura y precipitación de cada zona productora y a la especie cultivada, también a inadecuadas prácticas de manejo, problemas

de plagas y enfermedades, e inadecuados programas de apoyo. Aunado a esto, la ineficiente comercialización debido a la baja calidad del producto no permite integrarse al mercado nacional e internacional.

Las entidades con mayor superficie sembrada y volumen de producción de nopal verdura son Milpa Alta, D.F y Tlalnepantla, Mor.; sin embargo, los municipios de Melchor Ocampo, San Martín de las Pirámides, Tultepec, Teotihuacán y Cuautitlán Izcalli son las áreas emergentes en su producción por tener rendimientos promedio de 125 t ha^{-1} , situándose como los más eficientes a nivel nacional en la producción de nopalito. La producción de nopal verdura se concentra en el centro del país, siendo los puntos de mayor consumo a nivel nacional.

El estado de Zacatecas es el que más aporta a la producción nacional de tuna, destacándose el municipio de Pinos, Zac por tener la mayor superficie tunera y volumen de producción. Los municipios emergentes en la producción de tuna son General Felipe Ángeles y Palmar de Bravo, Puebla, con 20 t ha^{-1} . Estas son las áreas más eficaces en la producción de nopal tunero en México. La producción de este fruto se ha visto desplazada a zonas con climas propicios como lo es Puebla, sin embargo, se concentra en la zona centro-norte del país.

La producción de nopal forrajero a nivel nacional se da principalmente en los estados de Coahuila y Zacatecas, destacándose el municipio de Castaños, Coah.; sin embargo, Aguascalientes, Zacatecas y Jalisco tienen los mejores rendimientos con 29 t ha^{-1} . Los municipios emergentes en la producción de nopal forrajero en el país son Asientos y San Francisco de los Romo, Ags., y Villanueva, Zac. con un rendimiento de 45 t ha^{-1} en promedio. Su producción se da principalmente en zonas del norte del país ya que es donde se encuentran los hatos ganaderos, por lo que en Coahuila existen 14 municipios dedicados a esta actividad agrícola.

Los productores de tuna de Pinos, Zacatecas se integran en diez diferentes grupos, caracterizados principalmente por su porcentaje de ingreso por el cultivo de tuna, la edad del productor, el rendimiento de tuna, su dedicación a una actividad económica secundaria y por tener relaciones asociativas locales o foráneas. Estos grupos tienen similitudes en sus necesidades, por lo que se deben crear estrategias enfocadas a incrementar el rendimiento de tuna, y crear y fortalecer las relaciones con socios foráneos y locales a fin de ampliar el mercado y mejorar la calidad del fruto.

Además de que es importante la organización de los productores e incentivar a los jóvenes y adultos para seguir con la tradición del cultivo de nopal tunero y no perder la identidad del lugar.

Los productores de tuna de Pinos, Zacatecas se encuentran estructurados en una red social señalando actores clave por cada grupo formado (10 productores), la integración de estos agricultores está determinada por fuertes relaciones asociativas y de liderazgo lo que le da una estructura y organización a la red, así mismo se observa la dirección del flujo de información.

El conocimiento global de la producción de nopal a nivel municipio, la tipología de productores y la red social son una importante fuente de información que permite implementar programas de innovación rural dirigidas a cada tipo de productores y de acuerdo a las necesidades de cada conjunto, además que se visualiza el productor clave para la aplicación efectiva de estrategias para la mejora del sistema productivo de nopal y sus familias.

1.10 LITERATURA CITADA

- ANAYA-PÉREZ, M. A. y R. BAUTISTA-ZANE, 2008. El nopal forrajero en México: del Siglo XVI al Siglo XX. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 5(2):167-183.
- BRAVO H. H. y L. SCHEINVAR. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. Fondo de Cultura Económica. México, Distrito Federal. 233 p.
- BRAVO H., H. 1978. Las Cactáceas de México. Volumen I. Universidad Autónoma de México. México. 743 p.
- CADENA I. 2013. Red alimentaria de producción de nopal para exportación. *In Memoria* 1er. Simposium Internacional tuna-nopal. Las nuevas tendencias de la cadena agroalimentaria en el mundo. Puebla, Puebla. pp. 118-128.
- CALLEJAS-JUAREZ, N., MATUS-GARDEA, J., GARCIA-SALAZAR. J. A., MARTINEZ-DAMIAN, M. A. y J. M. SALAS GONZALEZ. 2009. Present situation and market perspectives for prickly pear, nopalitos and derivates in the state of México. *Agrociencia* 43: 73-82.
- CALLEN, E. O. 1965. Food habits of some pre-Columbian Mexican Indians. *Economic Botany* 19:335-343

- CALVA-PÉREZ V., TORRES-ROMO F., CERVANTES-HERRERA J. y GALLEGOS-VÁZQUEZ, C. 2004. El nopal en la perspectiva de los productores de México. *In: El nopal: Tópicos de actualidad*. Esparza, G.; Valdez, R. D. y Méndez, S. J. (eds). 1ra edición. COED. Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México, México. 235-249 pp.
- CHECA, M. M. y VELÁZQUEZ, V. M. 2014. Los sistemas agroalimentarios localizados como elemento de análisis: retos y dificultades para su conformación. El caso de Tampico Alto, Veracruz. México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 28(14):134-140.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2014. Sistema Meteorológico Nacional. Normales Climatológicas Zacatecas. Periodo de 1981-2010. http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=160&tmpl=component. (Consultado el 10 de noviembre de 2014).
- DRACK, M and SCHWARZ G. 2010. Recent developments in general system theory. *System research and behavioral science* 27: 601-610.
- DUBROVSKY V. 2004. Toward system principles: general system theory and the alternative approach. *System research and behavioral science* 21: 109-122.
- EDWARDS, E. J. and M. J. DONOGHUE. 2006. *Pereskia* and the origin of the cactus life form. *The American Naturalist* 167:777-793.
- EDWARDS, E. J., NYFFELER R. and M. J. DONOGHUE. 2005. Basal cactus phylogeny: Implications of *Pereskia* (Cactaceae) paraphyly for the transition to the cactus life form. *American Journal of Botany* 92: 1177-1188.
- ESPARZA F., G. y B. FIGUEROA S. 1994. Limitantes, condicionantes y determinantes en la producción de tuna en Pinos, Zac. *In: Memorias Aportaciones Técnicas y Experiencias de la Producción de Tuna en Zacatecas*. Esparza, F. G. y S. J. Méndez G. (eds). CECCAM, Morelos, Zacatecas. pp: 31-38.
- ESPARZA-FRAUSTO G., GALLEGOS V. C., y MACIAS R. F. 2004. Producción forzada de nopal tunero. *In: El nopal: Tópicos de actualidad*. Esparza, G.; Valdez, R. D. y Méndez, S. J. (eds). 1ra edición. COED. Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México, México. pp. 109-123.
- FIGUEROA, R. O. 2010. Diagnostico regional con enfoque territorial. Colegio de Postgraduados/Financiera rural. 1ª edición. Colección: Formación para el financiamiento de desarrollo rural. N° 2. México. 136 p.

- FLANNERY, K. V. 1985. Los orígenes de la agricultura en México: las teorías y las evidencias. *In: Historia de la agricultura, época prehispánica-siglo XVI*. Rojas R. T. y W.T. Sanders (eds.). INAH. México 1: 237-266.
- FRANCO, G. 1992. Marco de referencia del cultivo de nopal tunero (*Opuntia spp.*) en la región norte de Guanajuato. Tesis de Licenciatura: Ingeniero Agrónomo. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Michoacán. México. 79 p.
- FUENTES-RODRIGUEZ J. y LOPEZ-GONZALEZ J. 2004. El nopal forrajero en el norte de México. *In: El nopal: Tópicos de actualidad*. Esparza, G.; Valdez, R. D. y Méndez, S. J. (eds). 1ra edición. COED. Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México, México. pp. 183-209.
- GALLEGOS V. C. y MONDRAGÓN C. J. 2013. Aprovechamiento del germoplasma nativo para mejorar la sustentabilidad del nopal y tuna. *In: Memoria 1er. Simposium Internacional tuna-nopal. Las nuevas tendencias de la cadena agroalimentaria en el mundo*. Puebla, Puebla. pp. 74-87.
- GALLEGOS-VAZQUEZ C. y CERVANTES J. H. 2002. Estudio para el desarrollo de la cadena productiva del nopal en Zacatecas. Universidad Autónoma de Chapingo. Zacatecas, Zacatecas. 295 p.
- GALLEGOS-VÁZQUEZ y MEDINA-GARCÍA. 2013. Potencial productivo del nopal tunero en San Luis Potosí. *In: Gallegos-Vázquez, C.; Méndez-Gallegos, S. de J. y Mondragón-Jacobo, C. (eds.). Producción sustentable de tuna en San Luis Potosí*. Colegio de Postgraduados-Fundación Produce San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP. México. pp. 69-78.
- GALLEGOS-VAZQUEZ, C., J. CERVANTES H. y G. MEDINA G. (2003). La cadena productiva del nopal en Zacatecas: bases para un desarrollo sostenido. Fundación Produce. Zacatecas, Zacatecas, 201 p.
- GALLEGOS-VAZQUEZ, C., MONDRAGON-JACOBO, C. y J. A. REYES-AGÜERO. 2009. An update on the evolution of the cactus pear industry in México. *ISHS Acta Horticulturae* 811: 69-76.
- GARCÍA H., J. y S. DE J. MÉNDEZ G. 2006. Manejo agronómico de plantaciones de nopal tunero (*Opuntia spp*) en Pinos, Zacatecas. *Ventana Agropecuaria* 5:14-19.
- GARCIA, E. J. 2003. Caracterización de la cadena agroalimentaria del nopal tunero e identificación de sus demandas tecnológicas. Fundación PRODUCE San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados. 253 p.

- GÁRCIA, H., MENDEZ G. S. D., ROSSEL K. D., TALAVERA M. y HERNANDEZ I. R. 2008. El nopal tunero en San Luis Potosí (situación actual y recomendaciones técnicas). Folleto para productores N° 2. Colegio de Postgraduados. México. pp. 39.
- GARCIA-HERRERA, E. J. 2003. Estrategias para el Desarrollo Rural Integral y Sostenible (EDRIS) en la Región de Pinos, Zacatecas: El Binomio Nopal Tunero – Migración como su Elemento Central. Memorias del IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. 2-6 septiembre 2003.
- GARCÍA-HERRERA, E. J. y MÉNDEZ-GALLEGOS. 2013. Situación actual de las plantaciones de nopal tunero en San Luis Potosí. *In*: Gallegos-Vázquez, C.; Méndez-Gallegos, S. de J. y Mondragón-Jacobo, C. (eds.). Producción sustentable de tuna en San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados-Fundación Produce San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP. México. pp. 25-36.
- GARCÍA-HERRERA, E. J., AMANTE-OROZCO A., HERNÁNDEZ R. I., MENDEZ G. S. J. y ESPARZA-FRAUSTO G. 2004a. Problemática de la cadena agroalimentaria de nopal tunero: su determinación y análisis. *In*: Esparza, G.; Valdez, R. D. y Méndez, S. J. (eds). El nopal: Tópicos de actualidad. 1ra edición. COED. Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México, México. pp. 251-271.
- GARCÍA-HERRERA, E. J.; PEÑA, B.; ESTRELLA, N.; MANZO, F. y DELGADO, R. 2004b. Estrategia para el desarrollo rural integral y sostenible en la región de Pinos, Zacatecas: El binomio nopal tunero-migración como su elemento central. *In*: El nopal: Tópicos de actualidad. Esparza, G.; Valdez, R. D. y Méndez, S. J. (eds). 1ra edición. COED. Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México, México. pp. 273-291.
- GRIFFITHS, M. P. and J. M. PORTER. 2009. Phylogeny of Opuntioideae (Cactaceae). *International Journal of Plant Sciences* 170 (1): 107–116.
- GUERRA-GUTIÉRREZ, J. E., TOVAR-PUENTE, A. y A. A. GALNAREZ-ANGUIANO. (2012). Un producto cosmético: shampoo de nopal. *RESPYN “Revista Salud Pública y Nutrición” Edición Especial* 4:191-194.
- GUEVARA-ARAUZA, J. C. Y J. DE J. ORNELAS P. 2013. Tecnología poscosecha y efectos biofuncionales del nopal y la tuna. Ed. Trillas. México. 236 p.
- HERNÁNDEZ M. E. 2006. La vida en los desiertos mexicanos. Fondo de cultura económica. La ciencia para todos. 1ra. ed. México. pp. 126-131.
- KIESLING, R. 1999. Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. *J. Profess. Assoc. Cact. Develop.* 3:50-59.

- LÓPEZ-GARCÍA, J. J., FUENTES, R. J. M. y RODRIGUEZ, G.A. 2003. Producción y uso de *Opuntia* como forraje en el centro-norte de México. *In: El nopal (Opuntia spp.) como forraje*. Mondragón-Jacobo, C. y Perez-Gonzalez, S. (eds). Estudio FAO producción y protección vegetal. N° 169. pp. 35-44.
- LÓPEZ-ROMERO, P., PICHARDO-ONTIVEROS, E., AVILA-NAVA, A., VÁZQUEZ-MANJARREZ, N., TOVAR A., R., PEDRAZA-CHAVERRI, J. y N. TORRES. 2014. The Effect of nopal (*Opuntia ficus indica*) on postprandial blood glucose, incretins, and antioxidant activity in mexican patients with type 2 diabetes after consumption of two different composition breakfasts. *J Acad Nutr Diet.* 114: 1811-1818. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jand.2014.06.352>.
- MACNEISH, R. S. 1992. The origins of the agriculture and settled life. University of Oklahoma Press. 1st. ed. 448 p.
- MÁRQUEZ, S. R., TORCUATO, C., ALMAGUER, G., COLINAS, M. T. y KHALIL, A. 2012. El sistema productivo del nopal tunero (*Opuntia albicarpa* y *O. megacantha*) en Axapusco, Estado de México. Problemáticas y alternativas. México. Revista Chapingo Serie Horticultura 18(1):81-93.
- MÁRQUEZ-BERBER, S. R., TORCUATO-CALDERÓN, C., ALMAGUER-VARGAS, G., COLINAS-LEÓN, M. T. y A. KHALIL G. 2012. El sistema productivo del nopal tunero (*Opuntia albicarpa* y *O. megacantha*) en Axapusco, Estado de México. Problemática y alternativas. Revista Chapingo Serie Horticultura 18 (1): 81-93.
- MARSHALL, A. STOKES, J. WEBB, P. MARSHALL, A. and LANKESTER, J. 2014. Social vulnerability to climate change in primary producers: A typology approach. *Netherlands. Agriculture, Ecosystems and Environment* 86:86-93.
- MARTÍNEZ-CARRASCO P. F., SCHWENTESIUS-RINDERMANN R., MARTINEZ-PAZ J. M. y GOMEZ-CRUZ M. A. 2009. Características y comparativa de los productores de alimentos ecológicos en el sureste de Europa: el caso de la región de Murcia, España. México. *Agrociencia* 6(43):649-657.
- MEJIA H., CRUZ V., TIRADO E. y MEDINA R. 2010. Valor nutricional del nopal forrajero y algunos aspectos biotecnológicos. *In: Silos E., L. L. Valera M., C. Perales S., A. Nava-Cedillo, J. Méndez-Gallegos, A. Amante Orozco y D. Rössel-Kipping. Biotecnología para el semidesierto. Tópicos sobre el cultivo de nopal y maguey.* pp. 12-26.
- MENA C., J. y S. ROSAS G. 2004. Guía para el manejo integrado de las plagas del nopal tunero. SAGARPA-INIFAP- Campo Experimental Zacatecas. Publicación Especial No. 14. 34 p.
- MENA, C. 2004. Manejo integrado de las plagas del nopal: una propuesta para tomar mejores decisiones de control. *In: Esparza-Frausto, G.; Valdez-Cepeda, R. D. y S. de J. Méndez-*

Gallegos (eds). El Nopal, tópicos de actualidad. Coedición Universidad Autónoma Chapingo- Colegio de Postgraduados. pp. 125-140.

MÉNDEZ G., S. J., MENA C., J., GALLEGOS V., C y C. MONDRAGÓN J. 2013b. Principales enfermedades y recomendaciones para su control en el nopal tunero. *In: Gallegos V., C., Méndez G. S. J. y C. Mondragón J. (eds). Producción sustentable de la tuna en San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados. Fundación Produce San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP. México. pp. 163-172.*

MÉNDEZ G., S. J., ORTEGA E., J., BLANCO M., F., VALDEZ C., R.D. y R. MAGALLANES Q. 2013a. Limitaciones y potencial de la cría de cochinilla en México. *In: Memoria 1er Simposium Internacional tuna-nopal. Las nuevas tendencias de la cadena agroalimentaria en el mundo. Puebla, Puebla. pp. 40-53.*

MÉNDEZ, G., S. DE J. 1994. Principales plagas del nopal. *In: Esparza F., G. y S. de J. Méndez G. (eds.) Memorias, sobre Aportaciones Técnicas y Experiencias de la Producción de Tuna en Zacatecas. Morelos, Zacatecas. pp: 49-57.*

MENDEZ-GALLEGOS S. J., TARANGO A. L. y M. GONZALEZ. 2004a. Preliminary analysis of cochineal insects (*Dactylopius coccus* C.) with high performance liquid chromatography (HPLC). *In: Esparza F., G., R. Valdez C. y S. J. Méndez G. (Eds). El Nopal Tópicos de Actualidad. Coedición Universidad Autónoma Chapingo (CRUCEN) y Colegio de Postgraduados (Campus san Luis Potosí). pp. 223-234.*

MENDEZ-GALLEGOS S., GARCIA-HERRERA E. y ROSSEL K. 2010. Desarrollos tecnológicos del colegio de postgraduados campus San Luis Potosí en la producción y utilización de nopal. *In: Silos E., L. L. Valera M., C. Perales S., A. Nava-Cedillo, J. Méndez-Gallegos, A. Amante Orozco y D. Rössel-Kipping (eds). Biotecnología para el semidesierto. Tópicos sobre el cultivo de nopal y maguey. pp. 70-73.*

MÉNDEZ-GALLEGOS, S. DE J. y J. GARCÍA H. 2006. La Tuna: Producción y Diversidad. *In: Biodiversitas. México. 68:2-5.*

MÉNDEZ-GALLEGOS, S. DE J., PANZAVOLTA, T. and R. TIBERI. 2003. Carmine cochineal *Dactylopius coccus* Costa (Rhynchota: Dactylopiidae): significance, production and use. *Advances in Horticultural Science 17(3):165-171*

MENDEZ-GALLEGOS, S. J. y E. J. GARCIA H. 2013. Aprovechamiento, usos y aplicaciones del nopal. *In: Mondragón-Jacobo, C; Méndez-Gallegos, S. J. y Gallegos-Vázquez, C. (eds). Producción sustentable de tuna en San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados – Fundación Produce San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP. México. pp. 7-23.*

MENDEZ-GALLEGOS, S. J., GARCIA H. E. J, RÖSSEL, D. TARANGO A L. A., TALAVERA M. D. y B. FIGUEROA S. 2004b. Recomendaciones para el establecimiento de

plantaciones de nopal tunero en el Altiplano Potosino. Coedición Campus San Luis Potosí, Colegio de Postgraduados y Comisión Nacional de las Zonas Áridas. Folleto para productores 1:1-24 p.

MENDEZ-GALLEGOS, S. J., RÖSSEL, D., AMANTE-OROZCO A., TALAVERA-MAGAÑA, D., GARCIA-HERRERA E.J. y A. VELEZ-JIMENEZ. 2011. Biocombustibles a base de nopal y maguey. *Revista Salud Pública y Nutrición* 5:83-93.

MONDRAGÓN-JACOBO C. y GALLEGOS-VÁZQUEZ C. 2013. Los sistemas de producción comercial de tuna en México y su aplicación en el Altiplano. *In: Gallegos-Vázquez, C.; Méndez-Gallegos, S. de J. y Mondragón-Jacobo (eds.). Producción sustentable de tuna en San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados-Fundación Produce San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP. México. pp. 37-47.*

MORÁN-RAMOS, S., AVILA-NAVA, A. TOVAR, A. R., PEDRAZA-CHAVERRI, J., LÓPEZ-ROMERO, P. and N. TORRES. 2012. *Opuntia ficus indica* (Nopal) attenuates hepatic steatosis and oxidative stress in obese Zucker (fa/fa) Rats. *J. Nutr.* 142:1956–1963.

NEFZAQUI, A. y H. BEN SALEM. 2003. *Opuntia* forraje estratégico y herramienta eficiente para combatir la desertificación en la región wana. *In. El nopal (Opuntia spp.) como forraje. Mondragón-Jacobo C. y S. Pérez-González (eds). FAO Plant Production and Protection Paper 169:91-112.*

NOBEL, P. S. 1998. Los incomparables agaves y catos. Ed. Trillas. México. 211 p.

NUÑEZ-LÓPEZ, M. A., PAREDES-LÓPEZ, O. and R. REYNOSO-CAMACHO. 2013. Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (*O. ficus indica*) at different maturity stages using in vitro and in vivo tests. *J. Agric. Food Chem.* 61:10981–10986.

NYFFELER, R. 2002. Phylogenetic relationships in the cactus family (cactaceae) based on evidence from TRNK/MATK and TRNL-TRNF sequences. *American Journal of Botany* 89:312-326.

NYFFELER, R. and U. EGGLI. 2010. A Farewell to Dated Ideas and Concept Molecular Phylogenetics and a Revised Suprageneric Classification of the Family Cactaceae. *Schumannia* 6:109-149. <http://www.zora.uzh.ch/43285/1/Nyffeler1.pdf>

PERALES S., C., CARRILLO R., J. y F. TAFOYA R. 2010. Principales plagas del nopal y su manejo. *In: Silos Espino, H., L.L. Valera Montero., C. Perales Segovia, A. Nava-Cedillo, J. Méndez-Gallegos, A. Amante Orozco, D. Rössel-Kipping (eds). Biotecnología para el Semidesierto, Tópicos sobre el cultivo de nopal y maguey. pp. 47-61.*

- RAMOS, A. 2014. Producción de nopal y dinámicas de interacción social en Tlalnepantla, Morelos (2005-2008). México. Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente. 28(14):71-101.
- REBMAN J. P. and D. J. PINKAVA. 2001. *Opuntia* cacti of North America-An Overview. The Florida Entomologist 84:474-483.
- RENAUD-GENTIE C., BURGOS, S. and BENOIT MARC. 2014. Choosing the most representative technical management routes within diverse management practices: Application to vineyards in the Loire Valley for environmental and quality assessment. European Journal of Agronomy 56:19-36.
- REYES J. A., AGUIRRE R. J. R. y HERNANDEZ M. 2005. Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae). Agrociencia. 39:395-408.
- RIOJAS, M. E. y FUENTES, A. T. 2006. Caracterización del manejo del cultivo de tuna (*Opuntia* spp.) en los municipios de Ojuelos de Jalisco y Pinos, Zacatecas, México. Avances en la XVII Semana de investigación científica en el CUCBA. pp. 595-601.
- RODRÍGUEZ C., FAUNDEZ E., SEYMOUR J., ESCOBAR A., ESPINOZA L., PETROUTSA M., AGRES A. y NIEMEYER M. 2005. Factores bióticos y concentración de ácido carminico en la cochinilla (*Dactylopius coccus* COSTA) (HOMOPTERA: DACTYLOPIIDAE). Agricultura Técnica 65(3):323-329.
- SÁENZ H. C. 2006. Estudio de caso sobre la utilización agroindustrial de los nopales en distintos países. In: Sáenz C. (ed). Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162. pp. 121-135.
- SANCHEZ-BORJA, M. 2002. Insectos plaga del nopal verdura en Milpa Alta, D. F. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México. 53 p.
- SANTOS, V. M.; ZUÑIGA, M.; LEOS, J. A. y ÁLVAREZ, A. 2014. Tipología de productores agropecuarios para la orientación de políticas públicas: Aproximación a partir de un estudio de caso en la región Texcoco, Estado de México, México. Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente 28(14):47-69.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2003. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. (Consultado el 4 de noviembre de 2015).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. (Consultado el 11 de noviembre de 2014).

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. (Consultado el 9 de septiembre de 2015).
- SIH A., HANSER S. F. and MCHUGH K. A. 2009. Social network theory: new insights and issues for behavioral ecologists. *Behavioral Ecology Sociobiology* 63:975-988.
- SMITH, C. C. 1967. Plant remains. *In: The prehistory of the Tehuacan Valley*. Byers, D.S. (ed.). Vol. I.: Environment and subsistence. University of Texas Press Austin. pp: 220-225.
- SOBERON, J., GOLUBOV, J. and J. SARUKHÁN. 2001. The importance of *Opuntia* in Mexico and routes of invasion and impact of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist* 84(4):486-492.
- SUMAYA-MARTÍNEZ, M. T., T. SUAREZ D., N. S. CRUZ C., E. ALANÍS G. y J. G. SAMPEDRO. 2010. Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana. *Revista Mexicana de Agronegocios* 14(27):435-441.
- TORRES S., A. 2010. Sistemas de producción de nopal forrajero en Brasil. *RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial* 5:57-69.
- VALDEZ-CEPEDA R., BLANCO-MACIAS F., MURILLO-AMADOR B., GARCIA-HERNANDEZ B., GARCÍA-HERNANDEZ J., MAGALLANES-QUINTANAR R. and MACIAS-RODRIGUEZ F. 2004. Advances in Cultivated Nopal (*Opuntia* spp) Nutrition. *In: Esparza, G.; Valdez, R. D. y Méndez, S. J. (eds). El nopal: Tópicos de actualidad*. 1ra edición. COED. Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México, México. pp. 155-166.
- VÁZQUEZ A., BLANCO M., VALDEZ C., MÉNDEZ G., OJEDA Z., SANTOS H. y OLIVARES S. 2013. El uso del nopal en la producción de metano. *In: Blanco M., Vázquez A. Valdez C. Santos H., (eds). Memoria del XII Symposium-Taller Nacional y V Internacional de Producción y aprovechamiento del nopal y maguey*. Campus de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo, Nuevo León, México. pp. 89-110.
- VENADO-CAMPOS, R.; GARCÍA, M. F.; BAHENA, G.; ALPUCHE, O.; SALDAÑA, M. C. y SAINZ, M. J. 2015. Caracterización de las unidades de producción de nopal verdura en el municipio de Tlalnepantla Morelos, México. *In: Memoria del XIV Symposium-Taller Nacional y VII Internacional de Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey*. Blanco, F.; Vázquez, R. E.; Valdez, R. D. y Santos, J. A. (eds). Campus de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo, N. L. México. pp. 1-11.
- ZIMMERMANN H. G., PEREZ S. M. y BELLO R. 2005. La situación de *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) en el Caribe y la posibilidad de diseminación a México. Informe FAO/OIEA y DGSV, SAGARPA. 62 p.

CAPITULO II. IMPACTO DEL ACORAZONAMIENTO DE CLADODIOS EN PLANTACIONES COMERCIALES DE NOPAL

2.1 RESUMEN

El nopal (*Opuntia sp.*) es uno de los cultivos de mayor importancia en México, donde es considerado como una de las hortalizas de mayor consumo en el centro del país. Su producción depende de diversas prácticas de manejo, entre ellas particularmente importante es la presencia de plagas y enfermedades. Actualmente se ha observado un síntoma muy característico en las pencas, el cual es llamado en este estudio “Acorazonamiento de cladodios”. Las pencas presentan daños en la parte apical, formándose una cicatrización y dejando de producir brotes vegetativos y florales en la zona dañada. Con base en lo anterior se determinó el impacto de daño económico por el acorazonamiento de cladodios en plantaciones comerciales de nopal. Para ello se pretendió describir la sintomatología de pencas con acorazonamiento, identificar el daño al tejido del nopal y estimar la incidencia y severidad de este síntoma. Para lograr lo anterior se realizaron muestreos periódicos en diversas plantaciones durante la época de brotación, también se efectuaron cortes microhistológicos para identificar el daño celular. Por otro lado, se muestrearon plantaciones para cuantificar las plantas y cladodios sintomáticos del primer y segundo nivel de la planta. Se estimó la proporción de cladodios sanos/acorazonados provenientes de pencas madre sintomáticas y asintomáticas. Finalmente, se estimó la pérdida de área fotosintética y de yemas en cladodios acorazonados para determinar niveles de severidad. El acorazonamiento se presenta principalmente en brotes tiernos de 5 a 20 días de edad, se ha observado en plantaciones silvestres como en comerciales de nopal tunero, nopal verdura y nopal forrajero, incluyendo Xoconostle, Rojo Pelón, Pico Chulo, Amarilla Plátano, Cristalina, Burróna, Cardona, Pachona y Duraznillo, y en nopal verdura de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva. En los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Querétaro, Distrito Federal, Morelos, Puebla, Hidalgo y Estado de México. Así mismo, ha sido observada por investigadores mexicanos en países como Italia, Japón, España y Perú. El tejido de cladodios acorazonados es afectado por la ruptura de la cutícula y epidermis con el desprendimiento de las paredes celulares y llegando a dañar el colénquima. Este síntoma, tiene una incidencia de afectación hasta un 33% de los individuos en una plantación de nopal, repercutiendo en el rendimiento y volumen de producción, así como en la economía del productor. Los cladodios acorazonados pierden entre 50 y 80% de yemas vegetativas y florales, con una

severidad del 1 al 20% de pérdida de área fotosintética. Se observaron tres tipos principales de malformación, la de “corazón”, “frijol” y “serrucho”, siendo la del “acorazonamiento” la más frecuente. La proporción de brotes sanos/brotes acorazonados a partir de una penca madre sana es de 3.18/1.67, sí los brotes provienen de una penca madre acorazonada la proporción es de 2.71/1.67 con menor probabilidad de que sean sanos. El acorazonamiento de cladodios daña el tejido apical, impidiendo la producción de brotes vegetativos y florales en la parte afectada. Debido a lo anterior es pertinente realizar estudios encaminados a identificar el agente causal para implementar estrategias de manejo.

CHAPTER TWO. IMPACT OF CLADODE “ACORAZONAMIENTO” ON CACTUS PEAR COMMERCIAL ORCHARDS

2.1 ABSTRACT

The cactus pear (*Opuntia spp.*) is one of the most important crops in Mexico; as a vegetable, it is one of the plants with most human consumption in the central region of the country. Its productivity depends on several agronomy practices, including the insect and disease management. Currently, a very distinctive symptom has been observed on the cladodes, and it will be called “acorazonamiento” in this study. The cladodes have damage on their apical region that is followed by a scaring process, and then, they stop the production of vegetative and reproductive buds in the affected area. The aim of this work was to determine the economic impact of the cladode “acorazonamiento” in cactus pear commercial orchards. Three specific activities were pursued: to describe the symptoms of the cladodes affected by “acorazonamiento”, to identify the tissue damage of the cactus cladode, and to estimate incidence and severity of this cladode deformation under field conditions. In order to accomplish this work, periodic sampling was carried out on cactus orchards during the bud burst season; also, histological cuts were made to identify the tissue damaged at the cellular level. In addition, a sampling on commercial cactus pear orchards was carried out to quantify the number of plants, and cladodes from the first and second level, affected with “acorazonamiento”. The proportion of healthy/deformed by “acorazonamiento” cladodes was also estimated considering if they were on healthy or affected mother cladodes with this symptom. Finally, the photosynthetic area lost and number of buds on cladodes with “acorazonamiento” was estimated to define the severity levels of this problem. Cladodes with “acorazonamiento” is common on tender cladodes with 5 to 20 days old, and it has been found on wild populations of cactus pear, as well as in cactus pear fruit, forage, “nopalitos” production; the following cultivars were affected with “acorazonamiento”: Xoconostle, Rojo Pelón, Pico Chulo, Amarillo Plátano, Cristalina, Burróna, Cardona, Pachóna and Duraznillo, and in cactus pear for vegetable production (*O. ficus-indica*), cv Villanueva. Zacatecas, San Luis Potosi, Aguascalientes, Queretaro, Distrito Federal, Morelos, Puebla, Hidalgo and Estado de Mexico were states with the problem of “acorazonamiento” in this country. Mexican researchers also have seen this symptom in countries like Italy, Japan, Spain and Peru. The tissue of cladodes with “acorazonamiento”

presents rupture of the cuticle, with detachment of the cellular walls, and even the chlorenchyma could be damaged. This cladode deformation has an incidence up to 33% of the plants in a cactus pear orchard, as a result, the yields, volume of production and the grower's economy are negatively affected. The cladodes with "acorazonamiento" have losses from 50 to 80% of the vegetative and reproductive buds, while 1 to 20% of the photosynthetic area is lost. There were three main shapes of cladodes deformed with "acorazonamiento": "heart", "dry bean seed" and "hand saw"; the heart shape was the most commonly found. The proportion of healthy/deformed cactus pear shoots is 3.18/1.67 if the shoots are coming from a healthy mother cladode; when the shoots are coming from a mother cladode with "acorazonamiento" the proportion is 2.71/1.67, indicating a lower probability for an affected cladode to generate healthy new shoots. The cladode "acorazonamiento" damage the apical tissue, and limit the production of vegetative and reproductive buds in the affected area. In short, there is a need to carry out studies to identify the causal agent in order to deploy a management strategy for the problem of cladode "acorazonamiento".

2.3 INTRODUCCIÓN

La producción de nopal y tuna es de importancia a nivel nacional, ya que la población mexicana tiene la cultura de consumir este producto como parte de su dieta alimenticia. En los estados de Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Potosí la producción de tuna y nopal son parte importante de su economía (SIAP, 2013). Sin embargo, tanto las plantaciones comerciales como las nopaleras silvestres son susceptibles a diversas plagas y enfermedades. Uno de los problemas que últimamente se presenta es el síntoma nombrado en este estudio “acorazonamiento de cladodios”. Se ha observado que las pencas que presentan el síntoma tienen una cicatrización en la parte apical, a causa de esto se pierde una parte del área fotosintética y disminuye la cantidad de yemas apicales en la penca. También, interviene la orientación de los cladodios, la separación entre pencas que podría incidir en la entrada de luz, la precipitación y la temperatura. Por lo que es de suma importancia identificar el agente causal y el impacto de daño que ocasiona la presencia de cladodios acorazonados, ya que al disminuir el número de yemas y el área fotosintética, incide directamente en la cantidad y calidad de los frutos y nopalitos que se cosechan. Al respecto, en un estudio realizado para estimar la incidencia y severidad del “engrosamiento de cladodios” o “chatilla”, Acosta *et al.* (1997) determinaron cinco niveles de severidad, basada en la proporción de daño en la planta (1= 0 % de daño, 2= 1-10 %, 3=10-30 %, 4= 30-60 % y 5= >60 % de daño), teniendo como resultado que las plantas se encuentran en los niveles 1, 2 y 3, siendo proporcionalmente mayor el daño en el nivel 2. Así mismo, en otro estudio realizado en Brasil con la mancha provocada por *Alternaria tenuis* en nopal, reportan una severidad del 2, 4, 7, 12, 22 y 40 % detectado en la superficie de los cladodios (Lima *et al.*, 2011). Por otro lado en India (Nallathambi *et al.*, 2005) se reporta una incidencia del 23 % de la enfermedad de pudrición del fuste provocada por *Phytophthora nicotianae* en plantas de nopal.

Estas son algunas de las enfermedades que se han observado en nopal que están afectando entre el 20 y 40 % de las plantas, lo cual es muestra del impacto que puede tener sobre las plantaciones productoras y la infinidad de síntomas y efectos dañinos sobre las pencas. Cabe mencionar que la productividad de una planta depende de la entrada neta de CO₂ que es influenciado por la disponibilidad de agua, la temperatura y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Cortázar y Nobel, 1990). Para estimar la PAR se toma en cuenta la superficie receptiva de incidencia de luz solar dada por las caras de los cladodios y el máximo valor de entrada neta diaria de CO₂. En cladodios con superficies menores la cantidad de CO₂ que entra disminuye ya que hay menos

estomas, siendo que la morfología del cladodio es básica para obtener la densidad del flujo de fotones fotosintéticos que intervienen en la productividad de la planta (Cortázar y Nobel, 1991). Considerando la importancia social y económica del nopal en México es de gran importancia determinar el impacto de daño económico que está causando en las plantaciones la presencia del acorazonamiento de nopal. Por tanto, este estudio se enfocó en estimar la incidencia y severidad del acorazonamiento de cladodios en plantaciones comerciales de nopal y las pérdidas en la producción y en la economía del productor.

2.4 OBJETIVO GENERAL

Determinar el impacto de daño económico por el acorazonamiento de cladodios en sistemas productivos de nopal.

2.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Describir la sintomatología de cladodios que presentan acorazonamiento.
- Identificar el daño al tejido del nopal por acorazonamiento de cladodios a través de cortes histológicos.
- Estimar la incidencia de cladodios afectados según la sintomatología presente, en plantaciones de nopal en Villanueva, Zac.
- Estimar la proporción de cladodios sanos y con acorazonamiento provenientes de pencas madre sanas y con acorazonamiento.
- Estimar la pérdida de área fotosintética y de yemas en cladodios acorazonados.
- Determinar los niveles de severidad por acorazonamiento de cladodios en plantaciones de nopal en Villanueva, Zac.

2.6 HIPÓTESIS

El acorazonamiento de cladodios reduce significativamente la cantidad de brotes vegetativos y florales y por tanto la producción comercial de nopal.

2.7 MATERIALES Y MÉTODOS

2.7.1 Sintomatología de cladodios acorazonados

Se identificaron y describieron los síntomas por medio de la observación de cladodios acorazonados de entre 7 días a 6 meses de edad en dos plantaciones comerciales de las variedades Rojo Pelón y Cristalina en Pinos, Zac. y del cultivar Villanueva en Villanueva, Zac. Esto se realizó entre los meses de abril a julio de 2014 y 2015, se observaron 100 plantas y 340 cladodios.

2.7.2 Cortes histológicos de nopal

Se realizaron cortes histológicos de un cladodio sano y uno acorazonado de *O. ficus-indica* cv. Villanueva, los cuales fueron colectados de una plantación de nopal (Invernadero) en Villanueva, Zac. Se removieron las espinas de los cladodios y se hicieron cortes (transversales, longitudinales y paralelos) a mano de 1 mm de grosor con una hoja de afeitar. Posteriormente, se colocaron en cloro al 20 % durante 40 min; enseguida se pasaron a alcohol etílico al 95% por 24 h y después a una solución fijadora FAA (50 ml de alcohol etílico al 95% + 10 ml de aldehído fórmico al 40% + 2 ml de ácido acético puro y 38 ml de agua destilada) por 72 h. Los cortes fueron separados en frascos de vidrio etiquetados por cada solución. Se tiñeron los cortes con azul de algodón al 0.5 % y se montaron en portaobjetos con glicerina; se colocó un cubreobjetos en cada preparación y se selló con barniz transparente. Cada laminilla fue etiquetada, teniendo un total de 80 submuestras. Posteriormente se observaron los tejidos en un microscopio óptico (Leica DM 4000 B-M) y se tomaron fotografías por computadora con el programa LAS CORE.

2.7.3 Incidencia y severidad del acorazonamiento.

Se muestrearon ocho plantaciones comerciales de nopal en Villanueva, Zac. (Cuadro 11 y Figura 37). Se realizó en forma sistemática por melga (40 plantas observadas cada 50 plantas de separación). El total de plantas muestreadas vario de acuerdo al número de melgas por plantación y al número de plantas por melga (no todas las melgas se muestrearon).

Cuadro 11. Localización y características de las plantaciones muestreadas.

N° plantación	Nombre de la plantación	Coordenadas geográficas (UTM-13Q)		Cultivar	Edad de plantación (años)	Total melgas	Plantas muestreadas
		X	Y				
1	Cascabelito	715003	2472694		8	10	600
2	Hormiguero	714984	2472770		8	11	720
3	Caballo blanco	716682	2471498	Villanueva	6	17	840
4	Semillera	710205	2463993		10	18	960
5	Herbácea	710172	2464094	Cristalina Rojo	5	17	720
6	Rojo pelón	709907	2464179	Pelón	8	15	600
7	Invernadero	716765	2471531	Villanueva	10	11	581
8	Laguna	717022	2470456	Villanueva	3	17	416

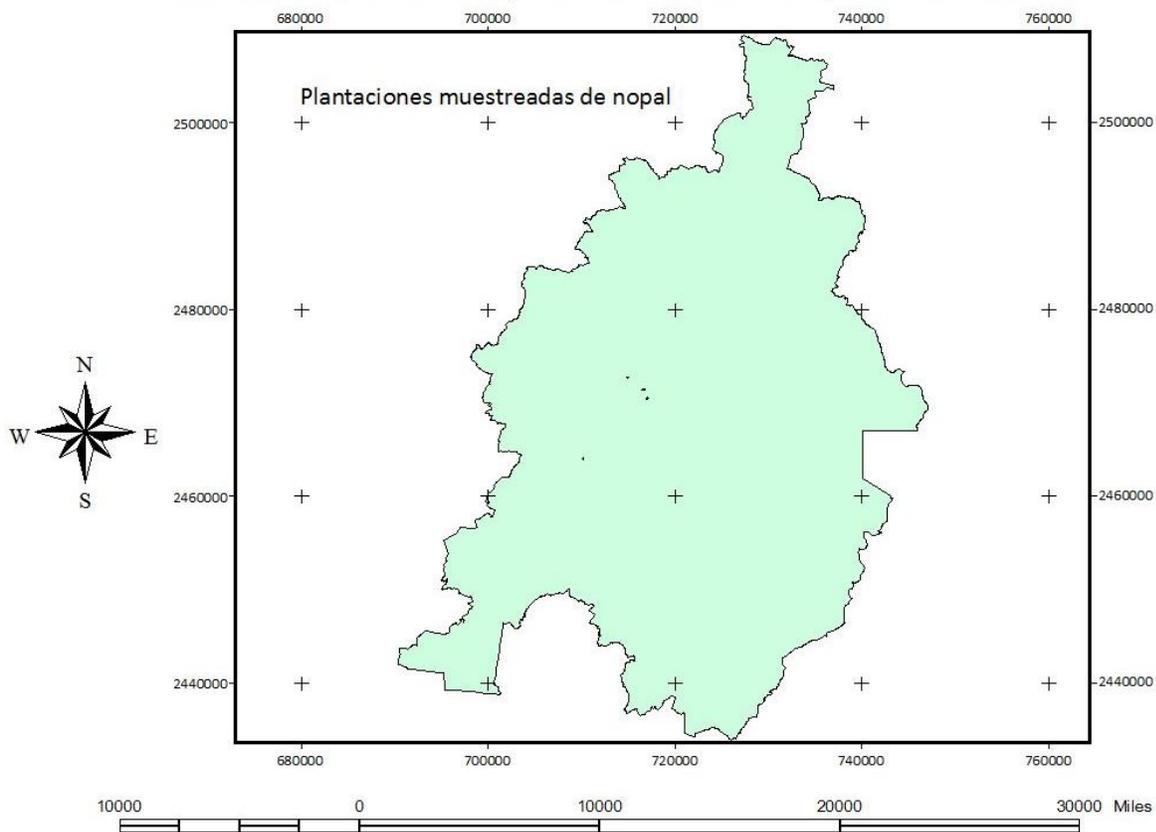


Figura 37. Localización de las plantaciones muestreadas en Villanueva, Zac.

Se estimó el porcentaje de presencia de cada síntoma observado (“corazón”, “serrucho” y “frijol”) en una plantación comercial (Laguna) ubicada en Villanueva, Zacatecas. Se tomó un tamaño de

muestra mínimo de 400 plantas, el cual fue estimado con un nivel de confiabilidad del 90%. Se aplicó un muestreo sistemático (cada 25 plantas) en las melgas sujetas a estudio (17 melgas). El impacto de daño se midió a través de la incidencia y severidad. La incidencia en la plantación se estimó considerando el porcentaje de plantas con cladodios acorazonados y la proporción sanos/acorazonados. La incidencia por planta se estimó para su primer y segundo nivel, obteniendo así la proporción de cladodios sanos/enfermos (Figura 38). Así mismo, se determinó la proporción que presentan las pencas madre sintomáticas y asintomáticas de producir brotes sanos, acorazonados o ambos (Figura 39).

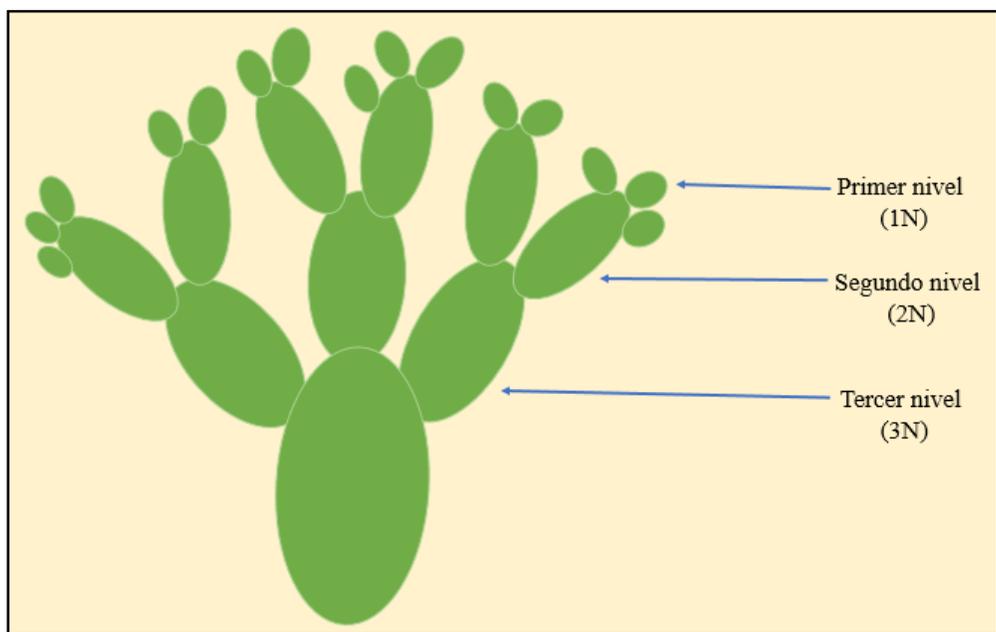


Figura 38. Representación de los niveles estudiados en la planta de nopal (1N y 2N).

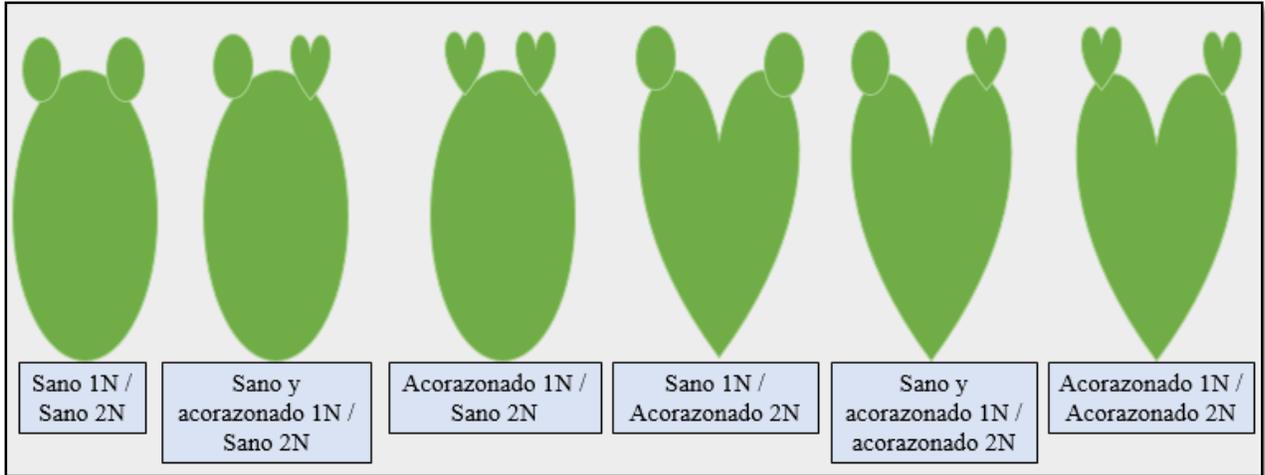


Figura 39. Combinaciones observadas en la producción de brotes sanos o acorazonados provenientes de pencas madre sanas o acorazonadas.

La severidad se obtuvo en relación a la pérdida de área fotosintética y yemas en cladodios acorazonados. Para ello se midieron 160 cladodios acorazonados en edad productiva (6 a 12 meses) de una plantación en Villanueva, Zac. (Invernadero). Se midió la longitud (A= distancia entre el punto de brotación del cladodio al punto de inicio del acorazonamiento), ancho (B= distancia entre el punto inicial al final del cladodio en donde se intercepte el inicio del acorazonamiento), ancho superior (C= distancia entre el punto en donde inicia la curvatura del acorazonamiento hacia el punto paralelo en donde inicia la misma curvatura, distancia llamada ancho del acorazonamiento) y longitud superior (D= invaginación del acorazonamiento, distancia conocida como profundidad del acorazonamiento) (Figura 40). Así mismo se midió el ancho ecuatorial y longitud de 160 cladodios sanos en edad productiva.

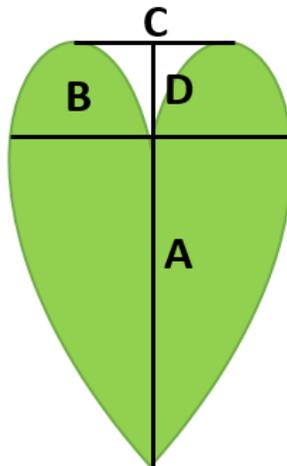


Figura 40. Puntos de medición considerados en los cladodios acorazonados.

Por medio de la ecuación de la elipse (área = $\pi \cdot a \cdot b$) y del área de un segmento del círculo (área = $\frac{1}{2} (\Theta - \text{sen } \Theta) \cdot r^2$) se estimó la pérdida de área fotosintética en cladodios acorazonados, además se estimó el perímetro ($p = 2\pi (\sqrt{a^2 + b^2}) / 2$) y excentricidad ($(\sqrt{a^2 - b^2}) / a$) de los cladodios. Así mismo, se identificó la relación cladodio sano/cladodio acorazonado. Para estimar la pérdida de yemas se contabilizó el número de yemas presentes en 15 cm centrales de la parte apical del cladodio (pencas de la misma edad y mismo nivel en la planta). También se cuantificó la proporción de pérdida de yemas en relación a la pérdida de área foliar y se determinaron cinco niveles de acorazonamiento (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo) estimando el porcentaje de cladodios que se encuentran en cada nivel. Dichos niveles también fueron determinados para la incidencia por individuo y por plantación.

Para determinar el impacto por acorazonamiento, se realizaron pruebas de T para las diferencias entre cladodios sintomáticos y asintomáticos, así como para los niveles de daño; además se obtuvieron datos estadísticos descriptivos para las variables estudiadas. Estas pruebas se realizaron en Excel.

2.8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.8.1 Sintomatología de cladodios acorazonados

Se observaron tres tipos de malformación en campo (Figura 41) las cuales fueron identificadas bajo los nombres de “corazón”, “serrucho” y “frijol” considerando la forma que adquieren. La forma de serrucho presenta en la zona apical del cladodio de dos a tres invaginaciones que terminan en forma de pico; también, se observó una cicatriz de aproximadamente 1 cm de ancho al final de cada vértice. En el caso de las formas de “corazón” y “frijol”, los cladodios presentaron lesiones en la parte apical o lateral media, observándose una cicatriz lineal color blanca de 1 a 3 mm de ancho (Figura 42) en la zona dañada. En cuanto a la forma de frijol, una vez dañada la parte lateral media, la parte apical central que es en donde se concentra la mayor cantidad de espinas cuando el cladodio es tierno, se inclina hacia la parte lateral que fue afectada. Se ha observado en cladodios de edad productiva que en la zona dañada no hay producción de nuevos brotes vegetativos ni florales, ya que no hay yemas en la parte apical afectada. Respecto a la forma de corazón, la invaginación de la zona afectada oscila de 1 a 12 cm y lateralmente puede variar de 1 a 17 cm, lo

cual representa una disminución en el área fotosintética del nopal y en el número de yemas apicales. Una vez que los cladodios son lesionados, la zona afectada ya no presenta un crecimiento normal; sin embargo los puntos laterales siguen creciendo, con lo cual la invaginación aumenta conforme se desarrolla el cladodio. Se presenta en brotes de 5 días de edad (2 cm) y la etapa más susceptible es cuando los brotes son tiernos (5 a 20 días) teniendo entre 2 y 16 cm de longitud. Esta malformación se ha observado tanto en plantaciones silvestres (Nopal Cardón, Pachón y Duraznillo) y comerciales de nopal tunero, nopal verdura y nopal forrajero, incluyendo Xoconostle, nopal Rojo Pelón, Pico Chulo, Amarilla Plátano, Cristalina, Burrón, y en nopal verdura de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva. En los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Querétaro, Puebla, Hidalgo, Morelos, Distrito Federal y Estado de México. Así mismo, ha sido observada por investigadores mexicanos en países como Italia, Japón, España y Perú. Lo cual aporta un elemento nacional e internacional de estudio, ya que se desconoce su agente causal y está ampliamente distribuido tanto geográficamente como en las especies que afecta.

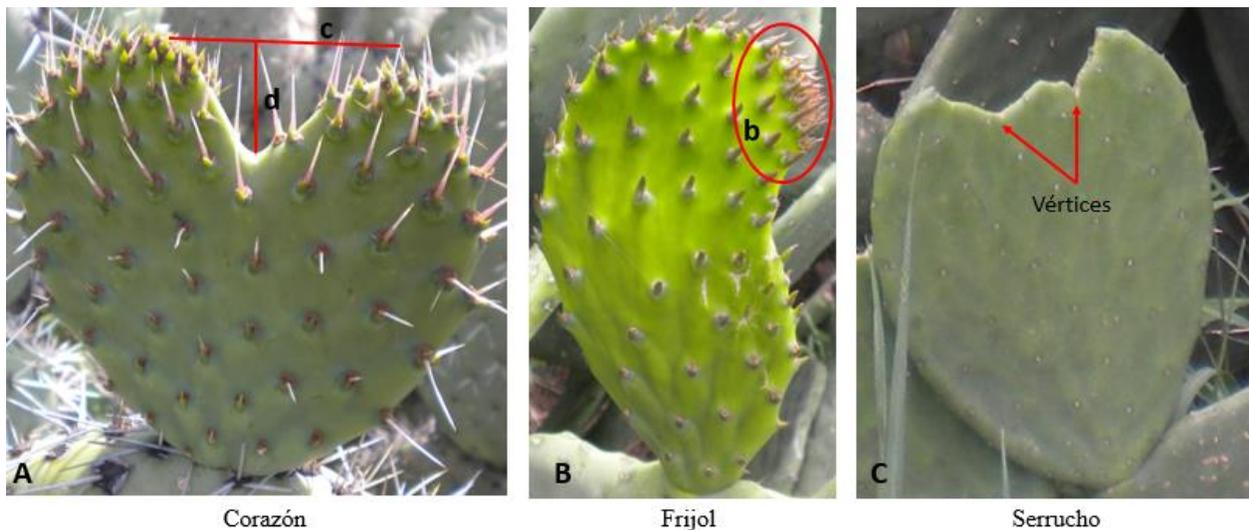


Figura 41. Fotografías de los tipos de malformación observados en campo en cladodios de *Opuntia* sp. A: Nopal Cardón, ancho del acorazonamiento (c), profundidad del acorazonamiento (d). B: *O. ficus-indica* cv. Villanueva, zona apical central desplazada en dirección a la lesión. C: *O. ficus-indica* cv. Villanueva, se observan los vértices de las invaginaciones.



Figura 42. Presencia de cicatrización del nopal en la parte lesionada.

De acuerdo a la revisión realizada, el síntoma estudiado en la presente investigación es el primer reporte, por lo que no hay datos en cuanto a incidencia y severidad del acorazonamiento, sin embargo en diversos estudios se ha registrado la presencia de cladodios malformados y en forma de corazón. Pimienta (1990) y Granata (1995) observaron la deformación de cladodios jóvenes en México, Sudafrica e Italia. Así mismo Hernández-Pérez *et al.*, (2009) en un estudio realizado en el Estado de México, mencionan la observación y colecta de cladodios deformados, así como el

engrosamiento de cladodios en su forma normal y algunos que producen cladodios en forma de corazón. Estos síntomas fueron encontrados, en algunos casos, en cladodios con brotes atípicos. Por otro lado Fucikovsky y Yañez (2006) señalan que las plantas que estudiaron tenían cladodios nuevos y viejos en forma de corazón. Fucikovsky *et al.*, 2011 observaron en campo que pencas madre dieron origen a brotes que en poco tiempo tomaban una forma de corazón. Sin embargo en los estudios mencionados, el acorazonamiento siempre estuvo ligado a síntomas como el amarillamiento y engrosamiento de cladodios, en contraste con el síntoma del presente estudio, en el cual solo se presenta la forma de corazón. Además, en un estudio realizado por Granata *et al.*, 2006 en Sicilia, Italia, injertaron secciones de cladodios con síntomas de proliferación de yemas o “witches’-broom” en cladodios asintomáticos, los cuales después de dos meses presentaron pequeñas deformaciones y amarillamiento de cladodios. De acuerdo con Granata y Sidoti, 2002, desde que el patógeno entra en contacto con un órgano del cactus, la enfermedad se propaga rápidamente debido a que la planta es rica en jugos celulares, lo que favorece la llegada de agentes bióticos.

2.8.2 Histología del nopal

2.8.2.1 Histología de cladodios sanos

En cortes histológicos longitudinales se observó la cutícula y epidermis bien definidas, el colénquima con células en forma oval-alargada y el clorenquima con células en forma de empalizada (Figura 43-A) y sin daño aparente, también en la epidermis se detectó una línea de drusas. En cortes transversales se observó una gran cantidad de drusas distribuidas en el tejido esponjoso del nopal, así como en la epidermis. También se identificó el parénquima de almacenamiento (Figura 43-C), los haces vasculares como el floema y las fibras floemáticas, el xilema y el parénquima medular (Figura 43-D), y los estomas. En estos últimos se logró identificar el poro estomático y las células guarda (Figura 43-F). En cortes paralelos se identificó el sistema vascular, el parénquima medular (Figura 43-B) y las células mucilaginosas (Figura 43-E). Los mismos tejidos fueron observados en cladodios acorazonados bajo los mismos tipos de cortes (Figura 44), en los cuales no se observó daño aparente.

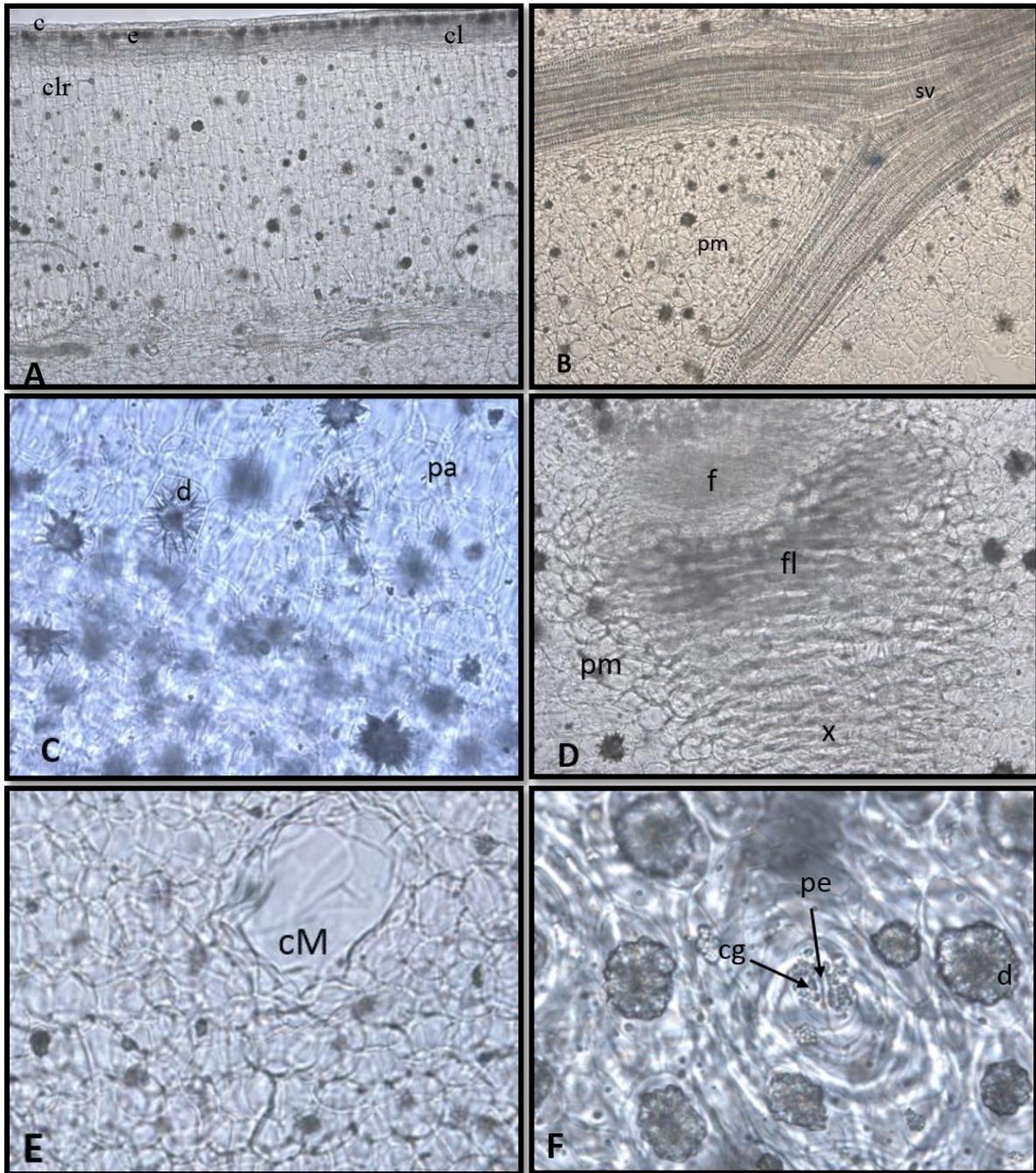


Figura 43. Cortes histológicos de un cladodio sano de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva proveniente de Villanueva, Zac. A: corte longitudinal (10x=200 μ m), cutícula (c), epidermis (e), colénquima (cl), clorenquima (clr). B: corte paralelo (10x), sistema vascular (sv), parénquima medular (pm). C: corte transversal (20x=100 μ m), drusa (d), parénquima de almacenamiento (pa). D: corte transversal (10x), floema (f), fibras flemáticas (fl), xilema (x), parénquima medular (pm). E: corte paralelo (10x), célula mucilaginosa (cM). F: corte transversal (20x), poro estomático (pe), células guarda (cg), drusa (d).

2.8.2.2 Histología de cladodios acorazonados

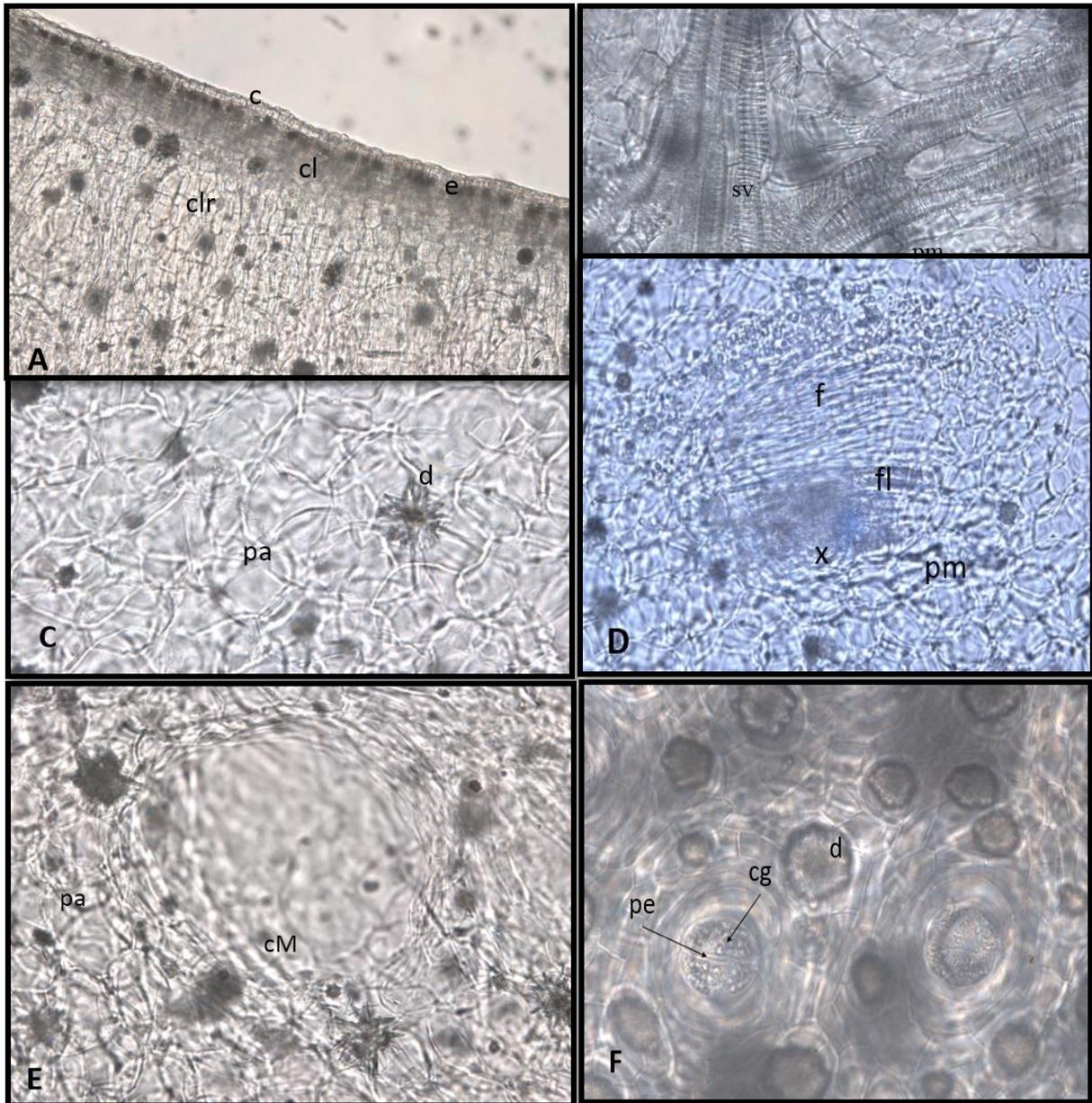


Figura 44. Corte histológico de cladodios acorazonados de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva, proveniente de Villanueva, Zac. A: corte longitudinal (10x=200 μ m), cutícula (c), epidermis (e), colénquima (cl), clorenquima (clr). B: corte transversal (20x=100 μ m), sistema vascular (sv), parénquima medular (pm). C: corte paralelo (20x), drusa, (d), parénquima de almacenamiento (pa). D: corte transversal (10x), floema (f), fibras floemáticas (fl), xilema (x), parénquima medular (pm). E: corte transversal (20x), células mucilaginosas (cM), parénquima de almacenamiento (pa). F: corte longitudinal (40x), poro estomático (pe), células guarda (cg), drusa (d).

2.8.2.3 Histología de la zona lesionada en cladodios acorazonados

En la Figura 45-A se presenta un corte longitudinal, en la cual se observa la zona lesionada, mostrándose en color café claro la cicatriz y el desorden de células que están afectadas en la cutícula, la epidermis y el colénquima. Adyacente se encuentra la zona aparentemente sin lesión en donde se alcanza a distinguir la cutícula y epidermis. En la Figura 45-A1 se observa el desprendimiento de la cicatriz y la ruptura de células ocasionadas por la lesión. En la Figura 45-B se observa más claramente las células que han sufrido una ruptura y paralelo a ello está la cicatriz.

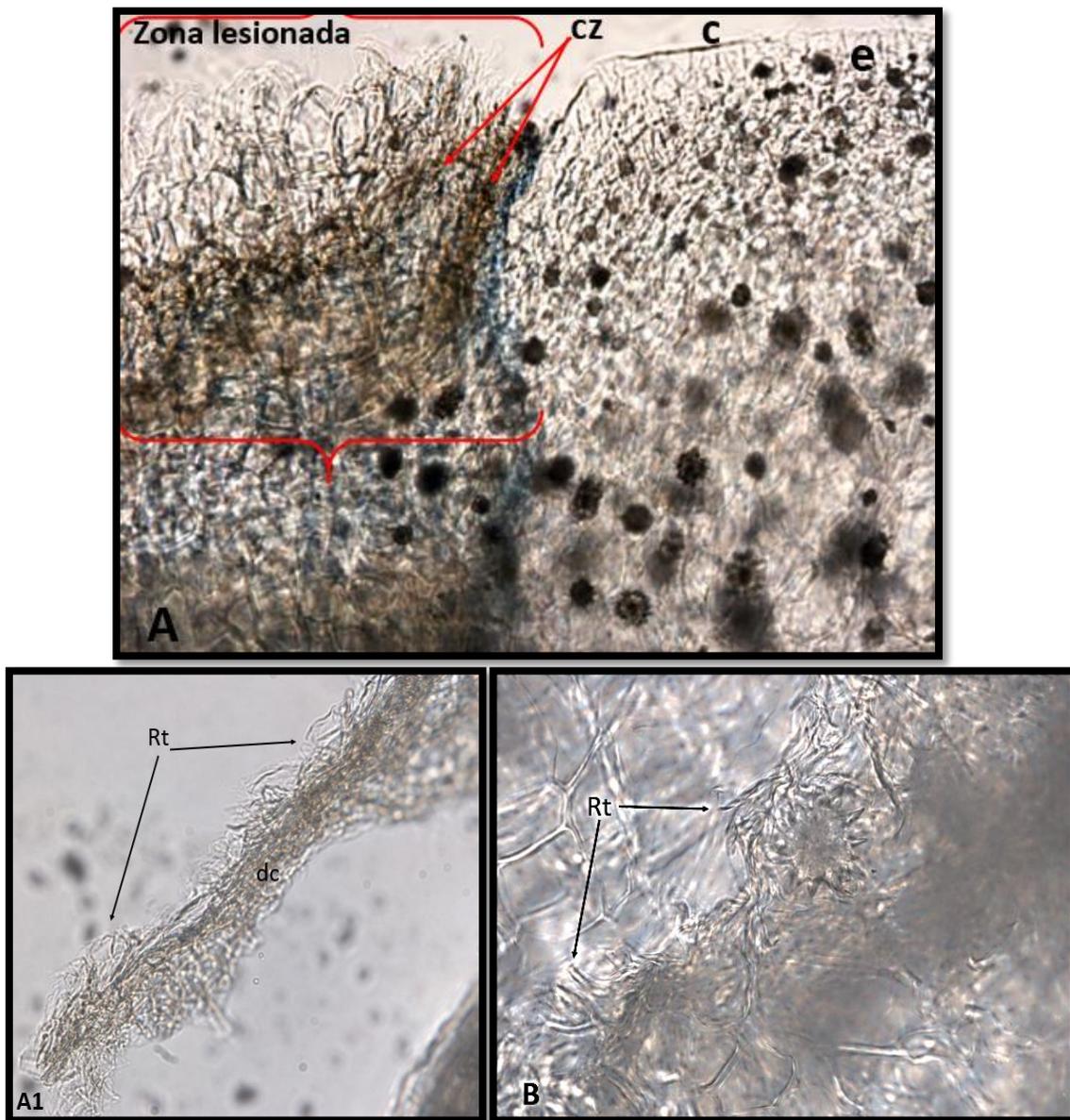


Figura 45. Corte longitudinal de la zona lesionada de un cladodio acorazonado de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva proveniente de Villanueva, Zac. A: zona lesionada (10x=200 μ m), cicatriz (cz), cutícula (c), epidermis (e). A1: desprendimiento de la cicatriz (dc) (20x=100 μ m). B: Ruptura de tejido (Rt) (40x= 50 μ m).

En la Figura 46-C se observa el tejido sano adyacente a la zona lesionada en donde se ubica la cicatriz y el desorden de células en la parte afectada. En la Figura 46-D se presenta la cicatrización (cz) y debajo el conjunto de drusas, también se observa el sistema vascular (sv) del nopal, cabe mencionar que en todas las laminillas observadas se presentó sistema vascular ajustado hacia las zonas laterales paralelas a las zonas finales de la cicatriz. En la Figura 46-E se observa el daño ocasionado en la cutícula, epidermis y colénquima, observándose debajo el colénquima, además la ruptura de células y el desprendimiento de ellas. En la Figura 46-F se presenta una hifa que fue encontrada en solo una de las laminillas, no se observó micelio ni esporas, por lo que se deduce que los cladodios lesionados son susceptibles a la entrada de hongos. En la Figura 46-G se observa un conjunto de células dispuestas en círculo, siendo observado solo en una de las laminillas, las drusas son de calcio. Por tanto el acorazonamiento ocasionado por una lesión en la parte apical de los cladodios afecta el tejido de la cutícula, epidermis y colénquima de los nopales.

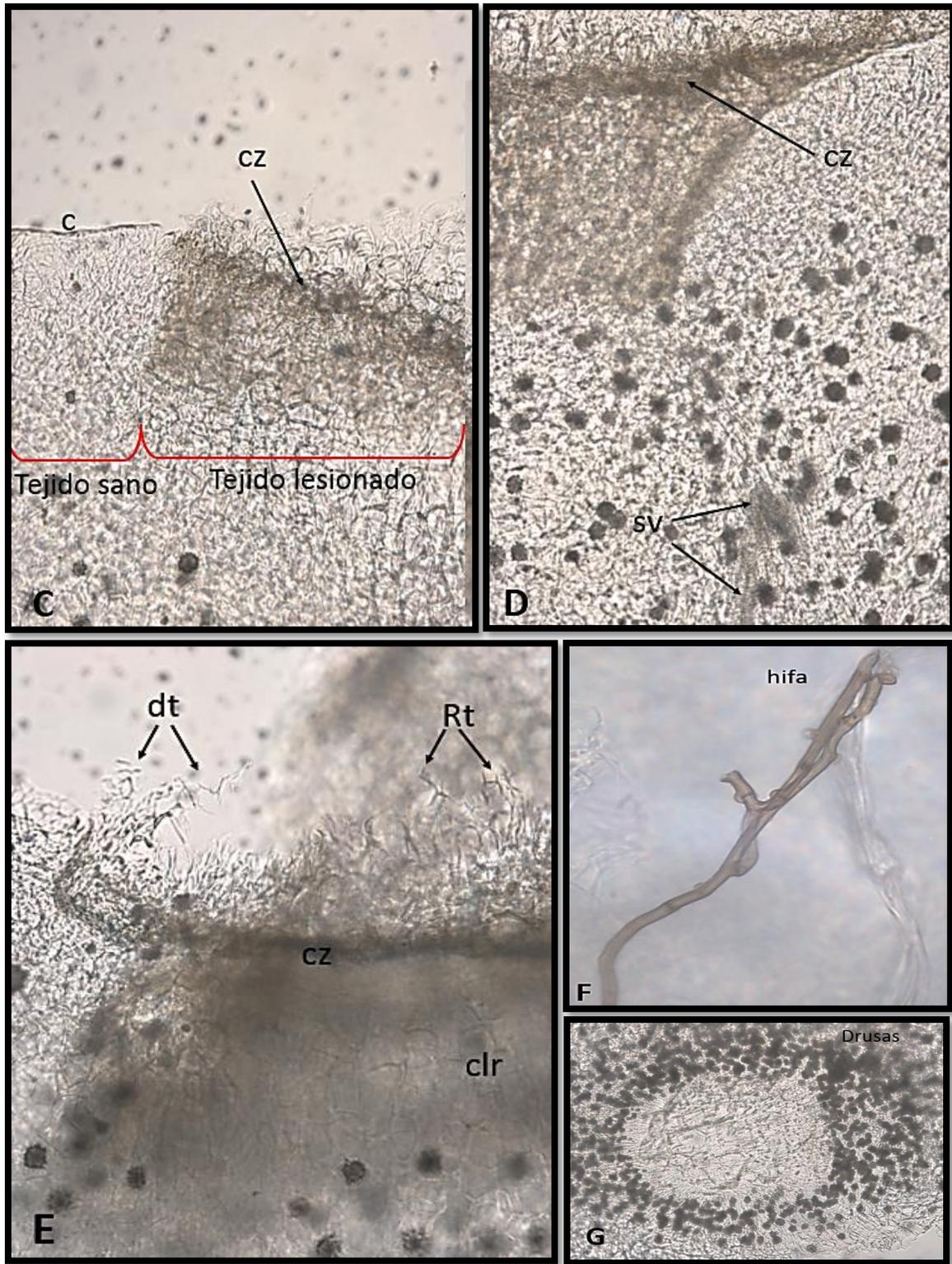


Figura 46. Estructura del tejido afectado en un cladodio acorazonado de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva proveniente de Villanueva, Zac. C y D: corte transversal (10x=200 μ m), comparación de tejido sano y lesionado, cutícula (c), cicatriz de la lesión afectando la cutícula, la epidermis y el colénquima (cz), sistema vascular (sv). E: corte longitudinal (10x), desprendimiento de tejido (dt), ruptura de tejido (Rt), clorenquima (clr), cicatriz de la lesión (cz). F y G: corte paralelo, hifa desprendida de la zona lesionada (40x= 50 μ m), conjunto de drusas formando un círculo (10x).

2.8.3 Incidencia del acorazonamiento

2.8.3.1 Incidencia del acorazonamiento en plantaciones comerciales de nopal en Villanueva, Zac.

Existen diferencias estadísticamente significativas entre la incidencia del acorazonamiento de cladodios en las plantaciones (Cuadro 12). La huerta llamada “Laguna” es la que presenta diferencia con todas las demás huertas muestreadas, además, que es la de mayor incidencia. La huerta de “Invernadero” solo se asemeja a la huerta se “Semillero” y las huertas “Hormiguero” y “Cascabelito” son semejantes.

Cuadro 12. Prueba de T de la incidencia del acorazonamiento entre plantaciones de nopal.

	Casca- belito	Hormi- guero	Caballo blanco	Semi- llero	Herbácea	Central	Inverna- dero	Laguna
Cascabelito	0							
Hormiguero	0.167	0						
Caballo blanco	0.289	0.031	0					
Semillero	0.006	0.006	0.000	0				
Herbácea	0.148	0.014	0.208	0.000	0			
Central	0.254	0.018	0.339	0.000	0.371	0		
Invernadero	0.004	0.017	0.001	0.434	0.001	0.002	0	
Laguna	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0

La plantación que presentó una mayor incidencia de cladodios acorazonados fue la identificada como “Laguna” con 29.80% del cultivar Villanueva y la que presento menos fue la conocida como “Herbácea” con el 12.22 % con el cultivar Cristalina (Cuadro 13).

Cuadro 13. Incidencia e impacto económico por acorazonamiento en plantaciones comerciales en Villanueva, Zac.

Nº	Nombre de la plantación	Coordenadas geográficas (UTM-13Q)		Cultivar	Edad de huerta (años)	Total melgas	% inciden- cia	Estimación de plantas por huerto	Impacto económico (venta \$3 por penca)
		X	Y						
1	Cascabelito	715003	2472694	Villanueva	8	10	14.67	15000	6600
2	Hormiguero	714984	2472770	Villanueva	8	11	17.22	16500	8525
3	Caballo blanco	716682	2471498	Villanueva	6	17	13.33	25500	10200
4	Semiller	710205	2463993	Villanueva	10	18	16.88	27000	13669
5	Herbácea	710172	2464094	Cristalina	5	17	12.22	25500	9350

6	Central	709907	2464179	Rojo Pelón	8	15	12.67	22500	8550
7	Invernadero	716765	2471531	Villanueva	10	11	23.58	16500	11672
8	Laguna	717022	2470456	Villanueva	3	17	29.80	25500	22803

2.8.4 Incidencia de malformaciones en nopal por planta

Existen diferencias estadísticamente significativas entre la incidencia por planta de todos los tipos de malformación observados (Cuadro 14).

Cuadro 14. Prueba de T de la incidencia en los tipos de malformación en las plantas.

	Sano	Corazón	Serrucho	Frijol
Sano	0			
Corazón	0.000	0		
Serrucho	0.000	0.000	0	
Frijol	0.000	0.000	0.000	0

Se registraron tres tipos de malformación de cladodios de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva en una plantación en Villanueva, Zac. Se muestrearon 581 plantas, de las cuales el 58% (339) no presentaron cladodios malformados en el primer nivel de la planta. El 42% (242) estaban malformados, de los cuales 24% (137) tenían forma de corazón 16% (93) tenían forma de frijol y solo 2% (16) presentaban forma de serrucho. El síntoma que se observó en mayor frecuencia en el primer nivel fue el de acorazonamiento, seguido por el de frijol y finalmente el de serrucho. En el segundo nivel de la planta se presentó una mayor incidencia de malformaciones, ya que 51% (300) de las plantas presentan alguna malformación en comparación con los del primer nivel que es menor en 9% (39).

En relación al número de cladodios muestreados, en el primer nivel de la planta se registraron en total 884, de los cuales el 52% (460) fueron sanos y 48% (424) estaban malformados. El 33% (288) tenían forma de corazón, 13% (119) forma de frijol y 2% (17) forma de serrucho. En el segundo nivel de la planta se muestreó un total de 1553 cladodios, de los cuales el 59% (917) estaban sanos y el 41% (636) presentaron acorazonamiento. La incidencia registrada en el primer nivel de la planta y tomando como unidad de muestreo tanto planta como cladodio fue de 52-59% sanos y 41-48% acorazonados. El número de plantas sanas es mayor en un 16% en comparación con las que presentan alguna malformación.

2.8.4.1 Incidencia de malformaciones en nopal por cladodio

Existen diferencias estadísticamente significativas entre la incidencia/cladodios de todos los tipos de malformación en nopal (Cuadro 15).

Cuadro 15. Prueba de T de la incidencia en los tipos de malformación en los cladodios.

	Sano	Corazón	Serrucho	Frijol
Sano	0			
Corazón	0.000	0		
Serrucho	0.000	0.000	0	
Frijol	0.000	0.000	0.000	0

2.8.4.2 Proporción de malformaciones por planta en nopal

Existen diferencias estadísticamente significativas entre la proporción de los tipos de malformación por planta. De acuerdo a la prueba de T estas diferencias están presentes entre las formas de corazón-frijol, y frijol-sano (Cuadro 16).

Cuadro 16. Prueba de T de la proporción entre los tipos de malformación/planta.

	Sano	Corazón	Serrucho	Frijol
Sano	0			
Corazón	0.07609859	0		
Serrucho	0.18303044	0.31867098	0	
Frijol	0.00000247	0.00091285	0.22069287	0

Existe una proporción de 0.52 en la relación cladodio sano/planta, lo que indica que del total de cladodios del primer nivel por planta el 52 % estuvieron sanos, y, en este caso, el 33 % acorazonados, el 13 % en forma de frijol y el 2 % en forma de serrucho. Lo que indica una mayor probabilidad de encontrar brotes sanos.

2.8.5 Incidencia del acorazonamiento en *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva en Villanueva, Zac.

Se muestrearon 416 plantas de nopal en una plantación comercial de Villanueva, Zac. Donde se registró una incidencia del 30 % (124) de plantas que presentaron cladodios acorazonados y 70 %

(292) que no evidenciaron la malformación en el primer nivel de la planta. En el segundo nivel se registró 67% (278) sanos y 33% (138) acorazonados. Respecto al número de cladodios, se muestreó un total de 2291 pencas del primer nivel, de las cuales 92% (2106) estuvieron sanas y 8% (185) acorazonadas. En cuanto al segundo nivel se muestrearon 744 pencas, registrando 78% (584) sanas y 22% (160) acorazonadas. Referente a lo antes mencionado cabe recalcar que hay un 14% más de cladodios acorazonados del primer nivel que del segundo nivel, por tanto los brotes nuevos tienden a ser más propensos al acorazonamiento.

2.8.5.1 Incidencia por melga del acorazonamiento en cladodios de nopal en una plantación comercial en Villanueva, Zac.

Las melgas mayormente afectadas por el acorazonamiento fueron la 1, 2, 3, 7, 9, 11 y 17 (Cuadro 17), ya que presentaron más del 60 % de presencia de la malformación. Las menos afectadas fueron la 4, 8, 12 y 13, con más del 60 % de cladodios sanos. Las melgas con mayor incidencia son las ubicadas al inicio y final de la plantación y en cambio las menos afectadas son las que se ubican en la parte central. Por lo que cabe mencionar que las plantas que están en los bordes de la plantación son más propensas al acorazonamiento.

Cuadro 17. Incidencia del acorazonamiento de cladodios por melga.

Melga	Cladodios Acorazonados	%	Cladodios sanos	%	Total cladodios muestreados
1	19	63.3	11	36.7	30
2	11	73.3	4	26.7	15
3	12	75.0	4	25.0	16
4	6	35.3	11	64.7	17
5	7	46.7	8	53.3	15
6	7	46.7	8	53.3	15
7	10	62.5	6	37.5	16
8	4	28.6	10	71.4	14
9	10	62.5	7	37.5	17
10	8	44.4	10	55.6	18
11	27	61.4	17	38.6	44
12	11	36.7	19	63.3	30
13	5	29.4	12	70.6	17
14	25	58.1	18	41.9	43

15	15	48.4	16	51.6	31
16	21	48.8	22	51.2	43
17	23	65.7	12	34.3	35
Total	221		195		416

2.8.5.2 Proporción de cladodios sanos y acorazonados, provenientes de una penca madre sana o acorazonada.

Existen diferencias estadísticamente significativas entre las proporciones de tener un brote sano a partir de una penca madre sana y entre tener un brote sano a partir de una penca madre acorazonada (Cuadro 8). No existen diferencias estadísticamente significativas entre tener brotes acorazonados a partir de pencas madre sanas y acorazonadas (Cuadro 18). Así mismo, en cuanto a las comparaciones que están en combinación tampoco hubo diferencias estadísticamente significativas. Por tanto se debe prestar atención en dicha malformación ya que se obtienen más brotes sanos si provienen de pencas madre sanas. Tener pencas en edad productiva que estén acorazonadas repercute negativamente en la producción de nuevos brotes sanos. Las plantaciones se deben mantener libres de pencas acorazonadas.

Cuadro 18. Prueba de T entre las proporciones de tener nuevos brotes sanos o acorazonados a partir de una penca madre sana o acorazonada.

Variable	Media	P=<0.05
Sano 1N / Sano 2N	3.18	0.005
Sano 1N / Acorazonado 2N	2.70	
*Acorazonado 1N / Sano 2N	1.12	0.390
*Acorazonado 1N / Acorazonado 2N	1.15	
*Sano 1N / Sano 2N	2.66	0.376
*Sano 1N / Acorazonado 2N	2.56	
Acorazonado 1N / Sano 2N	1.67	0.5
Acorazonado 1N / Acorazonado 2N	1.67	

*Comparaciones cuando las proporciones provienen de la combinación entre brotes nuevos sanos y acorazonados en una misma penca sana o acorazonada.

Es mayor la proporción de tener brotes sanos que acorazonados, ya que por cada 3.18 brotes sanos hay 1.67 brotes acorazonados provenientes de una penca madre sana (Cuadro 19). Así mismo, es

mayor la proporción de tener brotes sanos que acorazonados a partir de una penca madre acorazonada, ya que es de 2.71 y 1.67 respectivamente. En cuanto a la proporción de tener brotes sanos y acorazonados en una misma penca madre sana es de 2.66 sanos por cada 1.12 acorazonados. La proporción de la combinación de brotes sanos y acorazonados en una misma penca madre acorazonada es de 2.54 sanos por 1.15 acorazonados. En todas las proporciones siempre fue mayor el tener brotes nuevos sanos que acorazonados.

Cuadro 19. Proporción de brotes sanos o acorazonados a partir de una penca madre sana o acorazonada.

Comparación 1	Comparación 2	Comparación 3	Comparación 4
Sano 1N/ Sano 2N	*Sano 1N/ Sano 2N	Sano 1N/ Acorazonado 2N	*Sano 1N/ Acorazonado 2N
3.18	2.66	2.71	2.54
Acorazonado 1N/ Sano 2N	*Acorazonado 1N/ Sano 2N	Acorazonado 1N/ Acorazonado 2N	*Acorazonado 1N/ Acorazonado 2N
1.67	1.12	1.67	1.15

1N: primer nivel de la planta (brotes nuevos)

2N: segundo nivel de la planta (penca madre)

*proporción de la combinación de brotes sanos y acorazonados en una misma penca madre sana o acorazonada.

2.8.5.3 Frecuencia de las proporciones de brotes sanos o acorazonados y su combinación en pencas madre sanas o acorazonadas

En la Figura 47 se observa que hubo una mayor frecuencia de cladodios sanos provenientes de pencas madre sanas con la mayoría de los brotes entre 2 y 4 por penca (frecuencias de 65) y un máximo de once, comparado con los cladodios acorazonados provenientes de madres sanas, los cuales tienen de 1 a 4 brotes por penca y su frecuencia máxima de 14. En cuanto a los cladodios sanos provenientes de pencas madre acorazonadas tienen más frecuentemente brotes de 1 a 3 por penca y máximo de 10, comparado con brotes acorazonados a partir de pencas madre acorazonadas, los cuales alcanzan frecuencias de tres. Por tanto hay una mayor proporción de cladodios sanos que acorazonados sobre pencas madre sanas.

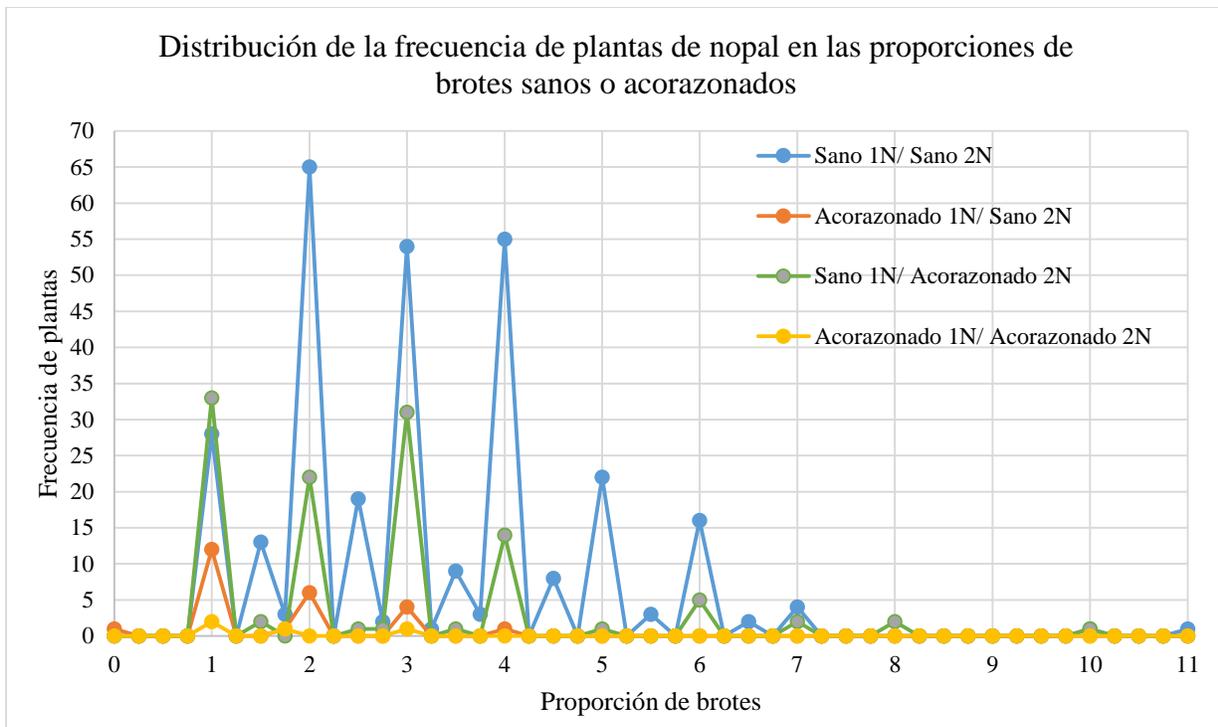


Figura 47. Distribución de la frecuencia de plantas que tienen determinadas proporciones de brotes nuevos.

En la Figura 48 se observa que hay una mayor proporción de brotes acorazonados que sanos sobre pencas madre sanas ya que tiene frecuencias de 66 y llegan a producir hasta 3 brotes por penca cuando se da la combinación de tener brotes sanos y acorazonados en una misma penca madre. En cuanto a los brotes acorazonados que provienen de pencas madre acorazonadas se observan frecuencias máximas de 20, llegando a producir hasta 6 cladodios por penca, lo cual es mayor comparado con la producción de cladodios sano en donde se marcan frecuencias máximas de 8 cuando en una misma penca se da la combinación de tener cladodios sanos y deformes. Cuando hay una combinación de ambas formas de cladodios en la misma penca madre ya sea acorazonada o sana se presentan más cladodios acorazonados que sanos.

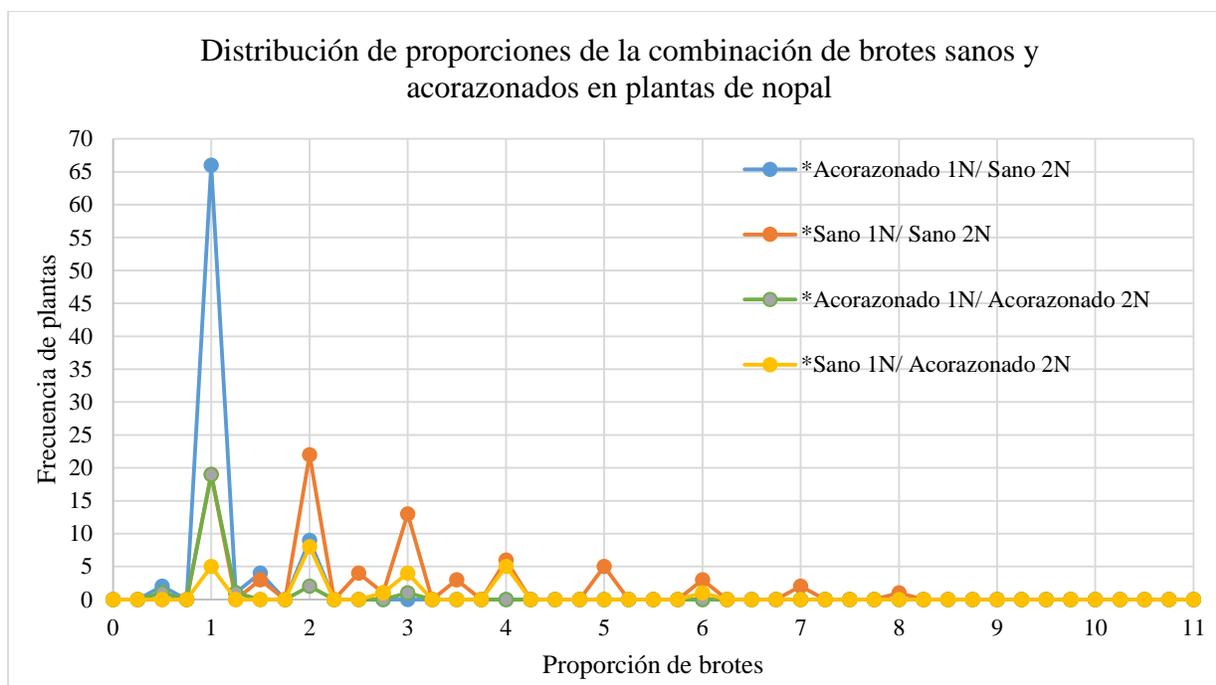


Figura 48. Distribución de la frecuencia de plantas que tienen determinadas proporciones provenientes de la combinación (*) de brotes sanos y acorazonados en una misma penca madre.

2.8.6 Severidad del acorazonamiento

Los cladodios acorazonados presentan en promedio una longitud de 29.8 cm y ancho de 19.6 cm (Cuadro 20), en comparación con los sanos con una longitud de 41.55 cm y ancho de 23 cm (Cuadro 21). Ambas formas tienden a ser elípticos debido a que su valor tiende a llegar a 1.

Cuadro 20. Medidas morfométricas de cladodios acorazonados.

Valor	Longitud	Ancho ecuatorial	Área (cm ²)	Perímetro	Excentricidad
Mínimo	12.0	11.0	103.7	36.2	0.3
Máximo	45.0	30.0	1036.7	118.3	0.9
Promedio	29.8	19.6	470.4	79.6	0.7

Cuadro 21. Medidas morfométricas de cladodios sanos.

Valor	Longitud	Ancho ecuatorial	Área (cm ²)	Perímetro	Excentricidad
Mínimo	24	13	320.4	65.3	0.7
Máximo	56	31	1187.5	139.4	1.0
Promedio	41.55	23.00	803.6	111.1	0.8

2.8.6.1 Pérdida de área fotosintética en cladodios de *Opuntia ficus-indica* var. Villanueva en Villanueva, Zac.

El 51.3% de los cladodios acorazonados tienen un ancho de acorazonamiento (Figura 49) entre 7.1 y 12 cm situándose en las clases medio y alto; 43% tienen entre 1 y 7 cm de ancho situándose en clases muy baja y baja. El máximo ancho alcanzado fue de 17 cm y el mínimo de 1 cm.

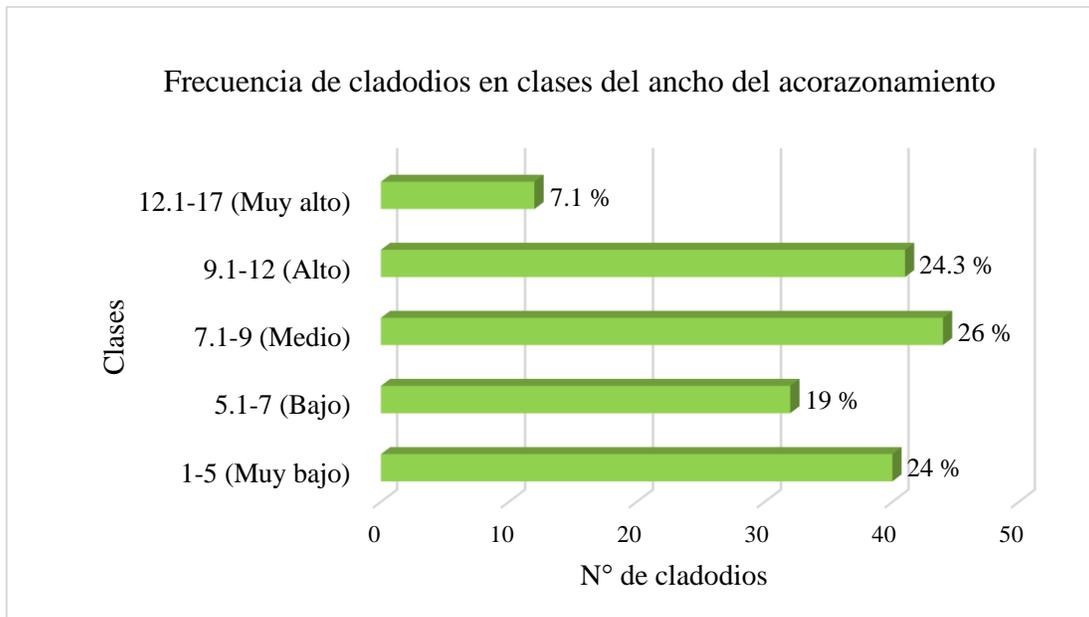


Figura 49. Frecuencia de cladodios en las clases del ancho del acorazonamiento (ver Figura 4-C).

El 58% de los cladodios malformados presentan una profundidad de acorazonamiento entre 3.1 y 7 cm situándose en las clases baja y media; 21.9% tienen entre 1.5 y 3 cm, el máximo de profundidad es 12 cm en la clase muy alto (Figura 50).

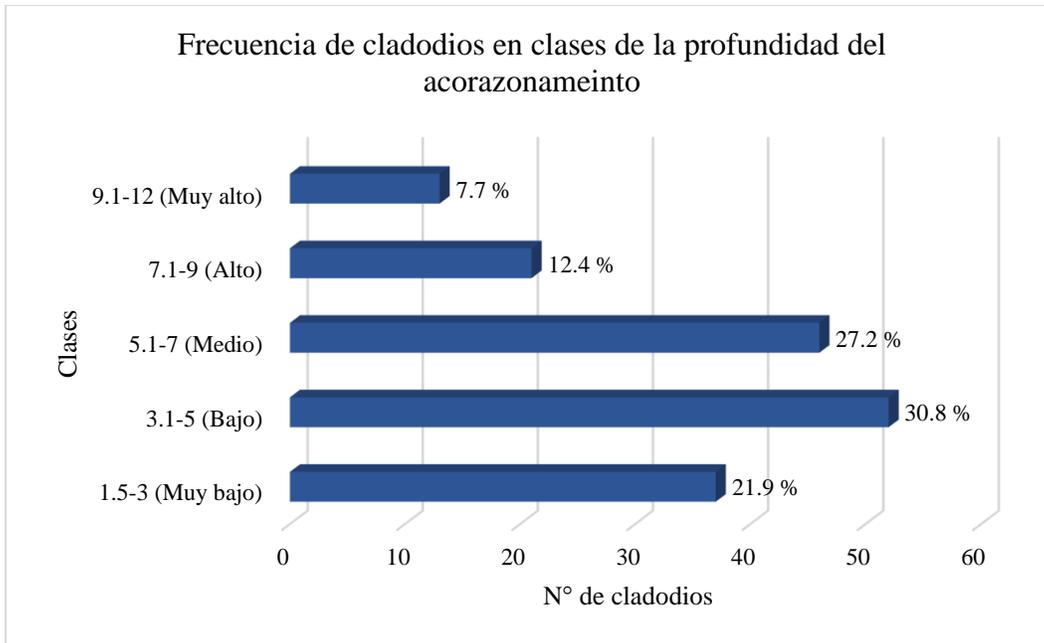


Figura 50. Frecuencia de cladodios en las clases de profundidad del acorazonamiento (ver Fig.1, D).

En cuanto al porcentaje de pérdida de área fotosintética esta disminuye hasta en 38.4 % su superficie lo cual afecta casi la mitad de la penca (severidad muy alta) y un mínimo de 0.77 considerado en una severidad muy baja. El 46.1% pierde entre 0.77 y 9% del área, el 42.6% pierde entre 9 y 19 % del área fotosintética (Figura 51).

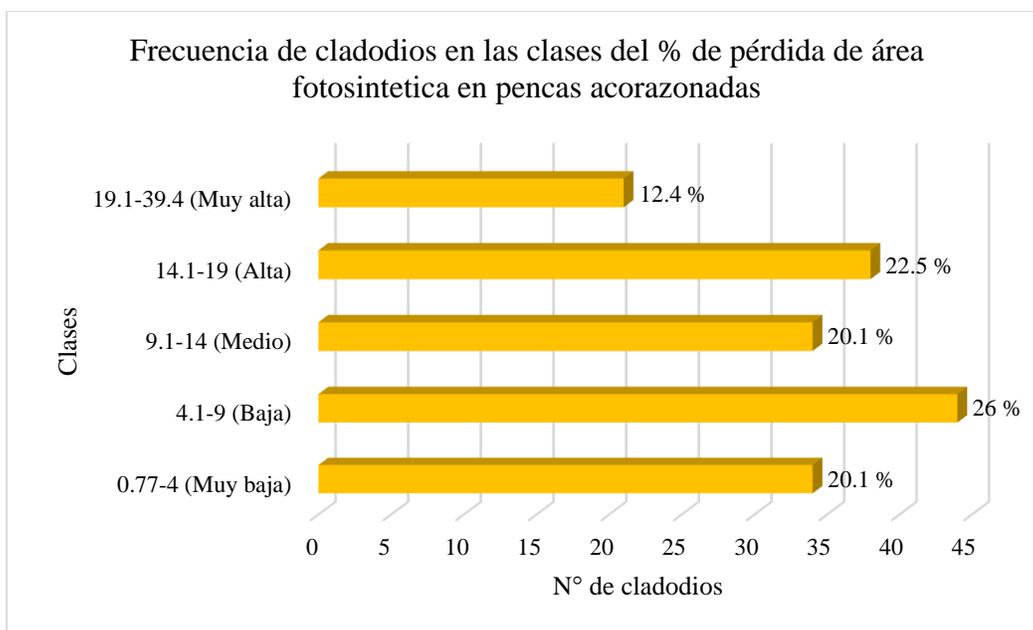


Figura 51. Frecuencia de cladodios en las clases del porcentaje de pérdida de área fotosintética en pencas acorazonadas.

Los cladodios acorazonados pierden en promedio el 8.6 % (37.6 cm) del área fotosintética, con anchos promedio de acorazonamiento de 8 cm y de profundidad de 5,6 cm (Cuadro 22).

Cuadro 22. Estimación de la pérdida de área fotosintética en cladodios acorazonados.

Valor	Ancho del acorazonamiento	Profundidad del acorazonamiento	Pérdida de área (cm ²)	% de pérdida de área
Mínimo	1	1.5	1.6	0.4
Máximo	17	12.0	170.3	39.4
Promedio	8.0	5.6	37.6	8.6

2.8.6.2 Niveles de severidad del acorazonamiento

En la Figura 52 se observan los niveles de severidad en relación a porcentaje de pérdida de área fotosintética. Se determinaron 5 niveles de severidad: Muy alta (>19.1 %), Alta (14-19 %), Media (9-14 %), Baja (4-9 %) y Muy baja (0.77-4 %).

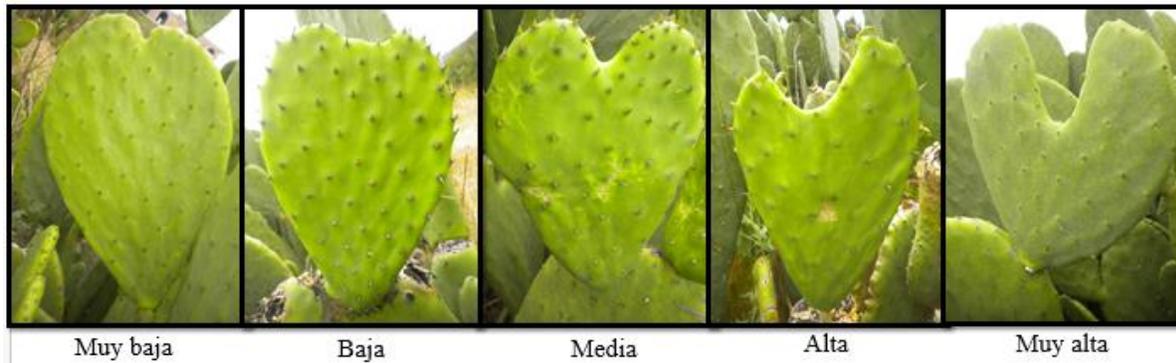


Figura 52. Niveles de severidad por acorazonamiento de cladodios de nopal, por pérdida de área fotosintética. Nivel Muy alto (>19.1 %), Alto (14-19 %), Medio (9-14 %), Bajo (4-9 %) y Muy bajo (0.77-4 %).

De acuerdo con Alonso-Barrera (2011) en cuanto a la incidencia del síntoma de manchas cloróticas en nopal, obtuvo valores de 47 a 60% de plantas enfermas, y una severidad de 51 a 79%. Por otro lado Acosta et al. (1997) obtuvieron valores de incidencia para el síntoma de engrosamiento de cladodios de 21 a 83% y de severidad del 1 al 30%. Mondragón y Acevedo (1992) encontraron valores de 3.5 a 97% de incidencia en síntomas de engrosamiento de cladodios en plantaciones en Guanajuato y Estado de México. Así mismo, Quezada-Salinas *et al.* (2006) identificaron una severidad del 20 a 50% de mancha negra en pencas dañadas en Tlalnepantla, Morelos. Cabe mencionar que los datos obtenidos en la presente investigación indican una severidad del 1-20%. En cuanto a incidencia, ésta indicó valores de 17.5 a 33%, siendo menor a lo reportado con síntomas de engrosamiento y manchas en nopal. Así mismo, en otro estudio realizado en Brasil con la mancha provocada por *Alternaria tenuis* en nopal, registran una severidad del 2, 4, 7, 12, 22 y 40 % detectado en la superficie de los cladodios (Lima *et al.*, 2011). Por otro lado en India (Nallathambi *et al.*, 2005) observaron una incidencia del 23 % de la enfermedad de pudrición del tallo provocada por *Phytophthora nicotianae* en plantas de nopal.

2.8.6.3 Pérdida de yemas en cladodios de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva en Villanueva, Zac.

Los cladodios sanos presentan entre 15 y 29 yemas en la parte apical, 37.5% presentan entre 21 y 24 (Clase Media), 34.4% tienen entre 15 y 20 situándose en clase baja y sólo el 28.1% contiene más de 25 yemas (Figura 53).

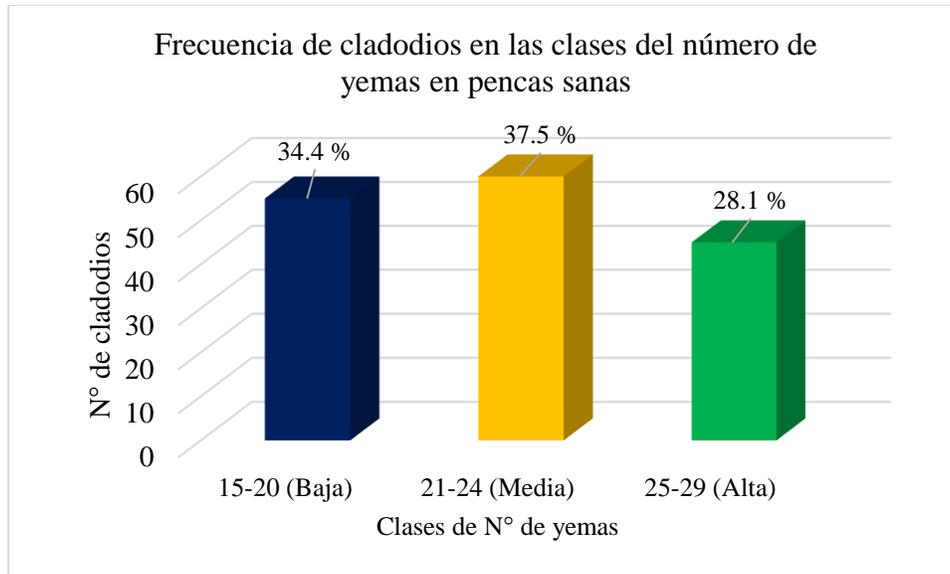


Figura 53. Frecuencia de cladodios en las clases del número de yemas en pencas sanas.

El número de yemas en pencas acorazonadas en la parte apical es de 4 a 17, registrándose la mayoría de pencas en la clase baja con 4 a 9 yemas siendo el 39.6 % y el 36.7 % tiene de 9 a 11 yemas, solo el 23.7 % tiene más de 11 yemas (Figura 54).

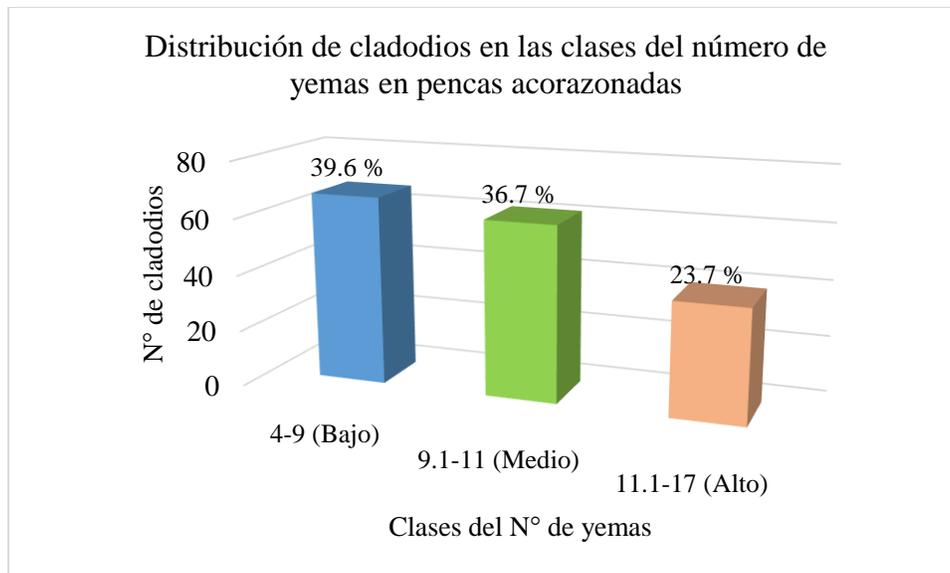


Figura 54. Distribución de cladodios en las clases del número de yemas en pencas acorazonadas.

Vale la pena resaltar que 74.7 % de las pencas han perdido del 51 al 81 % de sus yemas, lo cual repercute en la productividad ya que son menos las yemas viables para producir nuevos brotes; 25.6 % pierde entre el 15 y 50% de las yemas (Figura 55).

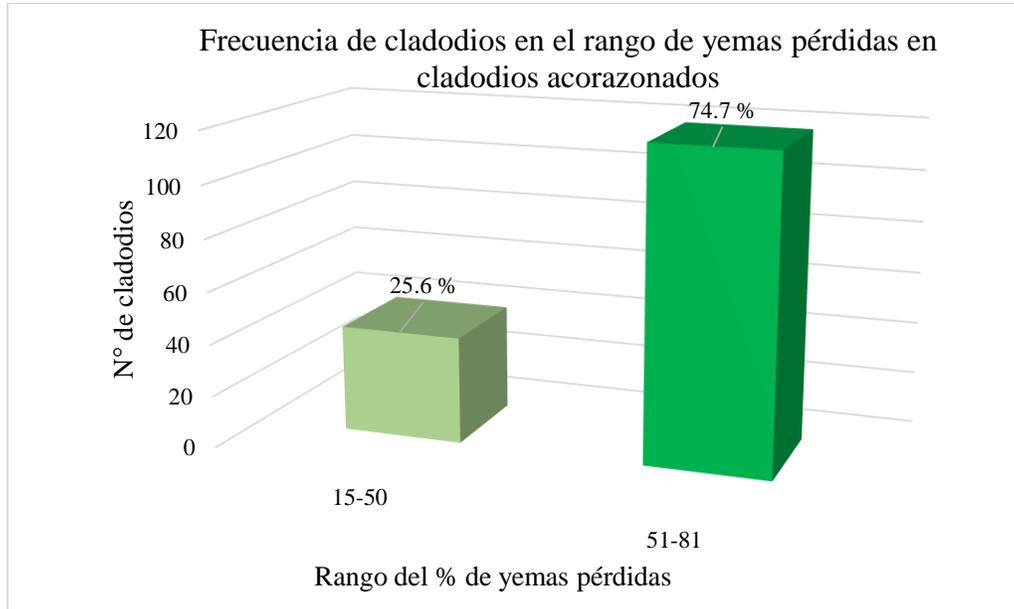


Figura 55. Pérdida de yemas en cladodios acorazonados.

Los cladodios acorazonados pierden más del 50 % de sus yemas en comparación con el número de yemas en cladodios sanos (Cuadro 23).

Cuadro 23. Yemas perdidas en cladodios acorazonados, respecto al número de yemas en cladodios sanos.

Valor	N° yemas sanos	N° yemas acorazonados	% yemas pérdidas
Mínimo	15	4	15
Máximo	29	17	80
Promedio	22.6	9.9	55.6

No existe correlación entre el porcentaje de pérdida de área fotosintética y el porcentaje de pérdida de yemas (Figura 56) con una $R=0.05$. También se realizó una prueba de correlación para conocer si existe relación entre el ancho del acorazonamiento y el porcentaje de yemas perdidas en cladodios acorazonados y se verificó que no hay correlación entre estas variables con una $R=0.06$ (Figura 57).

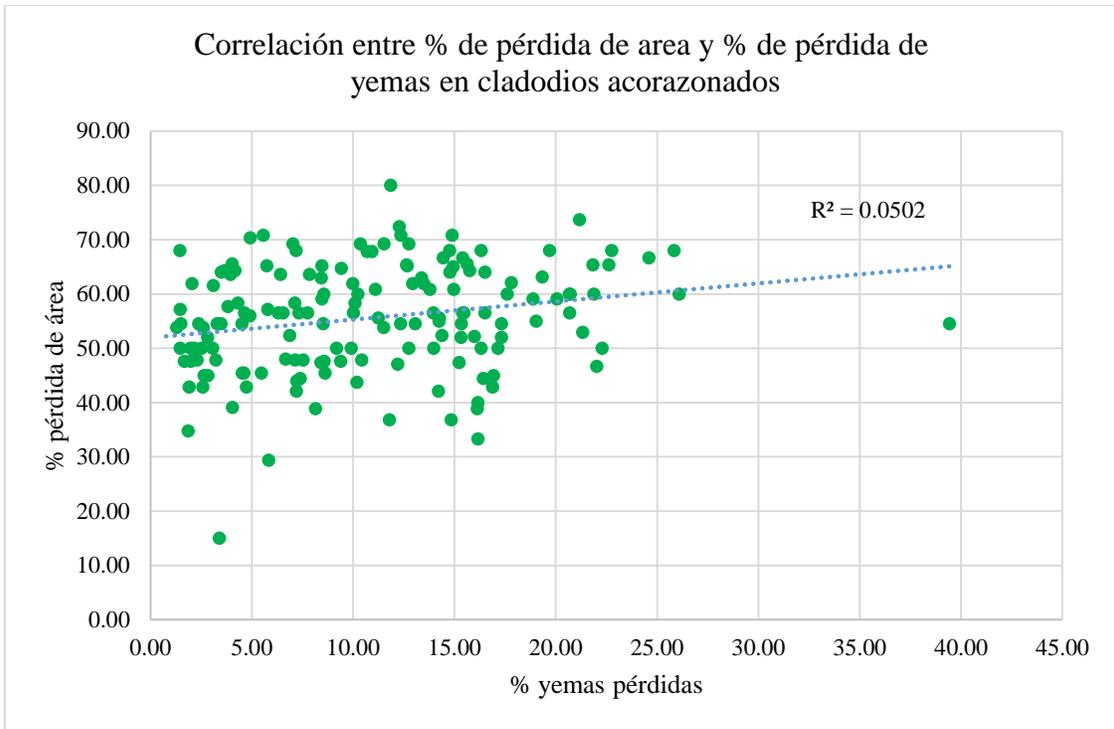


Figura 56. Correlación entre % de pérdida de área y % de pérdida de yemas en cladodios acorazonados.

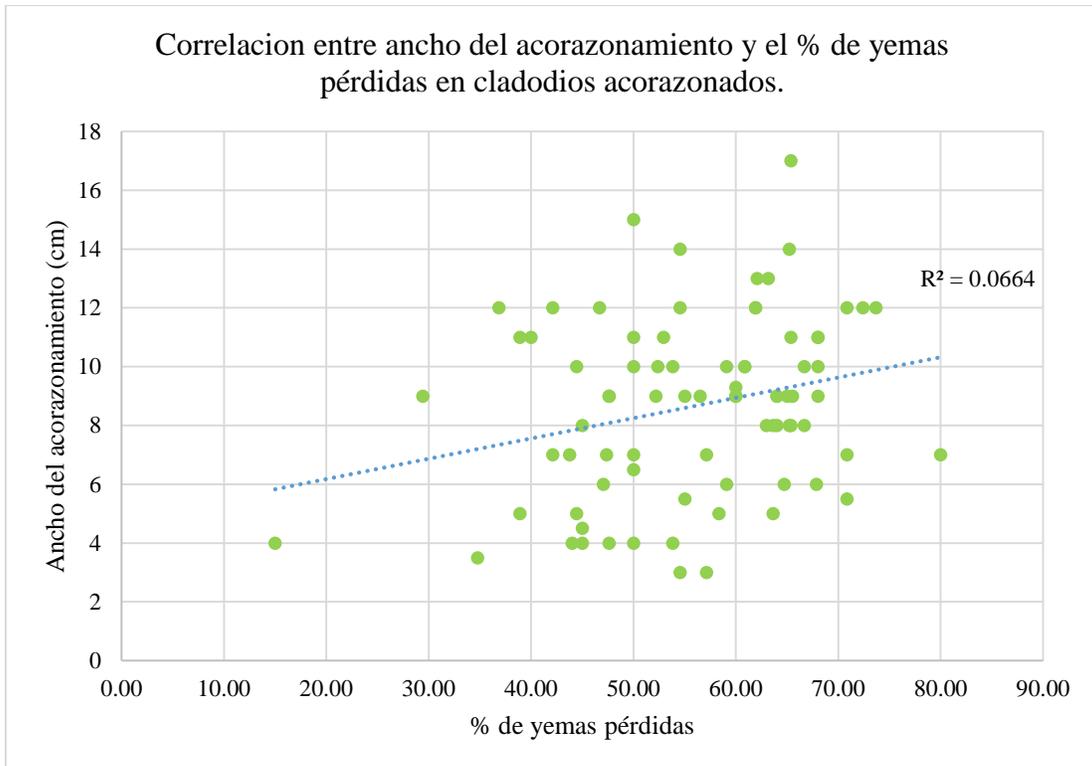


Figura 57. Correlación entre ancho del acorazonamiento y el % de yemas pérdidas en cladodios acorazonados.

2.9 CONCLUSIONES

El acorazonamiento se presenta en brotes tiernos de 5 a 20 días de edad, en distintos cultivares y especies de *Opuntia*, así mismo, este daño se ha observado en plantaciones comerciales y silvestres.

Los cladodios dañados presentan una cicatrización en la parte apical, observándose a través de cortes histológicos, la ruptura de la cutícula y epidermis con el desprendimiento de las paredes celulares y llegando a dañar el colénquima.

Se observaron tres tipos de malformación, la de corazón, de frijol y de serrucho, siendo la del acorazonamiento la más frecuente. El acorazonamiento de cladodios presenta una incidencia de 33% en una plantación de nopal, repercutiendo en el rendimiento y volumen de producción.

La proporción de brotes sanos/brotos acorazonados a partir de una penca madre sana es de 3.18/1.67, por tanto hay mayor probabilidad de tener brotes sanos a partir de una penca sana; por el contrario, si los brotes provienen de una penca madre acorazonada la proporción es de 2.71/1.67 con menos probabilidad de que sean sanos.

No existe correlación entre el área fotosintética afectada y el número de yemas que se pierden en un cladodio acorazonado.

El acorazonamiento presenta una severidad del 1 al 39% en las pencas de acuerdo a la pérdida del área fotosintética, así mismo, estos cladodios reducen entre 50 y 80% la cantidad de yemas vegetativas y florales. Por esto debe ser considerada la aplicación de técnicas eficientes de manejo que eviten la dispersión del agente causal.

2.10 LITERATURA CITADA

- ACOSTA O., SOTO E. y MENDEZ G. 1997. Manejo de huertas de nopal (*Opuntia* spp.) para el control del “engrosamiento de cladodios” y de la producción. *Agrociencia* 31:67-72.
- ALONSO-BARRERA. (2011). Etiología de un síndrome fungoso y viral en cladodios de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*). TESIS: Maestría en Ciencias en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 82 pp.
- BERTACCINI A., CALARI A. y FELKER P. 2007. Developing a method for phytoplasma identification in cactus pear samples from California. *Bulletin of Insectology* 60(2):257-258.
- CORTAZAR G. and NOBEL P. 1990. Worldwide environmental productivity índices and yield predictions for a CAM plant, *Opuntia ficus-indica*, including effects of doubled CO₂ levels. *Agricultural and Forest Meteorology* 49: 261-279.
- CORTAZAR G. and NOBEL P. 1991. Prediction and measurement of high anual productivity for *Opuntia ficus-indica*. *Agricultural and Forest Meteorology* 56: 261-272.
- FUCIKOVSKY Z. L. and YAÑEZ M. M. J. 2006. Presence of phytoplasma in edible Cactus, insects, snails, and weeds. Proceedings of the 11th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria. Edinburgh, Scotland. United Kingdom. Abstract A-p. 29.
- FUCIKOVSKY Z., YAÑEZ-MORALES, ALANIS-MARTINEZ y GONZALEZ-PEREZ. 2011. New hosts of 16Srl phytoplasma group associated with edible *Opuntia ficus-indica* crop and its pests in México. *African Journal of Microbiology Research* 5(5):910-918.
- GRANATA G. 1995. Biotic and abiotic diseases. *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO. *Plant Production and Protection* 132:109-119.
- GRANATA G. y SIDOTI A. 2002. Survey of diseases discovered on *Opuntia ficus-indica* in producer countries. *Acta Horticultural*. 581.
- GRANATA G., PALTRINIERI S., BOTTI S. y BERTACCINI A. 2006. Aetiology of *Opuntia ficus-indica* malformations and stunting disease. *Annals of Applied Biology* 149:317-325.
- HERNÁNDEZ-PÉREZ, NOA-CARRAZANA, GASPAR R., MATA P. y FLORES-ESTEVEZ. 2009. First report of symptoms associated to a phytoplasma affecting Nopal (*Opuntia ficus indica* Mill) in the “Pyramids” Indian, State of México. *Journal of General and Molecular Virology* 1(4):046-047.

- MONDRAGON J. y ACEVEDO F. 1992. Estado fitosanitario de huertos de nopal tunero en el norte de Guanajuato. In: Memoria de Resúmenes del 5° Congreso Nacional y 3er Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Chapingo, Edo. de México. pp. 86-67.
- PIMIENTA B. E. 1990. El nopal tunero. Grafica Nueva Pipila 638. Guadalajara, Jalisco, México.
- QUEZADA-SALINAS A., SANDOVAL-ISLAS 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.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. (Consultado el 11 de noviembre de 2014).
- SUASTE-DZUL. 2011. Coinfección de virus y fitoplasmas en el síndrome de engrosamiento del nopal (*Opuntia ficus-indica* Mill). TESIS: Maestría en Ciencias en Fitopatología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Pp 54.

CAPITULO III. ANÁLISIS DEL AGENTE CAUSAL DEL ACORAZONAMIENTO DE CLADODIOS EN NOPAL

3.1 RESUMEN

Las principales actividades productivas del cultivo de nopal son la cosecha de nopalito, tuna y forraje. Su aprovechamiento con estos fines se da en nopaleras silvestres y en plantaciones comerciales. Debido a que es un monocultivo, es susceptible a sufrir daños por insectos plaga y enfermedades, siendo éste uno de los principales factores que afectan negativamente la cantidad y calidad de la cosecha. Por tal razón, en este estudio se planteó como objetivo general identificar el agente causal del acorazonamiento de cladodios en plantaciones comerciales de nopal. Los objetivos particulares fueron a) identificar el daño que ocasiona *Diabrotica undecimpunctata* en pencas y determinar su fluctuación poblacional, b) inducir el acorazonamiento por daño físico en cladodios de nopal y c) determinar la presencia de fitoplasmas en cladodios sintomáticos y asintomáticos de nopal y su relación con el acorazonamiento. Se colocaron trampas amarillas pegajosas en huertas (Pinos y Villanueva, Zacatecas) en sitios cercanos a brotes nuevos y acorazonados y se analizó la fluctuación poblacional de *D. undecimpunctata* y *D. balteata*. Bajo condiciones de invernadero se expusieron cladodios de 8, 11 y 13 días de edad en jaulas de simulación y se liberaron insectos de *D. undecimpunctata*, para comprobar su causalidad en el acorazonamiento. Así mismo, se realizó una punción en el ápice central de pencas de 8, 11 y 13 días de edad, para verificar la formación del acorazonamiento por daño físico. Se realizó un ANOVA para identificar diferencias por edad de las pencas. Por último, se extrajo el ADN de muestras sintomáticas y asintomáticas de nopal de 8 a 12 días de edad y se analizó mediante PCR (directa y anidada) y RFLP para detectar la presencia de fitoplasmas. La especie *D. undecimpunctata* fue más abundante que *D. balteata* en Pinos, Zac. y lo contrario se observó en Villanueva, Zac. Esta última fue más abundante en julio y noviembre y la primera en agosto, septiembre y noviembre. *D. undecimpunctata* se alimentó de las caras del nopal en las diferentes edades analizadas ($P=0.58$) y no provoca el acorazonamiento. La simulación de daño físico ocasionó acorazonamiento en brotes de todas las edades expuestas ($P=0.26$). Las muestras de nopal sintomáticas y asintomáticas fueron positivas en la presencia de fitoplasmas de los grupos I, II y III. El acorazonamiento de cladodios no es ocasionado por un fitoplasma, ni por insectos del género *Diabrotica*. Los brotes tiernos expuestos a una lesión física si presentaron acorazonamiento. Se

deben seguir realizando estudios enfocados a la identificación del agente causal del acorazonamiento, a fin de implementar estrategias de manejo oportunas en los sistemas productivos de nopal.

CHAPTER THREE. ANALYSIS OF THE CAUSAL AGENT OF CLADODE “ACORAZONAMIENTO” ON CACTUS PEAR.

3.1. ABSTRACT

Market oriented productive uses for cactus pear are “nopalitos” (tender young cladodes for human consumption), cactus fruit and forage. Both wild and cultivated cactus pear plantations are harvested by cactus growers. When cactus pear is grown as monoculture, it can be easily affected by insect pests and diseases that constrain the quantity and quality of the harvest. Identify the causal agent of the cladode “acorazonamiento” in commercial cactus pear orchards was the aim of this study. Three specific objectives were searched: a) identify the damage caused by the northern corn rootworm, *Diabrotica undecimpunctata* in tender cladodes, as well as to determine the changes of its adult populations through time, b) induce the cladode “acorazonamiento” with mechanical damage, and c) determine the presence of phytoplasmas in healthy and deformed cladodes, and how it relates to the problem of “acorazonamiento”. Yellow sticky traps were set on cactus pear orchards at Pinos and Villanueva (Zacatecas); those traps were near the cladodes with new shoots and cladodes with “acorazonamiento”; the data gathered was used to analyze population fluctuation of the adult stage of *D. undecimpunctata* and *D. balteata*. Cladodes that were 8, 11 and 13 days old were exposed to the adult stage of *D. undecimpunctata* in cages under greenhouse conditions, to find out if this insect was involved in the “acorazonamiento” problem. Also, an incision was made in the center of the apical part of cladodes that were 8, 11 and 13 days old in order to test if a mechanical damage could be responsible for the symptoms of “acorazonamiento”. Data was analyzed with ANOVA. Finally, DNA was extracted from healthy and affected cladodes by “acorazonamiento”; the cladode age was 8 and 12 days old; those samples were run through a PCR (direct and nested) and then by RLFP to test for phytoplasmas presence. Adults of the insect *D. undecimpunctata* were most commonly found than *D. balteata* at Pinos (Zacatecas); the opposite was true for Villanueva (Zacatecas). At Pinos, *D. undecimpunctata* populations were frequently found during August, September and November, while *D. balteata* at Villanueva was abundant during July and November. Adults of *D. undecimpunctata* feed on the sides of the cladode with different ages ($P=0.58$), and it did not cause “acorazonamiento” symptoms. The mechanical damage was successful to reproduce the “acorazonamiento” on all the cladode ages

(P=0.26). Both symptomatic and asymptomatic cladodes were positive to the presence of phytoplasmas; the phytoplasma groups found were I, II, and III. Cladode “acorazonamiento” is not caused by insects of the genus *Diabrotica*, neither by phytoplasmas. Tender cladodes exposed to mechanical damage had the “acorazonamiento” deformation. It is required to keep doing research studies focused on identifying the causal agent of “acorazonamiento” in order to implement timely management strategies on the cactus pear production systems.

3.3 INTRODUCCIÓN

La producción de nopal a nivel nacional es de gran importancia ya que es un producto alimenticio que se consume principalmente en fresco como nopalitas verdura, así mismo también es aprovechado su fruto. El cultivo del nopal para la cosecha de nopalito, de tuna o forraje son las actividades primarias en su uso por muchas familias mexicanas a lo largo del país. Por lo que es de gran interés el mantener en condiciones adecuadas las plantaciones comerciales, ya que son susceptibles a la entrada de insectos plaga y de enfermedades, siendo la fitosanidad uno de los principales factores que afectan la cantidad y calidad de la cosecha (Mendez-Gallegos *et al*, 2013) y repercute en el precio de venta a causa del gasto en insumos requeridos para contrarrestar los efectos de estas eventualidades. Algunas de las plagas de mayor interés para el productor de nopal debido a que han tenido un impacto severo en las plantaciones y que han afectado tanto a las pencas madre, como al fruto y a los brotes son en primera instancia las plagas como el picudo barrenador (*Metamasius spinolae*), el torito (*Moneilema* spp.), la cochinilla (*Dactylopius* spp.) (Rodríguez *et al.*, 2005 y Tovar *et al.*, 2005), el picudo de las espinas (*Cylindrocopturus biradiatus*) (Mena y Rosas, 2004), entre otros. En cuanto a enfermedades, las principales son: la mancha negra (*Pseudosercospora* sp.) (Quezada-Salinas *et al.* 2006), el mal de oro (*Alternaria* sp., *Hansfordia* sp., *Ascochita* sp.); también, últimamente ha sido muy estudiado el síntoma de engrosamiento del nopal con deformaciones de la penca, a la cual le atribuyen como causante un fitoplasma del grupo II (Hernández-Pérez *et al*, 2009). Debido a que existen por lo menos 122 especies de insectos asociados al nopal y numerosas especies de hongos, bacterias y virus (Swart and Swart 2003) que pueden afectar su producción es de vital importancia su manejo. Esta asociación está dada por una coevolución a lo largo del tiempo en que hay una estrecha relación entre insecto-planta, dicha asociación responde a una alta especialización de alimentación y que no pueden sobrevivir en otras plantas. Esto se puede observar con los insectos cactofagos (Moran, 1980) que están especializados a cactáceas solamente, también hay especies de fitófagos en *Opuntia* que atacan órganos específicos de la planta y que se encuentran solo en determinadas temporadas del año, cuando las condiciones son favorables. Para contrarrestar la entrada de insectos y enfermedades, las cactáceas han creado resistencia y se han adaptado mediante mecanismos fisiológicos (Soares da Silva *et al*, 2010) para hacer frente a los cambios drásticos en el ambiente. De manera particular, el acorazonamiento es un síntoma que se ha observado en los últimos años, y considerando que es una malformación que no permite la producción de brotes florales ni vegetativos en la parte

afectada, es de suma importancia identificar el agente causal del acorazonamiento de cladodios a fin de aplicar medidas de prevención y control para evitar que afecte severamente las plantaciones de nopal tunero, verdura y forrajero.

3.4 OBJETIVO GENERAL

Identificar el agente causal del acorazonamiento de cladodios en sistemas productivos de nopal.

3.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la fluctuación poblacional de *Diabrotica undecimpunctata* en los municipios de Pinos y Villanueva, Zac.
- Caracterizar el tipo de daño que ocasiona *D. undecimpunctata* a cladodios de nopal de diferente edad.
- Simular el acorazonamiento por lesión física en la parte apical de cladodios de nopal de diferente edad.
- Identificar la presencia de fitoplasmas en cladodios sintomáticos y asintomáticos de nopal y su relación con el acorazonamiento.

3.6 HIPÓTESIS

El acorazonamiento de cladodios en nopal es provocado por un fitoplasma o por la asociación de insectos que se alimentan del ápice de la penca.

Lesiones físicas ocasionadas en la parte apical central de cladodios de nopal provoca acorazonamiento de la penca.

3.7 MARCO DE REFERENCIA

3.7.1 Insectos plaga que afectan el nopal

Existen diversos insectos fitófagos que afectan la producción de nopal y tuna, dentro de ellos resaltan los insectos que atacan el tallo conocidos como: el picudo barrenador (*Metamasius spionolae*) y el torito (*Moneilema spp.*). También están los que dañan las pencas que son: Gusano blanco (*Laniifera cyclades*), el picudo de la penca (*Gerstaeckeria spp.*), la chinche gris (*Chelinidea tabulata*), la mosca del nopal (*Dasiops benneti*), la escama del nopal (*Diaspis echinocacti*), la escama ostión del nopal (*Lepidoshaphes sp.*) (Mena y Rosas, 2004). Los insectos que dañan las pencas y los frutos son: el picudo de las espinas (*Cylindrocopturus biradiatus*), el gusano cebrá (*Melitara nephelepasa*), cochinilla o grana (*Dactylopius opuntiae*), trips (*Neohydatothrips opuntiae*), chinche roja (*Hesperolabops gelastops*), minador del nopal (*Marmara opuntiella*). Los que dañan los frutos son: Chinche del fruto (*Narnia spp.*), gusanos barrenadores (*Ozamia spp.*) (García-Herrera *et al.*, 2008).

3.7.2 Enfermedades que atacan al nopal

Las principales enfermedades que atacan al nopal son el “engrosamiento de cladodios” o “chatilla”, caracterizada por la brotación de frutos en las caras laterales de la penca y por el engrosamiento del nopal. Esta es la más importante ya que inhibe la brotación floral y vegetativa, además de que reduce el tamaño del fruto y de la penca (Méndez-Gallegos *et al.*, 2013). Se ha registrado en la mayoría de las zonas nopaleras, particularmente en los estados de Zacatecas, Hidalgo y Estado de México. Una enfermedad común es el “mal del oro”, caracterizada por la pérdida paulatina del color verde a un amarillo claro. También la “pudrición suave” cuyos síntomas son pencas suaves y viscosas, tornándose negras poco a poco. La “mancha negra” es muy común, este daño es una mancha en forma circular de 2 a 6 cm en las caras de las pencas, ocasionando pudrición y perforación en la zona afectada (García-Herrera *et al.*, 2008).

3.7.3 Hábitos alimenticios de *Diabrotica*

Es un insecto polífago, los adultos atacan muchas plantas cultivadas, en especial Cucurbitaceas (Ferguson *et al.*, 1985), pero también la planta del cacahuate, maíz, papa y otras legumbres como frijol. Se alimentan de las hojas y raíz, causando reducciones en el rendimiento de los frutos como

el melón (Pedersen y Godfrey, 2011). Cuando las flores están disponibles también suelen comerlas, prefiriendo las hojas de cucurbitáceas. Las larvas se alimentan de la raíz del maíz y cucurbitáceas. Están asociadas al escarabajo *Acalymma vittata* que se alimenta exactamente de los mismos hospederos (Carr and Eubanks, 2014).

3.7.4 Distribución geográfica de *Diabrotica*

Existen dos subespecies, *Diabrotica undecimpunctata undecimpunctata* y *Diabrotica undecimpunctata howardi*. La primera se distribuye en Estados Unidos y la segunda en el sur de Canada, Estados Unidos y México (Szalanski and Owens, 2003). En los estados de Guanajuato, Morelos, Michoacán y Querétaro. *D. balteata* se distribuye en México en Chiapas, Guanajuato, Jalisco, Michoacan, Nayarit, Queretaro, San Luís Potosí, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz (SANINET, 2004).

3.7.5 Biología y dispersión de *D. undecimpunctata*

Los adultos son voladores y pueden dispersarse rápidamente, viajando de cultivo a cultivo en verano. Pueden recorrer grandes distancias con ayuda del viento. Los adultos se activan durante la primavera y se alimentan de flores y hojas de cucurbitáceas y pueden volar cuando la temperatura alcanza los 21°C. Las hembras llegan a poner de 200 a 1200 huevos individualmente, preferentemente en suelos húmedos y arcillosos. Las larvas eclosionan después de 7 a 10 días y entran en las raíces de sus hospederos, alimentándose por dos a cuatro semanas y pasando por tres instares (Ruíz *et al.*, 2013). En el sur de Norteamérica necesitan de seis a nueve semanas para cumplir su ciclo de vida y hay dos o tres generaciones por año en regiones tropicales y subtropicales. En el norte de Norteamérica hay solo una generación por año ya que los adultos no logran sobrepasar el invierno, y vuelan hacia áreas más cálidas del sur. *D. undecimpunctata undecimpunctata* se diferencia de *Diabrotica undecimpunctata howardi* porque tiende a asociarse con hospedantes de plantas cucurbitáceas, mientras que esta última prefiere el maíz; por lo general, esta última hiberna en su estado larvario mientras que la primera o hace como adulto (Ruíz *et al.*, 2013).

3.7.6 Biología de *D. balteata*

Las hembras ovopositan de 68 a 100 huevos cerca de la raíz de sus hospederos. La incubación oscila de 5 a 10 días, dependiendo de la temperatura. Posteriormente pasa al estado larval en donde lleva tres instares de 4 a 15 días cada uno (SANINET, 2004). En el primer instar larval se alimenta de la raíz y es el momento más crítico ya que es devastador. Después pasa a la prepupa y a la pupa. Estas duran de 5 a 10 días en el suelo y entra en inactividad hasta la primavera. Finalmente se convierten en adultos. Viven en este estado de 60 a 70 días y su periodo de preoviposición es de 7 a 15 días.

3.7.7 Los fitoplasmas y su identificación por PCR

Los fitoplasmas están asociados con enfermedades en cientos de especies de plantas, dañando en muchas que son económicamente importantes, ya que son usadas en la alimentación; así mismo afectan plantas ornamentales y arboles maderables. Los fitoplasmas sobre el gen 16S rDNA pueden ser asociados con enfermedades induciendo síntomas y/o afectando diferentes especies de plantas (Bertaccini y Duduk, 2009). Una de las técnicas aplicadas para su identificación es la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) y PCR anidado (nested PCR) en ensayos para detectar la presencia de fitoplasmas y el uso de secuencias conservadas ha sido un gran avance en la detección, identificación y clasificación de fitoplasmas. Los ensayos de PCR usando primers específicos para fitoplasmas han confirmado la presencia de estos microorganismos en el ADN de células que son fuente de plantas con síntomas asociados (Bertaccini *et al.*, 2014). Así mismo mediante el análisis Fragmentos de Restricción de Longitud Polimorfica (RFLP por sus siglas en Ingles) y en secuenciación directa de amplicones seleccionados también se ha confirmado la presencia e identidad de los mismos. En los últimos años los fitoplasmas han sido descubiertos por su rápido incremento en la emergencia de enfermedades en el mundo y el gen 16S rDNA y estudios por análisis de RFLP y secuenciación ha producido detalladas imágenes de diversidad de fitoplasmas y de sus relaciones filogenéticas con otros procariotes (Lee *et al.*, 1998).

Los fitoplasmas han sido introducidos por insectos vectores durante la época de alimentación mediante sus elementos tubulares que succionan sistémicamente a través de las plantas (Bertaccini *et al.*, 2014). Siendo organismos que se alimentan de la savia del floema de las plantas infectadas y que transmiten el fitoplasma a individuos sanos.

3.8 MATERIALES Y MÉTODOS

Para clarificar la identidad del agente causal del acorazonamiento de nopal el estudio se abordó en varias etapas:

1) Determinación de la variación poblacional de *Diabrotica* presente en brotes nuevos; 2) detección de la alimentación de *Diabrotica* en cladodios tiernos de nopal; 3) simulación de una lesión física en la parte apical de cladodios tiernos; 4) análisis de cladodios tiernos sintomáticos mediante PCR para determinar presencia de fitoplasmas como agentes causales del acorazonamiento.

3.8.1 Fluctuación poblacional de *D. undecimpunctata* y *D. balteata* en plantaciones de nopal

La variación de la población de *Diabrotica* se evaluó en dos sistemas productivos (comunidad de la Victoria y las Pollas) de nopal tunero (variedad Rojo Pelón y Cristalina en Pinos, Zacatecas, de junio a noviembre de 2014) y dos huertas (H1 y H2) de nopal forrajero (cultivar Villanueva en Villanueva, Zacatecas) durante mayo a julio 2014 y de noviembre 2014 a febrero 2015, cabe mencionar que no se muestreó de agosto a octubre de 2014. Para ello se emplearon trampas amarillas pegajosas fijas (cuatro por parcela). Estas trampas son postes de 1 m de altura con papel amarillo bañado con BIOTAC® (0.036 m²) colocados cerca de plantas con brotes nuevos. Cada semana se recolectaron y reemplazaron las trampas. Se analizó la frecuencia de *D. undecimpunctata* y *D. balteata* durante los períodos señalados y se identificaron diferencias significativas.

3.8.2 Alimentación de *D. undecimpunctata* con nopal

La alimentación de *Diabrotica* con nopal se dividió en tres grupos, cada uno con tres repeticiones y un testigo (Figura 58). Se evaluó la presencia de brotes en las tres diferentes edades.

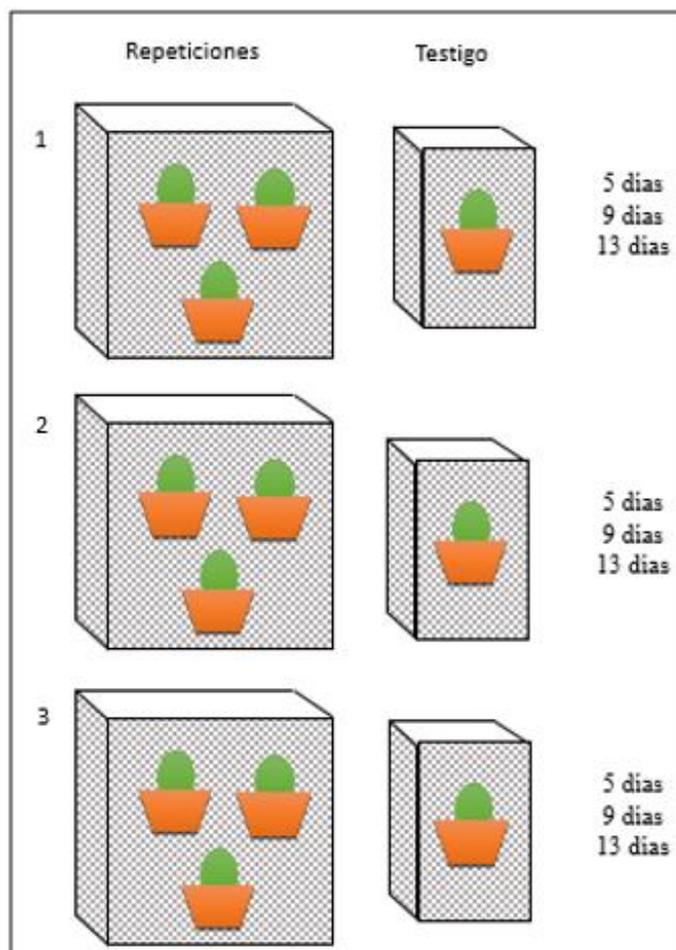


Figura 58. Distribución de los grupos experimentales.

El modelo estadístico analizado es de la forma:

Número de brotes con acorazonamiento = f (edad del nopal (5, 9 y 13 días), 3 repeticiones).

El número de acorazonamientos causado por Diabrotica se identificó a partir de pencas de nopal con diferente edad (5, 9 y 13 días) comparadas con pencas que no fueron dañadas con Diabrotica.

3.8.2.1 Preparación de pencas

Los cladodios de nopal (variedad Villanueva) se podaron con herramientas desinfectadas (hipoclorito de sodio al 6%) en cada corte para evitar la dispersión de posibles agentes patógenos. Los cladodios seleccionados estuvieron libres de plagas, enfermedades y daños físicos; antes de plantarlos se procedió a dejar cicatrizar la herida por un periodo de 15 días en el invernadero.

Posteriormente se plantaron en macetas con peat moss®, aplicando únicamente agua semanalmente.

3.8.2.2 Daño en cladodios de nopal por *D. undecimpunctata*

Cladodios de 5, 9 y 13 días de edad se colocaron en jaulas de estructura metálica cubiertas con malla de plástico de 1 mm de apertura (Figura 59). Dentro de cada jaula se liberaron seis individuos adultos de *D. undecimpunctata*, manteniéndolos ahí durante 15 días para evaluar los posibles daños que pudieran causar en los cladodios. Los insectos se sometieron a un ayuno de 24 h para incentivar el consumo de nopalito y verificar el daño causado. Se registraron las lesiones producidas, la edad de los cladodios lesionados y se monitoreó el avance progresivo de las lesiones.



Figura 59. Representación de las jaulas en donde se colocó el experimento con Diabrotica.

3.8.3 Simulación física de daño en cladodios bajo condiciones semicontroladas

Se colocó una penca por maceta y cuatro de ellas por jaula de simulación con brotes de diferente edad (5, 9 y 13 días). Estas se colocaron dentro de un invernadero para evitar el contacto con la lluvia y donde se desarrolló el daño físico simulado durante un tiempo determinado. El experimento se dividió en tres grupos, teniendo tres repeticiones y un testigo. En el ápice de cada cladodio se realizó una incisión con una aguja de disección buscando perforar la cutícula.

3.8.4 Simulación física de daño en cladodios en campo abierto

En cladodios elegidos al azar se realizó una incisión con una aguja de disección en la parte apical de los cladodios para perforar la cutícula, para simular una lesión física. Se consideraron 7 repeticiones y 3 testigos en edades de 4, 5 y 7 días. Se realizaron observaciones cada tres días durante dos semanas, registrando la fecha en que aparece la malformación, se midió la profundidad creciente del acorazonamiento, además del ancho ecuatorial y el largo del cladodio dañado.

3.8.5 Identificación de fitoplasmas en nopal (*Opuntia* sp.) mediante PCR y RFLP

La identificación de fitoplasmas en nopal forma parte de la segunda estrategia de búsqueda del agente causal del acorazonamiento de cladodios.

3.8.5.1 Colecta de muestras de nopal

Se colectaron en mayo (25-05-15) doce pencas acorazonadas y diez pencas sanas en una plantación de nopal en Villanueva, Zac. del cultivar Villanueva (Figura 60) Las muestras tenían entre 8 y 12 días de edad, y fueron podadas de pencas madre en estado sano.



Figura 60. Plantación de nopal en Villanueva, Zac, en donde se colectaron las pencas con síntomas de acorazonamiento y asintomáticas el día 25 de mayo de 2015.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Biología Molecular de Fitopatógenos del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Unidad Sinaloa del Instituto Politécnico Nacional (CIDIIR-IPN, www.ciidirsinaloa.ipn.mx).

Los cladodios fueron fotografiados e identificados utilizando la estructura de código (S-Mxa) que identifica el estado de salud (S= sano; A= acorazonado), la posición en el terreno muestreado (Mx= número de melga) y el número de repetición (a=1, b=2, c=3, d=4, e=5, f=6) (Figura 61, Cuadro 24).



Figura 61. Muestras de nopal sintomáticas y asintomáticas.

Cuadro 24. Clave de las muestras colectadas.

Clave	Sin deformación (asintomática)	Con deformación (sintomática)
S-M7b	X	
S-M9a	X	
S-M4c	X	
S-M5a	X	
S-M4a	X	
S-M4b	X	
S-M5b	X	

S-M3a	x	
S-M5c	x	
S-M7a	x	
A-M8a		x
A-M4e		x
A-M2b		x
A-M5a		x
A-M9a		x
A-M2a		x
A-M4d		x
A-M8b		x
A-M4f		x
A-M4c		x
A-M4b		x
A-M4a		x

3.8.5.2 Preparación de muestras

Los cladodios muestreados se mantuvieron a 4°C. A cada cladodio le fueron removidas las espinas, tomando una muestra de 1g de tejido de las areolas cercanas al ápice en el centro de la penca para la identificación de fitoplasmas (Figura 62).



Figura 62. Sitio de muestra de tejido fresco para extracción de ADN de nopal.

3.8.5.3 Extracción de ADN de nopal

Se extrajo el ADN de las 22 muestras. Se aplicó el protocolo de extracción CTAB (Zhang *et al.*, 1998) con algunas modificaciones: muestras de 1 g de tejido de los cladodios recolectados se incubaron durante 50 min adicionales en 800 mL de bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB) al 4% (Figura 63). Enseguida, las muestras se centrifugaron durante dos min y se adicionaron 100 μ L extras de cloroformo puro. La extracción se llevó a cabo en cuatro fases: en la primer fase se utilizó un buffer de CTAB que permite el rompimiento de las membranas celulares, en la fase 2 se agregó cloroformo para precipitar proteínas a través de centrifugación con la separación de la parte acuosa (ADN) y orgánica (proteínas y lípidos), esta última se desechó y al ADN se le agregó RNA'Sa para eliminar el ARN (ácido ribonucleico), se agregó cloroformo para precipitar los residuos de proteínas, ARN y lípidos, y se recuperó la parte acuosa (ADN). En la fase 3 se agregó isopropanol, que ayuda a que el ADN se concentre formando una pastilla que se lavó con etanol para eliminar residuos de buffer (CTAB y cloroformo), se centrifugó y se dejó evaporar el etanol; se recuperó la pastilla y se disolvió con agua destilada estéril y se conservó a 4°C. Este es el ADN extraído de nopal que fue utilizado para la identificación de fitoplasmas mediante PCR y RFLP.

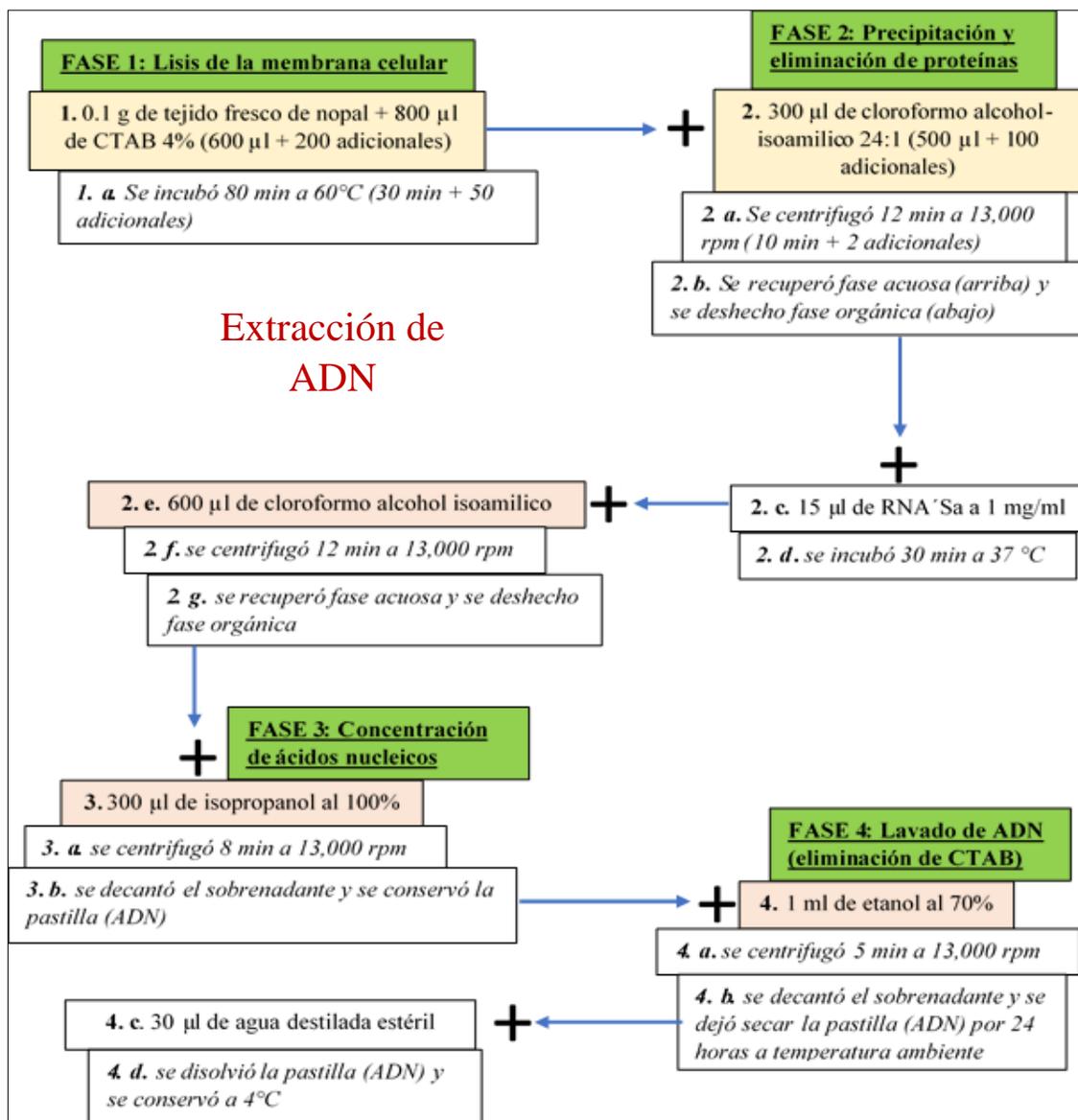


Figura 63. Procedimiento de la extracción de ADN de tejido fresco de 22 muestras de nopal.

3.8.5.4 Calidad del ADN de nopal

La calidad del ADN se midió a través de la concentración de ácidos nucleicos midiendo la absorbancia (longitud de onda de 260/280 nm) usando un espectrofotómetro (NanoDrop 2000c UV-Vis) con una muestra de 1.5 µL de ADN extraído (video de mecánica de medición en <https://www.youtube.com/watch?v=zyh5YqPyhJc>). Las muestras de concentración de ADN de 1.8 a 2.0 ng/µL son las de mayor calidad.

3.8.5.5 Integridad del ADN de nopal

La integridad del ADN se determinó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% teñido con bromuro de etidio y visualizado en un transluminador con rayos UV. Se depositó en cada orificio del gel una mezcla de 2 μ L de ADN con 8 μ L de colorante “G” (6:2), el gel se colocó en TAE 1X por tener una baja fuerza iónica y baja capacidad tamponante, necesaria para tiempos largos en electroforesis ya que da una resolución más apropiada para fragmentos de ADN de más de 10 kb. Se utilizaron 85 v y 300 amperes de electricidad durante 37 min. Finalmente, se seleccionaron las muestras que presentaron las mejores bandas definidas.

3.8.5.6 Purificación de muestras de ADN saturadas con RNA'Sa

Las muestras que presentaban una saturación fueron purificadas. Se realizaron las fases 2 y 4 del procedimiento de extracción de ADN pero con fenol-cloroformo, para precipitar las proteínas y RNA'Sa que hubieran quedaron; también, se lavó el ADN con etanol al 70% para eliminar el cloroformo residual (Figura 64). Posteriormente, se midió la concentración de ácidos nucleicos en el espectrofotómetro.

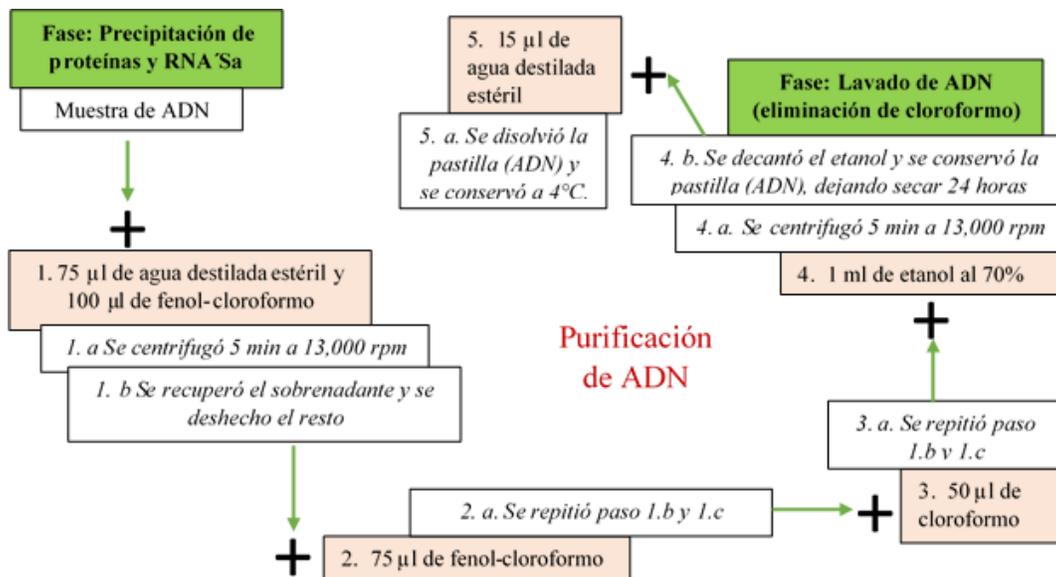


Figura 64. Procedimiento de purificación de ADN de nopal.

3.8.5.7 Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR)

Considerando las pruebas previas, se seleccionaron para esta fase solo las muestras que presentaron una calidad e integridad aceptable (14 muestras). De cada una de estas muestras se tomó una cantidad adecuada de ADN para diluirlo con agua bidestilada estéril para tener una concentración final de 20 ng/μL en un volumen de 20 μL. La cantidad de ADN se determinó mediante la fórmula:

$$C1*V1=C2*V2$$

Dónde: V1=volumen de ADN, V2=volumen final (20 μL), C1=concentración de la muestra de ADN purificado y C2=concentración final (20 ng).

3.8.5.8 PCR directa y anidada de ADN de nopal

La PCR permite hacer infinidad de copias de un fragmento de ADN, para lo cual se hizo una mixed (mezcla de buffer, dNTPs, MgCl₂, primers, Taq polimerasa) indicada en la Figura 9 y se agregó ADN extraído de nopal. Este proceso tiene tres etapas: 1. Desnaturalización; que consiste en separar la doble hebra del ADN, para tener dos hebras sencillas. 2. Hibridación o apareamiento. Los primers utilizados en la PCR directa son R16mF2 (5'CATGCAAGTCGAACGA-3') y R16mR1 (5'CTTAACCCCAATCATCGAC-3'). Estos se adhieren en la hélice sencilla en lugares específicos en dirección 5' y 3' por complementariedad de bases. 3. Extensión. Se amplifica la secuencia de nucleótidos por acción de la taq polimerasa sobre los primers, agregando dNTPs complementarios para crear las cadenas completas de ADN (Tamay *et al.*, 2013).

La prueba de PCR anidada incluye dos rondas de amplificación con distintos pares de cebadores para incrementar la sensibilidad y la especificidad de la detección (Figura 65). Primero se realiza una reacción con los cebadores externos para amplificar una región de ADN más extensa, que contiene el segmento diana (PCR directa). Después, este producto de amplificación se utilizó como molde de una segunda PCR (anidada) (Figura 9) con los cebadores internos para amplificar la región específica. Se utilizaron los primers R16F2n (5'GAA ACG ACT GCT AAG ACT GG-3') y R16mR2 (5' TGA CGG GCG GTG TGT ACA AAC CCC G-3'). La mixed de esta prueba se colocó en un termociclador permitiendo las tres etapas de la amplificación del ADN (desnaturalización, hibridación y extensión).

Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR)

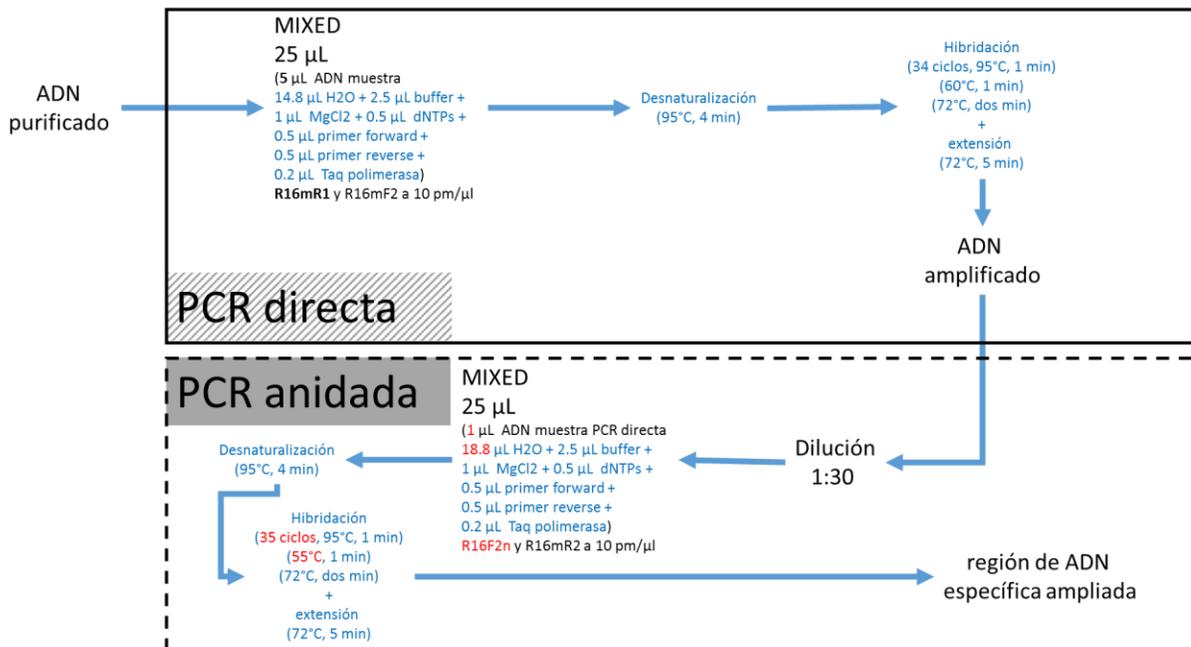


Figura 65. Reacción en cadena de la polimerasa (PCR) directa y anidada y fases de desnaturalización, hibridación y extensión.

3.8.5.9 Análisis de PCR en gel de agarosa

Se analizaron los productos de PCR directa y PCR anidada en Gel de agarosa al 1% teñido con bromuro de etidio. Cada muestra fue colocada en un almacén del gel, colocando una mezcla de 8 µL de producto de PCR más 2 µL de colorante “G”. Se corrió en electroforesis a 85 v y 300 amperes por 37 min. Se utilizó el marcador de peso molecular, el cual amplifica de 100 a 12,000 pares de bases (pb). Se colocó la cama de gel en un equipo fotográfico Molecular imager® Gel Doc™ XR+ Imaging System BIORAD. Se identificaron las muestras que resultaron positivas por concordancia de bandas con el control positivo. Se verificó que el control negativo (MIXED + agua) no diera positivo a fin de rechazar una posible contaminación en las muestras.

3.8.5.10 Fragmentos de Restricción de Longitud Polimorfica (RFLP) de muestras positivas de nopal

Se prosiguió a hacer una prueba RFLP con la finalidad de determinar el grupo al cual pertenecen los fitoplasmas detectados. Las muestras que resultaron positivas se sometieron a un proceso de restricción de fragmentos. Para ello se hizo la mixed con 5 µL de H₂O + 1.5 µL de Buffer 10_x y

0.5 μ L de enzima Kpn I + 8 μ L del producto de PCR anidada. Así mismo se utilizó la enzima Hinf I. Las muestras fueron colocadas en un termociclador a 37 °C, por dos horas. Se procedió a colocar todo el contenido de cada muestra más 5 μ L de colorante “G” en cada contenedor del gel de agarosa al 2%. Se corrió en electroforesis a 85 v y 300 amperes por 40 min. Se utilizó el marcador de peso molecular 1 kb. Se colocó la cama de gel en un equipo fotográfico y se observaron las bandas de ADN que fueron empleadas para identificar los grupos a que pertenecen los fitoplasmas detectados por comparación de bandas que amplifica cada enzima.

3.9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.9.1 Fluctuación poblacional de *D. undecimpunctata* y *D. balteata*

En la plantación de *O. xoconostle* de la Victoria, Pinos, Zac. Se observó que la especie de *D. undecimpunctata* es más abundante que *D. balteata*, ya que esta última solo fue detectada en una ocasión y con una frecuencia de 1. Las más altas poblaciones de *D. undecimpunctata* se registraron a finales del mes de julio, mediados de septiembre y finales de noviembre, sin embargo está presente de julio a noviembre (Figura 66). Cabe mencionar que no se muestreo del 01 al 21 de agosto, ni del 11 al 26 de septiembre.

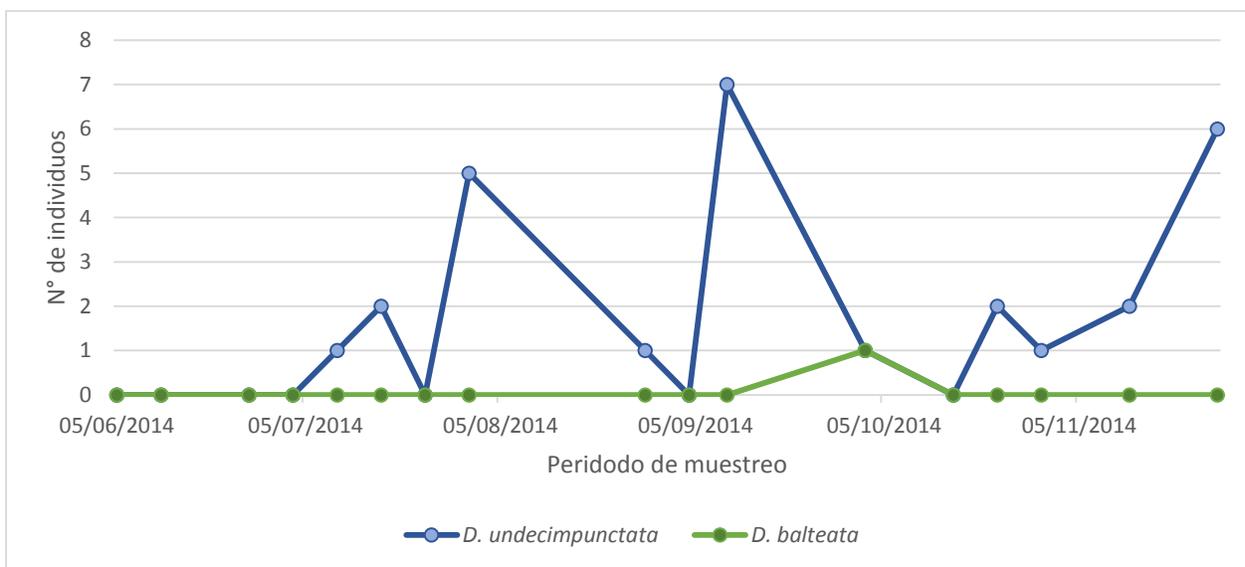


Figura 66. Fluctuación poblacional de *D. undecimpunctata* y *D. balteata* en una plantación comercial de nopal tunero (*O. xoconostle*) en La victoria en Pinos, Zac.

En la Figura 67 se observa que la población de *D. undecimpunctata* fue más abundante que *D. balteata*, y está presente de finales de julio a mediados de noviembre en las Pollas, en Pinos, Zac. (cultivar Cristalina), a finales de octubre se registró la mayor abundancia y a inicios de septiembre la menor. No se muestreo del 01 al 21 de agosto, ni del 11 al 25 de septiembre. *D. balteata* solo se registró a finales de octubre con una frecuencia de 1.

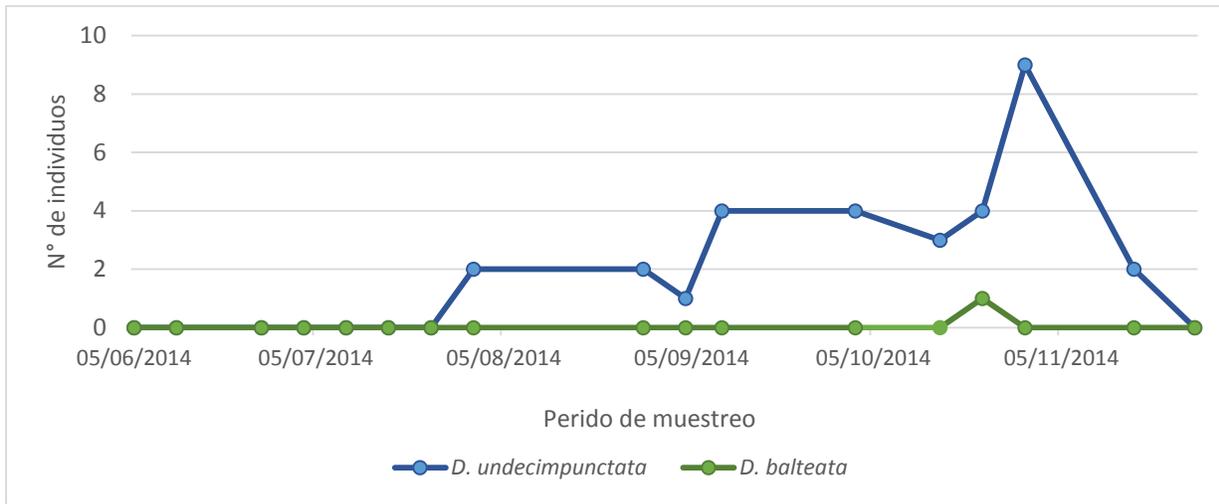


Figura 67. Fluctuación poblacional de *D. undecimpunctata* y *D. balteata* en una plantación comercial de nopal tunero (var. Cristalina) en Las pollas en Pinos, Zac.

En Villanueva, Zac. en una plantación (H1) con *O. ficus-indica* cv. Villanueva, se observó una mayor abundancia de individuos de la especie *D. balteata* en los meses de julio, noviembre, diciembre de 2014, así como enero de 2015 (Figura 68). A finales de julio y finales de noviembre de ese mismo año se registró una abundancia de 26 a 28 individuos, lo cual indica que son meses favorables para la presencia de esta especie. Así mismo, *D. undecimpunctata* presentó una mayor incidencia a finales de julio, y fue superior en mayo y julio de 2015, siendo las únicas fechas de muestreo en estos meses. Cabe mencionar que no se muestreó de agosto a octubre de 2014.

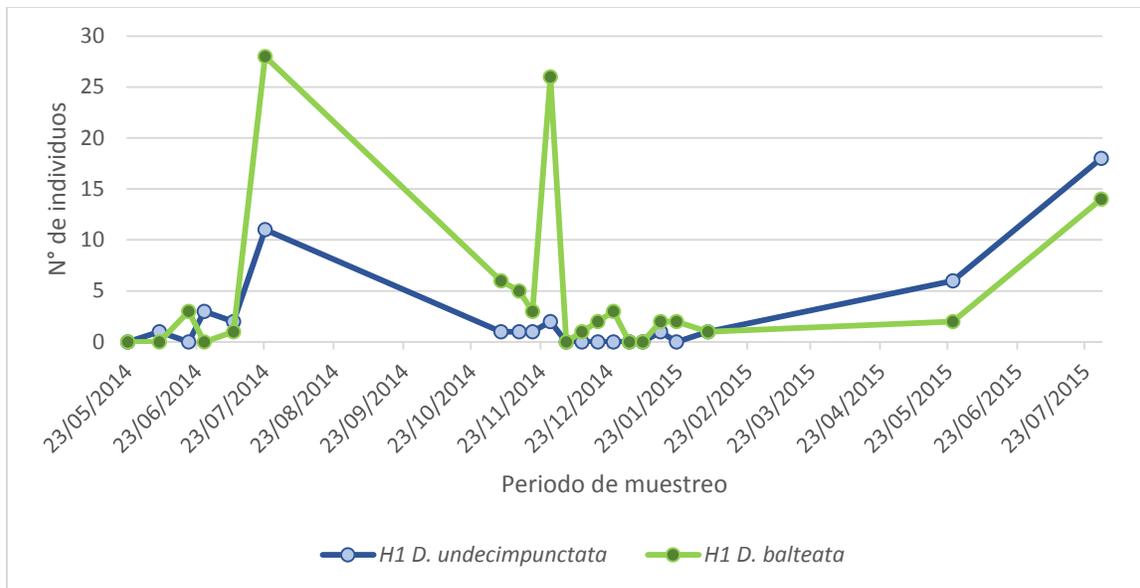


Figura 68. Fluctuación poblacional de *D. undecimpunctata* y *D. balteata* en una plantación comercial (H1) de nopal (cv. Villanueva) en Villanueva, Zac.

D. balteata fue más abundante que *D. undecimpunctata*, registrando una alta población a finales de julio con 12 insectos y finales de noviembre con 18 individuos. También fue superior de mediados de noviembre de 2014 a principios de enero de 2015. *D.undecimpunctata*, tuvo su mayor población a finales de julio de 2014 con 5 individuos y a finales de enero de 2015 con 9 (Figura 69). No sé muestreó de agosto a octubre de 2014. De acuerdo al análisis de la fluctuación poblacional de ambas especies en ambos sitios de muestreo se deduce que *D. balteata* es una especie que se encuentra en mayor abundancia en zonas como lo es Villanueva, Zac. y que su presencia es casi nula en Pinos, Zac, lo cual es contrario a *D. undecimpunctata*. Así mismo, julio y noviembre son los meses de mayor abundancia. Esta última especie está presente de julio a noviembre en Pinos, Zac. Sus poblaciones responden a la temperatura, disponibilidad de alimento y refugio.

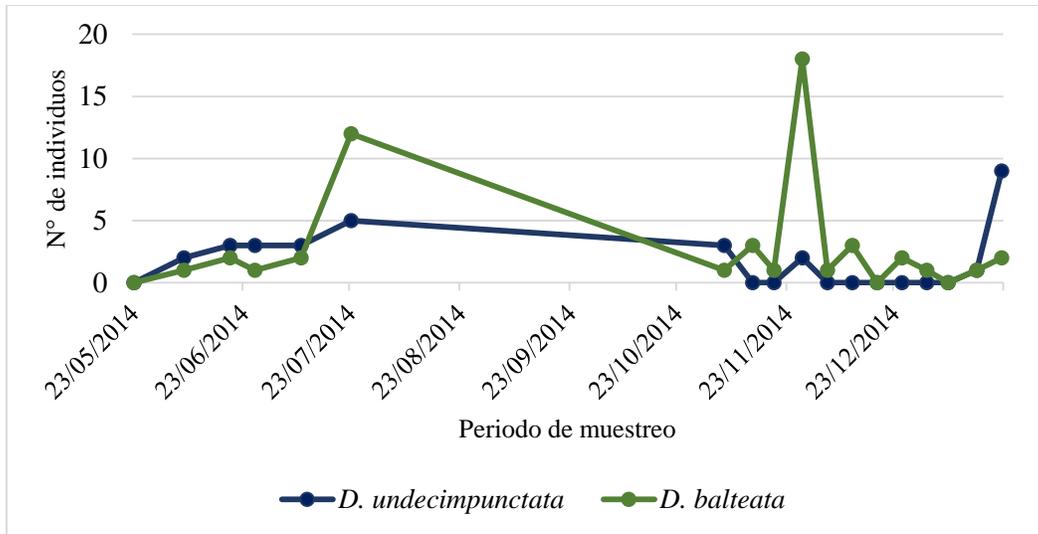


Figura 69. Fluctuación poblacional de *D. undecimpunctata* y *D. balteata* en una plantación comercial (H2) de nopal (cv. Villanueva) en Villanueva, Zac.

Las poblaciones de *D. undecimpunctata* declinan cuando la temperatura es alta y las precipitaciones bajas (Martínez-Jaime *et al.*, 2014) debido a que la sequía no permite la eclosión de los huevos. Además, su distribución y abundancia se da en el campo cuando existen altos niveles de polen en las flores, con fuertes preferencias alimenticias por el polen de *Cucurbitacea máxima* (Andersen and Metcalf, 1987). Cabe mencionar que en las zonas de estudio estaban presentes plantas pertenecientes al género de las cucúrbitas y en julio se encontraban en floración. *Diabrotica* responde al aroma de flores de cucurbitáceas como *C. pepo* y *C. foetidissima*., atraídos por sus multicomponentes volátiles (Metcalf *et al.*, 1998). Por otro lado, los adultos de *D. u howardi* prefieren el pasto *Panicum virgatum* como hábitat de protección (Prasifka *et al.*, 2013), el cual también estaba presente en las zonas de estudio. Los insectos de *D. undecimpunctata* y *Acalymma vittata* se encontraron siempre juntos, corroborando a otros autores (Ferrari *et al.* 2007) y Carr y Eubanks 2014). Ellos son atraídos por constituyentes volátiles de *C. pepo*, siendo especies que se alimentan de los mismos hospederos, por lo que siempre se les observó juntos. *D. balteata* ha sido encontrada en flores de *Argemone albiflora* y *C. foetidissima* (Hesler, 1998), *Argemone* estaba presente en Villanueva, Zac. por lo que quizá fue más abundante en esta área. De acuerdo con Campbell y Meinke (2006), el tipo de hábitat y la fenología de las plantas pueden ser factores que influyen en el uso de este insecto en áreas cultivadas y no cultivadas.

La subespecie *D. u. howardi* es selectiva y su movimiento responde al tamaño y calidad de la planta hospedera causados por la fertilización (Lawrence and Bach, 1989). Además fue más

propensa a volar hacia los manchones de vegetación que no fueron fertilizados. La subespecie *D. u. undecimpunctata* muestra una alta emigración hacia las orillas de las parcelas (Pisani *et al.*, 2013). Estas especies responden a la disponibilidad de alimento, refugio, temperatura y humedad, siendo factores importantes para cada fase de su desarrollo, por lo que es necesario mantener libre de malezas las plantaciones.

3.9.2 Daños en cladodios ocasionados por *D. undecimpunctata*

No existen diferencias estadísticamente significativas en los daños ocasionados a cladodios de diferentes edades por *D. undecimpunctata*, ya que se alimentó indistintamente de todas las pencas y el daño fue más evidente en las pencas de edad dos (Figura 70).

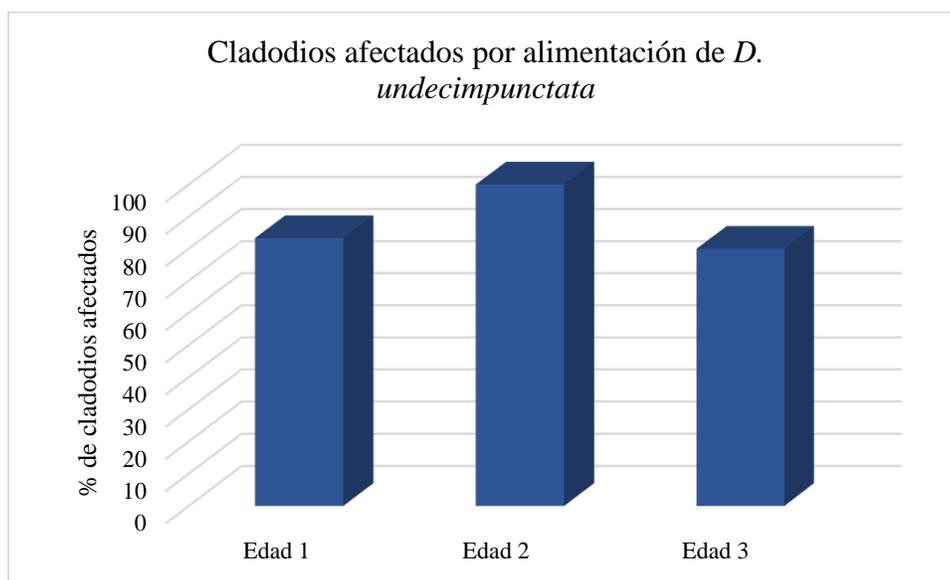


Figura 70. Cladodios afectados por la alimentación de *D. undecimpunctata*.

Los insectos de *D. undecimpunctata* (Figura 71-B) se alimentaron de los cladodios en las tres edades causando lesiones distribuidas en las caras de las pencas (Figura 71-A) a los tres días del experimento. El tipo de lesión en primera instancia se presenta en forma de un círculo de unos 5 mm de diámetro, observándose que traspasó desde la cutícula y la epidermis hasta el tejido esponjoso, ya que se alcanza a ver la cutícula de la cara opuesta del cladodio y el traspaso de luz (Figura 71-C y D). La lesión en segunda instancia es la creación de una forma irregular en la cara del cladodio ya que sigue alimentándose, la cual al secarse forma una cicatriz blanquecina, rígida y áspera (Figura 71-E). Los insectos se siguieron alimentando hasta los 9 días, cuando la mayoría

de ellos murieron, quedando solo un ejemplar, el cual siguió alimentándose de pencas que tenían 20 y 24 días de edad. De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que esta especie de insecto se alimenta de brotes de nopal menores a un mes de edad. Cabe mencionar que se realizó el mismo experimento con la especie *D. balteata*; sin embargo no se obtuvieron resultados debido a que los insectos murieron a los dos días de colocar el experimento, a excepción de un individuo, el cual se alimentó hasta los 7 días de una de las caras del cladodio en edad 3 (13 días). Ambas especies se alimentan del nopal y provocan el mismo tipo de lesión, y es posible que lo utilicen como hospedante alternativo cuando hay escases de su alimento esencial que son las cucurbitáceas, pero no causan síntomas de acorazonamiento ni malformación de los cladodios.

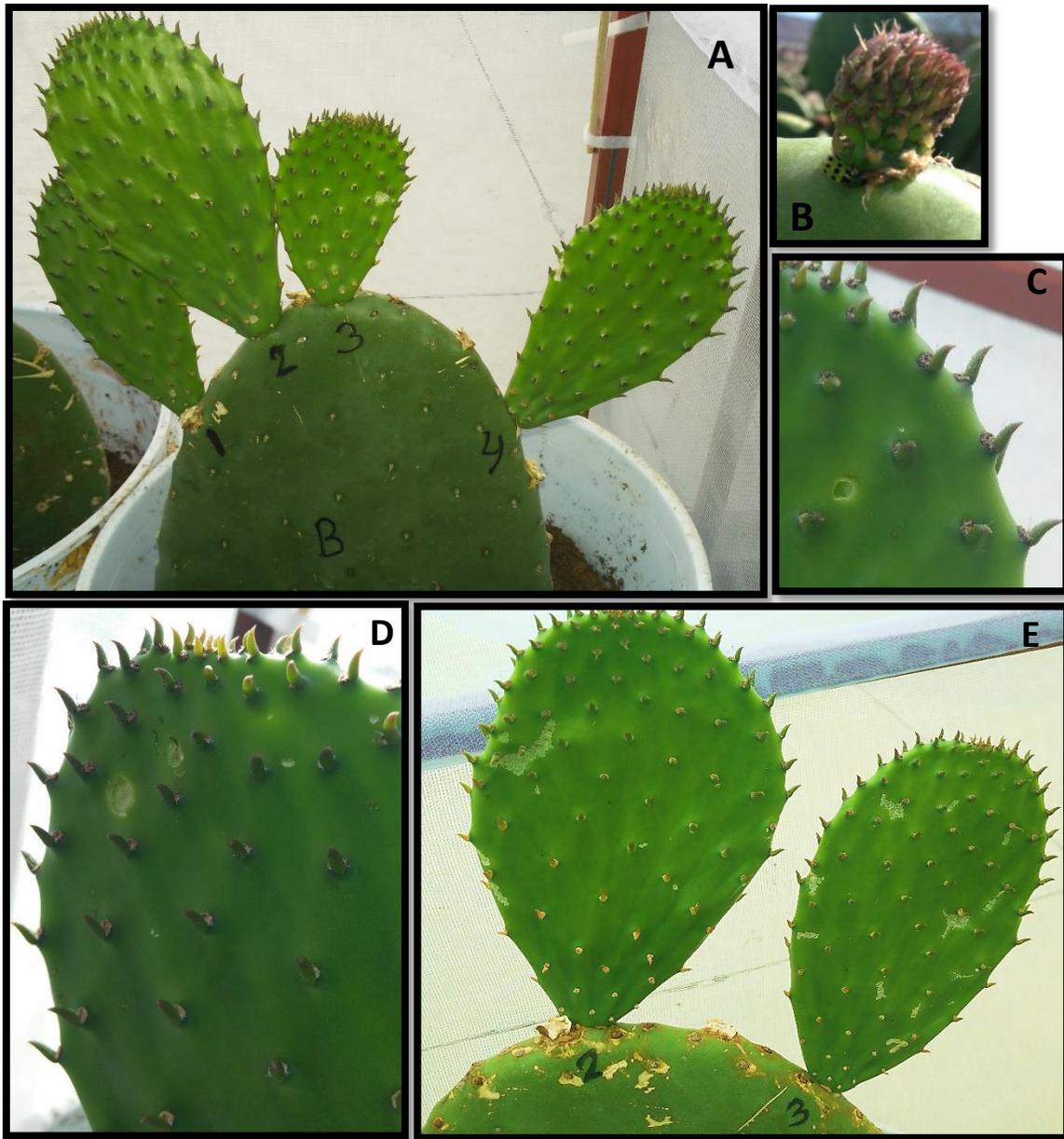


Figura 71. Daños ocasionados por *D. undecimpunctata* en cladodios de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva, provenientes de Villanueva, Zac. A: brotes dañados de diferentes edades, B: *D. undecimpunctata* alimentándose de un brote pequeño. C y D: Daño fresco por la alimentación de *D. undecimpunctata*, E: cicatrización del tejido dañado por *D. undecimpunctata*.

D. undecimpunctata y *D. Balteata* son especies con hábitos polípagos por lo que son consideradas especies generalistas ya que se alimentan de un amplio rango de hospederos vegetales (Branson and Krysan, 1981; Ferguson *et al.*, 1985). *D. undecimpunctata* es uno de los crisomélidos con el mayor rango de plantas hospederas (33 especies) (Graham *et al.*, 2012). Además de ser insectos multivoltinos que se alimentan de cucurbitáceas principalmente.

Las características bioquímicas de los cactus provoca el desarrollo de enfermedades debido a la gran cantidad de humedad y altas concentraciones de azúcares en su tejido. Esto provee un ambiente ideal que atrae a los insectos por los exudados dulces, lo que conlleva a la transmisión de hongos, bacterias y otros patógenos hacia plantas sanas (Nerd and Nobel, 1991; Berry and Nobel, 1985). Cabe mencionar que a pesar de que las Diabroticas no producen el acorazonamiento, son vectores de virus y bacterias como *Erwinia*. La subespecie *D. u. howardi* es un crisomélido transmisor de bromovirus como el virus moteado clorótico y un híbrido del virus del mosaico del pepino (Mello *et al.*, 2010). Este aspecto es vital a considerar dado que es una especie en la que se debe tener control para evitar la transmisión de virus de importancia hacia plantas de nopal. Debido a que en las plantaciones muestreadas estaban presentes especies de Cucurbitáceas y Argemone que son el alimento preferente de Diabrotica, se hace necesaria la remoción de malezas antes de que la temperatura incremente y la lluvia aparezca.

Se registró el tamaño de los cladodios al inicio y final del experimento (Cuadro 25), duro 25 días en total. El tamaño incremento al menos el doble del inicial en todos los cladodios, tanto en longitud como en ancho.

Cuadro 25. Longitud y ancho ecuatorial de cladodios bajo experimento con *D. undecimpunctata*.

Edad	Longitud inicial (mínimo-máximo)	Longitud final (mínimo -máximo)	Ancho inicial (mínimo -máximo)	Ancho final (mínimo -máximo)
1	4-4.8 cm	13.8-16.2 cm	1.9-3 cm	5.7-9.9 cm
2	6.5-7.2 cm	15.3-20.3 cm	3.3-4.3 cm	8.1-11 cm
3	9.2-10.7 cm	18.5-21.2 cm	5.1-6.7 cm	9.9-12 cm

3.9.3 Acorazonamiento de cladodios por simulación de daño físico bajo condiciones semicontroladas de invernadero

No hubo diferencias estadísticamente significativas de acorazonamiento por edad de cladodios, sin embargo fue más representativo el daño en cladodios de 5 y 9 días de edad. El 75% de los cladodios en estas edades y el 33% de los cladodios en edad de 13 días fueron afectados y presentaron una forma de corazón a los 7 días de haber realizado la lesión en la parte apical (Figura 72). Los cladodios alcanzaron una longitud máxima de 14.5 cm y mínima de 8.3 cm en la edad 1, en la edad

2 fue de 16.8 cm y 13.9 cm, y en la edad 3 de 19.8 cm y 14.5 cm. Respecto al ancho ecuatorial que alcanzaron los cladodios fue de 11.2 el máximo y 5.4 el mínimo. La profundidad del acorazonamiento estuvo entre los 0.4 y 1.6 cm.

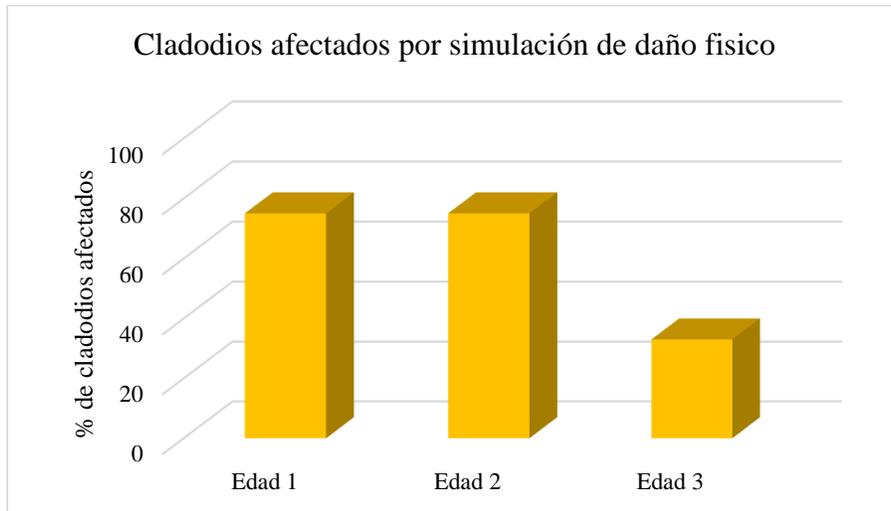


Figura 72. Cladodios con síntomas de acorazonamiento por simulación física de daño.

3.9.4 Acorazonamiento de cladodios por simulación de daño físico en condiciones naturales

No existen diferencias estadísticamente significativas entre las edades de cladodios que se acorazonaron, siendo las tres edades estudiadas susceptibles de acorazonarse después de sufrir una lesión en la parte apical. Entre el 70 y 86% de los cladodios se acorazonaron (Figura 73), aunque este fue más evidente en la edad tres y se presentó a los tres días de realizar la punción, lo contrario de las edades uno y dos que fue a los 6 días.

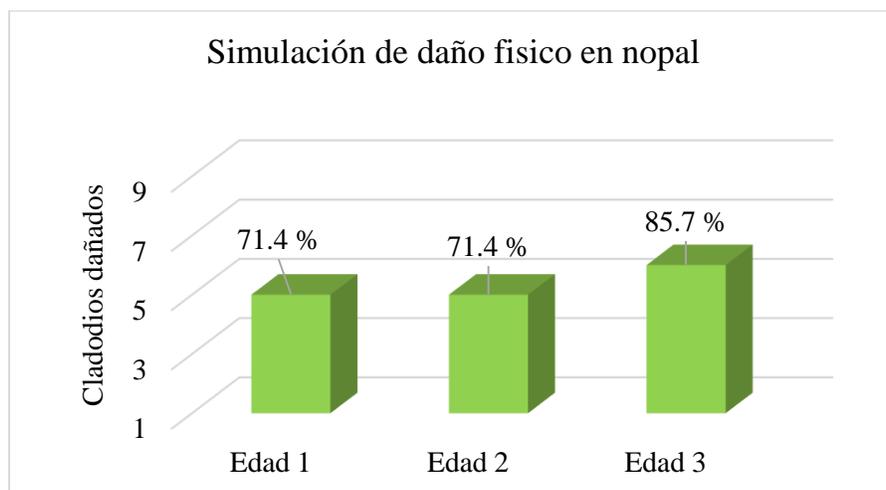


Figura 73. Cladodios de distinta edad acorazonados por simulación física de daño en condiciones naturales.

El experimento tuvo una duración de 29 días. Los cladodios alcanzaron una longitud máxima de 25.5 cm y mínima de 12.3 cm, el ancho ecuatorial fue de 16 cm la máxima y 7.6 cm la mínima. La profundidad del acorazonamiento se incrementó conforme crecían los cladodios, siendo que al término del experimento las pencas en edad 1 (8 días) presentaron una profundidad mínima 7.2 cm y máxima 9.4 cm. En la edad 2 (11 días), la profundidad mínima fue de 1.2 cm y máxima de 7 cm, en la edad 3 (13 días) fue de 1.6 cm la mínima y 5.3 cm la máxima. Por tanto, en las edades 2 y 3 hubo cladodios que tuvieron una severidad muy baja de acorazonamiento y otros una severidad muy alta, lo que refleja la capacidad que tiene cada individuo de resistir ante una lesión.

Al comparar los resultados de la simulación en cladodios bajo condiciones de invernadero y en condiciones de campo se observó que la profundidad del acorazonamiento en el primer experimento (invernadero) fue de 0.4 y 1.6 cm, siendo muy bajo comparado con lo registrado en el experimento de la lesión externa en donde se obtuvo un máximo de profundidad de 9.4 cm. Por lo cual se deduce que los cladodios que están bajo condiciones de invernadero son más resistentes al acorazonamiento ocasionado por una lesión en la parte apical o a que en condiciones naturales la lesión se agranda por efecto de los cambios en la temperatura y humedad.

3.9.5 Identificación de fitoplasmas en nopal

3.9.5.1 Extracción y calidad de ADN

Se realizó la extracción de ADN del tejido fresco de 22 muestras de nopal (10 asintomáticas y 12 sintomáticas) por medio de CTAB 4%. De estas muestras se obtuvo la concentración de ácidos nucleicos (Cuadro 26) y se eligieron solo 14 muestras ya que son las que tuvieron una mejor integridad de ADN (Figura 74); sin embargo, la calidad de las muestras estuvo por debajo del rango óptimo (1.8 -2.0), siendo solo dos muestras S-M7b (asintomática) y A-M4f (sintomática) las de mejor calidad (Figura 74).

Cuadro 26. Concentración de ácidos nucleicos (A.N) a 260/280 nm de ADN purificado.

<i>Muestra</i>	<i>A.N (ng/μl).</i>	<i>260/280</i>
<i>S-M7b</i>	556.5	1.87
<i>S-M9a</i>	971.0	1.62
<i>S-M4c</i>	196.2	1.55
<i>S-M5a</i>	44.0	1.58

<i>S-M4a</i>	51.9	1.51
<i>S-M4b</i>	967.1	1.61
<i>S-M5b</i>	1362.8	1.64
<i>S-M3a</i>	20.2	1.52
<i>S-M5c</i>	1064.6	1.66
<i>S-M7a</i>	51.2	1.57
<i>A-M8a</i>	1022.3	1.62
<i>A-M4e</i>	1126.3	1.63
<i>A-M2b</i>	21.5	1.47
<i>A-M5a</i>	115.0	1.47
<i>A-M2a</i>	285.9	1.61
<i>A-M9a</i>	242.0	1.55
<i>A-M4d</i>	112.0	1.53
<i>A-M8b</i>	128.7	1.46
<i>A-M4f</i>	1678.0	1.77
<i>A-M4c</i>	459.5	1.64
<i>A-M4b</i>	299.2	1.55
<i>A-M4a</i>	212.9	1.55

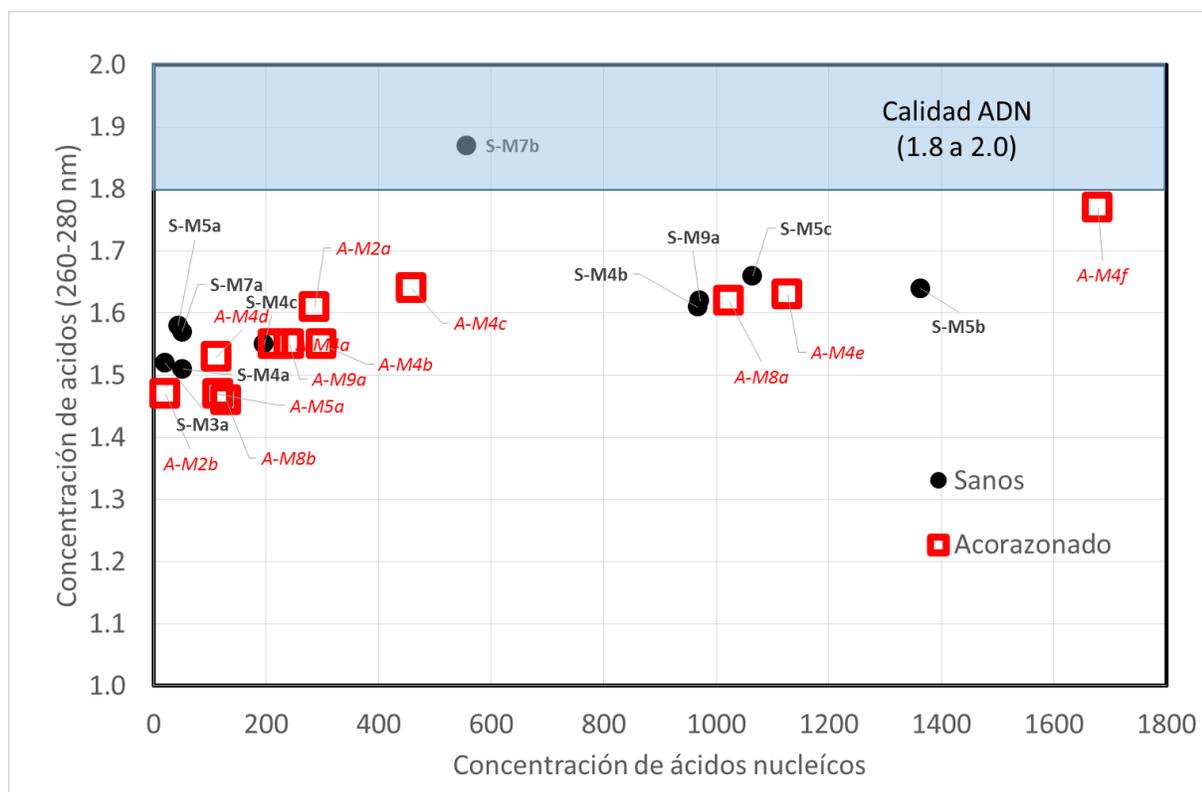


Figura 74. Calidad de ácidos nucleicos a 260/280 nm de ADN purificado.

3.9.5.2 Integridad de ADN purificado

En la Figura 75 se representan las bandas del ADN purificado de muestras sintomáticas (A=acorazonado) y asintomáticas (S= sano) que fueron corridas en gel de agarosa, teniendo como resultado 14 bandas con una mejor integridad ya que se distingue claramente la presencia de ADN. La calidad de estas muestras permitirá la amplificación de los ácidos nucleicos en la prueba de PCR. Los códigos en color rojo son las muestras que fueron elegidas por su mejor integridad (banda bien definida).

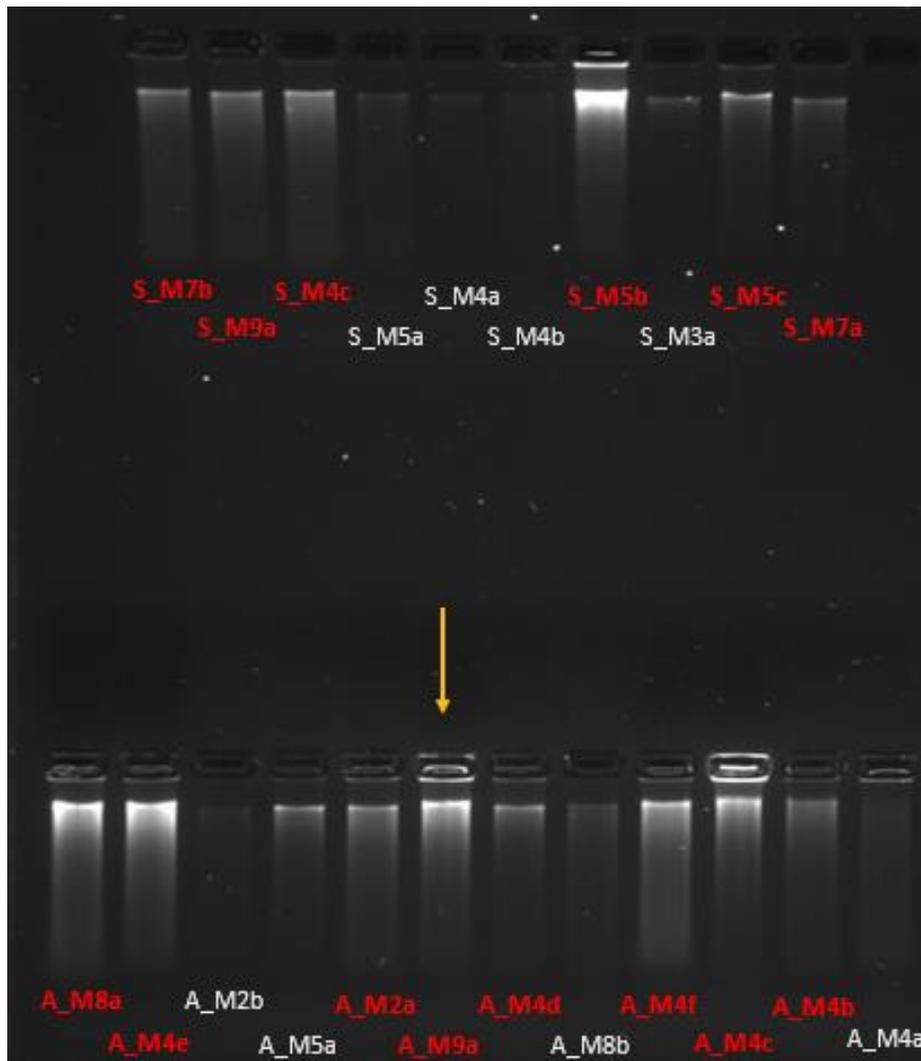


Figura 75. Análisis en gel de agarosa de ADN purificado obtenido de tejido fresco de nopal. Código de muestras: S= sano, A= acorazonado, M= melga-número (M2), la letra minúscula indica el número de repetición (a=1, b=2, c=3, d=4, e=5, f=6). Las muestras en color rojo son las que se eligieron para realizar el PCR y la flecha amarilla indica la muestra q resulto positiva.

3.9.5.3 PCR directa de nopal

Se eligieron 14 muestras para la realización del PCR (seis provenientes de cladodios sanos y ocho de acorazonados), ya que fueron las que presentaron una integridad adecuada de ADN y solo dos de ellas (S-M7b y A-M4f) con buena calidad. Las muestras elegidas son sanas: S-M7b, S-M9a, S-M4c, S-M5b, S-M5c, S-M7a, y acorazonadas A-M8a, A-M4e, A-M2a, A-M9a, A-M4d, A-M4f, A-M4c y A-M4b.

En la Figura 76 se presenta el resultado de la amplificación de ADN, con un marcador de peso molecular de 100 a 12,000 pares de bases. La prueba se realizó correctamente ya que la amplificación es observada en todas las bandas, teniendo como punto de comparación el control negativo y el control positivo.

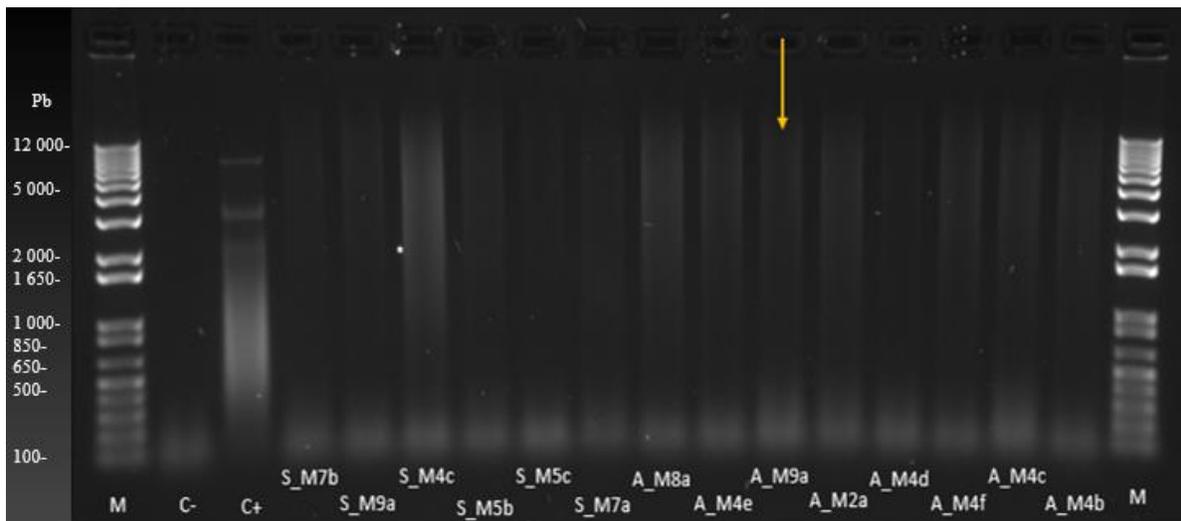


Figura 76. Amplificación de ADN purificado extraído de tejido fresco de nopal. M= marcador de peso molecular, C-= control negativo y C+= control positivo. Código de muestras: S= sano, A= acorazonado, M= melga-número (M2), la letra minúscula indica el número de repetición (a=1, b=2, c=3, d=4, e=5, f=6).

3.9.5.4 PCR anidada de nopal

Una vez realizado el PCR directo se amplificó el ADN por PCR anidada para hacer una búsqueda más específica en la cadena de pares de bases. En la Figura 77 se observa la coincidencia de las bandas entre una de las muestras y el control positivo, lo que indica que esa muestra (A_M9a)

contiene un fitoplasma que se encuentra entre los 1000 y 1650 pares de bases (Figura 77). Se observa claramente la presencia de ADN de un fitoplasma.

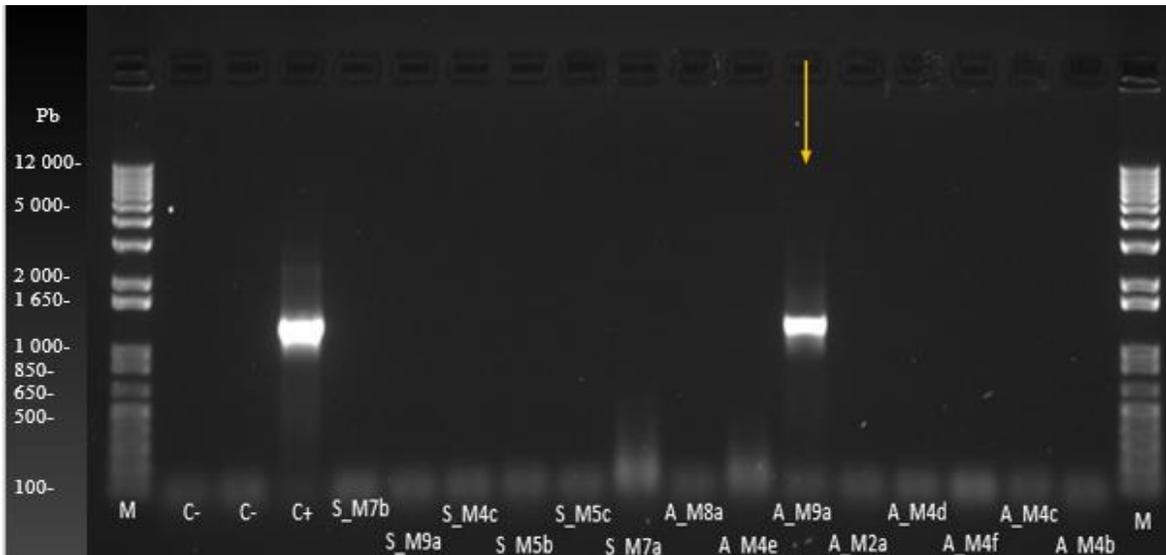


Figura 77. Amplificación anidada de ADN purificado extraído de tejido fresco de nopal. M= marcador de peso molecular, C-= control negativo y C+= control positivo. Código de muestras: S= sano, A= acorazonado, M= melga-número (M2), la letra minúscula indica el número de repetición (a=1, b=2, c=3, d=4, e=5, f=6).

3.9.5.5 PCR directo de nopal

En la Figura 78 se presenta una repetición de la amplificación de ADN de cuatro muestras, indicando una prueba correcta, ya que se observa la amplificación del control positivo, además de que el control negativo fue limpio al no presentar bandas que coincidieran con el control negativo.

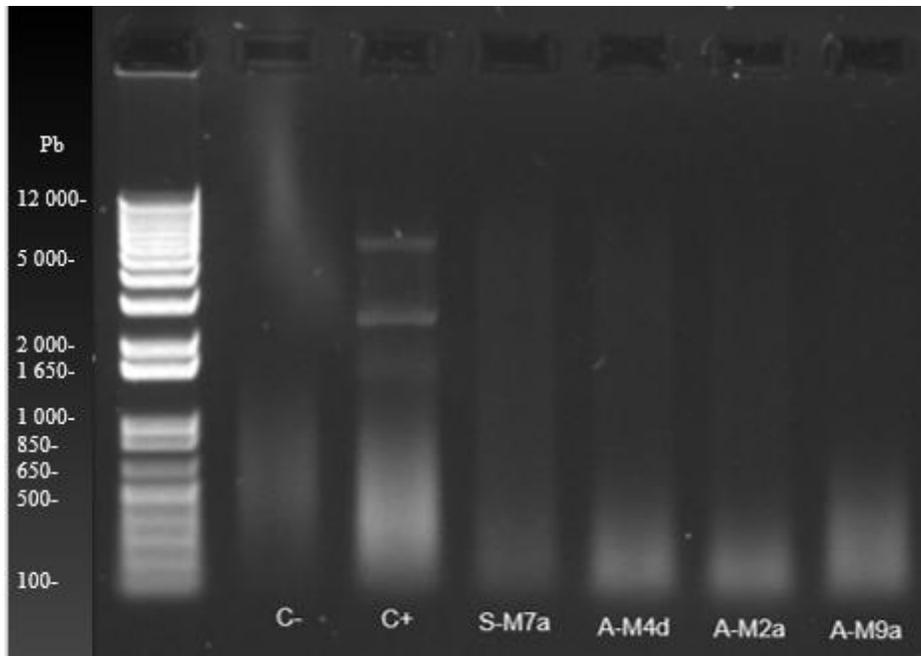


Figura 78. Amplificación de ADN de nopal. C-= control negativo y C+= control positivo. Código de muestras: S= sano, A= acorazonado, M= melga-número (M2), la letra minúscula indica el número de repetición (a=1, b=2, c=3, d=4, e=5, f=6).

3.9.5.6 PCR anidado de nopal

Se realizó un PCR anidado para amplificar ADN de un fragmento específico de pares de bases para la detección de fitoplasmas. En la Figura 80 se observa claramente en la parte superior e inferior la coincidencia de bandas en tres de las muestras con el control positivo, lo cual nos indica la presencia de fitoplasmas. Así mismo, fue una prueba correcta ya que los controles negativos no están contaminados. Tres de las catorce muestras que fueron amplificadas resultaron positivas, siendo dos sintomáticas y una asintomática. El 16% de las muestras sintomáticas fueron positivas, por tanto aunque existe la presencia de fitoplasmas en muestras acorazonadas es posible que esta no sea la causa de dicho síntoma, ya que también fue encontrado en muestras sanas.

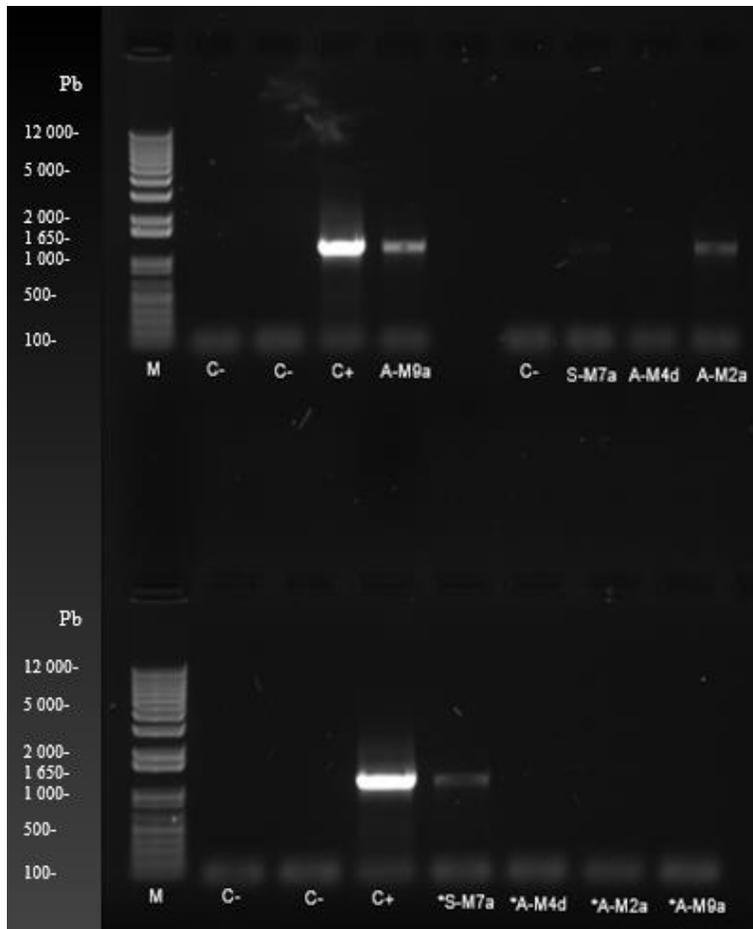


Figura 79. Amplificación anidada de ADN de nopal. M= marcador de peso molecular, C-= control negativo y C+= control positivo. Código de muestras: S= sano, A= acorazonado, M= melga-número (M2), la letra minúscula indica el número de repetición (a=1, b=2, c=3, d=4, e=5, f=6).

3.9.5.7 Análisis RFLP de ADN de nopal

Se realizó un RFLP para identificar a que grupo pertenecen los fitoplasmas encontrados en las muestras que fueron positivas, lo cual dio resultados de la presencia de fitoplasmas que se encuentran en tres grupos distintos 16SrI, 16SrII y 16SrIII. Lo anterior se determinó por la comparación en la amplificación de bandas que fueron restringidas por el uso de dos enzimas Hinf I y Kpn I (Figura 81).

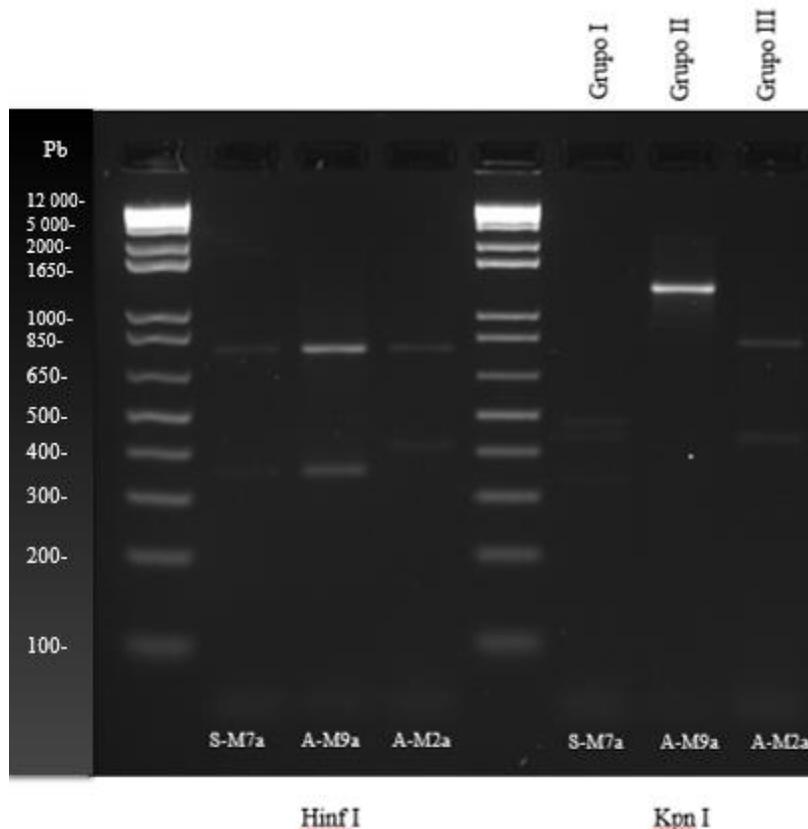


Figura 80. Digestión de ADN de muestras positivas de nopal con enzimas de restricción. Muestras amplificadas con las enzimas Hinf I y Kpn I. Código de muestras: S= sano, A= acorazonado, M= melga-número (M2), la letra minúscula indica el número de repetición (a=1, b=2, c=3, d=4, e=5, f=6).

Cai *et al.* (2008) y Zheng-Nan *et al.* (2012), identificaron fitoplasmas del subgrupo 16SrII en especies de *Opuntia* con síntomas de proliferación de yemas conocido como “witches’-broom”. Reveles- Torres *et al.*, (2014) mencionan que la diversidad de cepas del grupo II puede ser explicado en la transmisión por diferentes especies que fungen como vectores, además que la coexistencia de cepas en una misma zona geográfica puede favorecer la interacción entre fitoplasma-hospedero e insecto vector, lo que incrementa la emergencia de nuevas enfermedades de plantas. Choueiri *et al.* (2005) identificaron fitoplasmas pertenecientes al mismo subgrupo en *Opuntia monacantha* en Lebanon, con síntomas de proliferación de brotes. Así mismo, Salar *et al.* (2007) encontraron fitoplasmas del grupo 16SrII asociado a la proliferación de yemas en cactus ornamentales; las cepas encontradas son diferentes a las registradas como europeas y se desconoce si la transmisión fue local pero es posible que sean de material importado. También ha sido

detectado en cactus ornamentales en México (Aviña-Padilla *et al.*, 2009), pero es un fitoplasma diferente al que causa el mosaico en nopal. Los mismos autores adjudican la presencia de este grupo de fitoplasmas en México por la importación de cactus ornamentales desde Asia, lugar donde se ha reportado ampliamente este grupo. Por lo que es posible considerar que los cactus ornamentales pueden ser un riesgo para la dispersión de enfermedades en cultivos agrícolas.

Aunque Zheng-Nan *et al.* (2012), mencionan que este grupo de fitoplasmas se presentan principalmente en zonas tropicales y subtropicales, sin embargo, en el presente estudio fue encontrado en áreas con clima semiseco. Hernández-Pérez *et al.* (2009) señalan fitoplasmas del mismo grupo (16SrII) en *Opuntia Ficus-indica* en San Martín de las Pirámides, Estado de México con síntomas de amarillamiento, engrosamiento y deformación de cladodios, también observaron pencas produciendo brotes en forma de corazón. No solo los fitoplasmas están asociados a estos síntomas, ya que Suaste-Dzul *et al.* (2012a), encontraron virus que provocan el engrosamiento y mosaico en cladodios. Por otro lado, en un estudio realizado en Sicilia, Italia, Granata *et al.* (2006) observaron síntomas de retraso del crecimiento, deformación y amarillamiento de cladodios de nopal, y encontraron fitoplasmas del subgrupo 16SrII-C como los causantes. Ellos determinaron a los fitoplasmas de este subgrupo como agentes etiológicos de propagación de la enfermedad.

En este mismo sentido Omar *et al.* (2014) señalan en su estudio fitoplasmas del subgrupo 16SrII en *Opuntia cylindrica*; ellos asocian los fitoplasmas con el crecimiento anormal del meristemo apical, ya que en *Orbea gigantea* detectaron altos niveles de kinetina y ácido indol-acético en tejido con fitoplasmas comparado con tejido sano. Por lo que mencionan que síntomas ocasionados por fitoplasmas como alteraciones en el crecimiento indican perturbaciones en el balance hormonal de las plantas. Los fitoplasmas están asociados a desordenes que son clasificados entre las enfermedades del crecimiento o desarrollo de plantas.

Por el contrario, Suaste-Dzul *et al.* (2012b) determinaron la presencia de fitoplasmas del subgrupo 16SrXIII en *Opuntia ficus-indica* con síntomas de deformación y engrosamiento del cladodio en Nopaltepec, Estado de México, sin embargo, también encontraron fitoplasmas en muestras de nopal asintomáticas, por lo que su presencia puede tener implicaciones en la propagación de esta enfermedad cuando no se presentan síntomas. Cabe mencionar que en el presente estudio los fitoplasmas estuvieron presentes en pencas sintomáticas (acorazonadas) y asintomáticas de la

misma edad. En base a lo anterior, Hernández-Pérez *et al.* (2009) mencionan que estos microorganismos causan enfermedades que en estadios tempranos son relativamente benignas pero pueden llegar a matar al hospedero, sin embargo, hay especies que son inmunes, asintomáticas o que enmascaran los síntomas. Por ello se debe tener especial cuidado al emplear pencas madre aparentemente sanas en el establecimiento de nuevas plantaciones de nopal, ya que es muy fácil la dispersión de estos microorganismos.

También Fucikovsky *et al.* (2011) identificaron fitoplasmas en pencas sanas y enfermas con el síntoma de inhibición en la producción del fruto característica llamada “plantas macho” y que muestran también engrosamiento y acorazonamiento de cladodios, rasgos causados por un fitoplasma del grupo 16SrI de la especie *Candidatus phytoplasma asteris*. Dichos microorganismos se encontraron en *Argemone mexicana* y *Lupinus sp.* que pueden actuar como reservorios de fitoplasmas, así mismo, fue encontrado en hemípteros como chinches (*Chelinidae sp.*) que son vectores de fitoplasmas. Cabe mencionar que en las plantaciones muestreadas están presentes chinches y plantas del género *Argemone*. Por tanto, es importante tener un control de las malezas en los cultivos ya que son hospederos potenciales de fitoplasmas e insectos vectores que pueden dañar significativamente los cultivos de nopal. También Bertaccini *et al.* (2007) identificaron fitoplasmas del grupo 16SrV-A y 16SrI-B como causantes de retraso del crecimiento y proliferación de yemas, indicando que diversos fitoplasmas de distintos grupos pueden estar asociados al nopal y producir síntomas similares o iguales. Síntomas asociados con fitoplasmas observados en cactáceas provocan interrupción en el crecimiento de cladodios, promueven la proliferación de yemas, amarillamiento, engrosamiento, deformación de pencas e inhibición en la producción de frutos.

El acorazonamiento de cladodios de nopal puede ser ocasionado por un fitoplasma, sin embargo su presencia también fue detectada en pencas sanas, siendo consideradas muestras positivas asintomáticas. Ante este resultado, es necesario realizar estudios encaminados a la transmisión e inoculación de fitoplasmas presentes en pencas sintomáticas y asintomáticas sobre cladodios sanos, a fin de determinar si estos microorganismos son los agentes causales del acorazonamiento. Debido a que los fitoplasmas se han identificado en muestras asintomáticas es pertinente implementar acciones para prevenir la propagación de fitoplasmas hacia otras plantaciones.

3.10 CONCLUSIONES

La Diabrotica es un insecto que se alimenta de los brotes tiernos del nopal pero no ocasiona el síntoma de acorazonamiento; sin embargo, lo usa como hospedero alternativo cuando hay escasez de alimento.

La punción con una aguja en la parte apical central de cladodios tiernos genera el síntoma de acorazonamiento.

Existe presencia de fitoplasmas tanto en pencas con acorazonamiento, como en pencas sanas, por lo que probablemente podría no ser el agente causal del acorazonamiento, a reserva de confirmarlo en estudios posteriores mediante inoculación de pencas.

De acuerdo a las pruebas realizadas de alimentación de Diabrotica en nopal, inducción del acorazonamiento por lesión física e identificación de fitoplasmas no fue posible identificar entre ellos al agente causal del acorazonamiento.

3.11 LITERATURA CITADA

- ANDERSEN J. F. and METCALF R. L. 1987. Factors influencing distribution of *Diabrotica* spp. In blossoms of cultivated *Cucurbita* spp. *Journal of Chemical Ecology* 13(4): 681-699.
- AVIÑA-PADILLA K., PARRA-COTA F., OCHOA-SANCHEZ J. C., PERALES-SEGOVIA C. and MARTINEZ-SORIANO J. P. 2009. Phytoplasmas Associated to Diseases of Ornamental Cacti in México. *Journal of Biological Sciences* 9(3):268-271.
- BERRY J. S. F. and NOBEL P. S. 1985. Influence of soil and mineral stresses on cacti. *Journal Plant Nutrition* 8:679-696.
- BERTACCINI A. and DUDUK B. 2009. Phytoplasma and phytoplasma diseases: a review of recent research. *Phytopathology Mediterr.* 48:355-378.
- BERTACCINI A., CALARI A. and FELKER P. 2007. Developing a method for phytoplasma identification in cactus pear samples from California. *Bulletin of Insectology* 60(2):257-258.
- BERTACCINI A., DUDUK B., PALTRINIERI S. and CONTALDO N. 2014. Phytoplasmas and phytoplasma diseases: A severe threat to agriculture. *American Journal of Plant Sciences* 5:1763-1788.
- BRANSON T. F. and KRYSAN J. L. 1981. Feeding and oviposition behavior and life cycle strategies of *Diabrotica*: an evolutionary view with implications for pest management. *Environmental Entomology* 10:826-831.
- CAI H., WEI W., DAVIS R. E., CHEN A. and ZHAO Y. 2008. Genetic diversity among phytoplasmas infecting *Opuntia* species: virtual RFLP analysis identifies new subgroups in the peanut witches'-broom phytoplasma group. *Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 58:1448-1457.
- CAMPBELL L. and MEINKE L. 2006. Seasonality and Adult Habitat Use by Four *Diabrotica* Species at Prairie-Corn Interfaces. *Environmental Entomology* 35(4): 922-936.
- CARR D. and EUBANKS M. 2014. Interactions Between Insect Herbivores and Plant Mating Systems. *Annual Review of Entomology* 59:185-203.
- CHOUEIRI E., MASSAD R., JREIJIRI F. DANET J. L. SALAR P. BOVÉ J. M. and FOISSAC X. 2005. First report of a 16SrII group phytoplasma associated with shoot proliferation of a cactus (*Opuntia monacantha*) in Lebanon. *Plant Disease* 89(10):1129-1130.

- FERGUSON J. E., METCALF R. L. and FISCHER D. C. 1985. Disposition and fate of cucurbitacin in five species of diabroticites. *Journal of Chemical Ecology* 11(9):1307-1321.
- FERRARI M., DU D., WINSOR J. and STEPHENSON A. 2007. Inbreeding Depression of Plant Quality Reduces Incidence of an Insect-Borne Pathogen in a Wild Gourd. *International Journal of Plant Sciences* 168(5):603-610.
- FUCIKOVSKY Z., YAÑEZ-MORALES M. J., ALANIS-MARTÍNEZ I. and GONZÁLEZ-PÉREZ E. 2011. New hosts of 16Srl phytoplasma group associated with edible *Opuntia ficus-indica* crop and its pests in México. *African Journal of Microbiology Research* 5(5):910-918.
- GÁRCIA-HERRERA E. J., MENDEZ G. S. J., ROSSEL K. D., TALAVERA M. D. J. y HERNANDEZ R. 2008. El nopal tunero en San Luis Potosí (situación actual y recomendaciones técnicas). Folleto para productores N° 2. Colegio de Postgraduados. México. ISBN 978 968 839 6087. Pp. 39.
- GRAHAM E., TOOKER J. and HANKS L. 2012. Floral Host Plants of Adult Beetles in Central Illinois: An Historical Perspective. *Annals of the Entomological Society of America* 105(2):287-297.
- GRANATA G., PALTRINIERI S., BOTTI S. and BERTACCINI A. 2006. Aetiology of *Opuntia ficus-indica* malformations and stunting disease. *Annals of Applied Biology* 149:317-325.
- HERNÁNDEZ-PÉREZ R., NOA-CARRAZANA J. C., GASPAS R., MATA P. and FLORES-ESTÉVEZ N. 2009. Detection of Phytoplasma on Indian Fig (*Opuntia ficus-indica* Mill) in México Central Region. *Journal of Biological Sciences* 9(3):62-66.
- HERNÁNDEZ-PÉREZ, NOA-CARRAZANA, GASPAS R., MATA P. and FLORES-ESTEVEZ. 2009. First report of symptoms associated to a phytoplasma affecting Nopal (*Opuntia ficus indica* Mill) in the “Pyramids” Indian, State of México. *Journal of General and Molecular Virology* 1(4):046-047.
- HESLER L. S. 1998. Distribution of diabroticine beetles among flowers and other structures of wild host plants in south Texas. *Southwestern Entomologist* 23(4): 361-365.
- LAWRENCE W. S. and BACH C. E. 1989. Chrysomelid Beetle Movements in Relation to Host-Plant Size and Surrounding Non-Host Vegetation. *Ecology* 70(6):1679-1690.
- LEE, M., GUNDERSEN R., DAVIS E. and BARTOSZYK M. 1998. Revised classification scheme of phytoplasmas base don RFLP analyses of 16S rRNA and ribosomal protein gene sequences. *International Journal of Systematic Bacteriology* 48: 1153-1169.

- MARTÍNEZ-JAIME A., SALAS-ARAIZA M. D., DIAZ-GARCÍA J. A., BUCIO-VILLALOBOS A. M. and SALAZAR-SOLÍS E. 2014. Comparison of Population Growth Curves of Three *Diabrotica* (Coleoptera: Chrysomelidae) Species in Maize (*Zea mays* L.) in Irapuato, Guanajuato, México. *Southwestern Entomologist* 39(3):581-593.
- MELLO A., CLARK A. and PERRY K. 2010. Capsid protein of cowpea chlorotic mottle virus is a determinant for vector transmission by a beetle. *Journal of General Virology* 91:545-551.
- MENA C., J. y S. ROSAS G. 2004. Guía para el manejo integrado de las plagas del nopal tunero. SAGARPA-INIFAP- Campo Experimental Zacatecas. Publicación Especial No. 14. 34 p.
- MÉNDEZ G., S. J., MENA C., J., GALLEGOS V., C y C. MONDRAGÓN J. 2013. Principales enfermedades y recomendaciones para su control en el nopal tunero. *In: Gallegos V., C., Méndez G. S. J. y C. Mondragón J. (eds). Producción sustentable de la tuna en San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados. Fundación Produce San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP. México. pp. 163-172.*
- METCALF R., LAMPMAN R. and LEWIS P. 1998. Comparative Kairomonal Chemical Ecology of Diabroticite Beetles (Coleoptera: Chrysomelidae: Galerucinae: Luperini: Diabroticina) in a Reconstituted Tallgrass Prairie Ecosystem. *Journal Econ. Entomol.* 91(4): 881-890.
- MORAN V. C. 1980. Interactions between phytophagous insects and their *Opuntia* hosts. *Ecological Entomology* 5:153-164.
- NERD A. and NOBEL P. S. 1991. Effects of drought on water relations and nonstructural carbohydrates in cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Physiol.Plant* 81:495-500.
- OMAR A. F., DEWIR Y. H. and EL-MAHROUK M. E.2015. Molecular identification of phytoplasmas in fasciated cacti and succulent species and associated hormonal perturbation. *Journal of Plant Interactions* 9(1): 632-639.
- PEDERSEN A. and GODFREY L. 2011. Field and Vegetable Crops as Hosts of Larval Western Spotted Cucumber Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 40(3):633-638.
- PISANO G., LETOURNEAU D. and SHENNAN C. 2013. Relative Densities of Natural Enemy and Pest Insects Within California Hedgerows. *Environmental Entomology* 42(4):688-702.
- PRASIFKA J. R., SPENCER J. L., TINSLEY N. A., ESTES R. E. and GRAY M. E. 2013. Adult activity and oviposition of corn rootworms, *Diabrotica spp.* (Coleoptera: Chrysomelidae), in *Miscanthus*, corn and switchgrass. *Journal of Applied Entomology* 137: 481-487.

- QUEZADA-SALINAS A., SANDOVAL-ISLAS 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.
- REVELES-TORRES, L.R.; VELÁSQUEZ-VALLE, R. MAURICIO-CASTILLO, J.A. 2014. Fitoplasmas: Otros agentes fitopatógenos. Folleto Técnico 56. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. 41 p.
- RODRÍGUEZ C., L., FAUNDEZ, E., SEYMOUR J., ESCOBAR, A., ESPINOZA, L., PETROUTSA, M., AGRES A. y NIEMEYER M. 2005. Factores bióticos y concentración de ácido carmínico en la cochinilla (*Dactylopius coccus* COSTA) (Homoptera: Dactylopiidae). *Agricultura Técnica* 65(3):323-329.
- RUIZ C., BRAVO M., RAMIREZ O., BAEZ G., ALVAREZ C., RAMOS G., NAVA C. y BYERLY M. 2013. Plagas de importancia económica en México: Aspectos de su biología y ecología. Libro Técnico N° 2. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. 447 p.
- SALAR P., CHOUËIRI E., JREIJIRI F., EL ZAMMAR S., EAN-LUC D. and FOISSAC X. 2007. Phytoplasmas in Lebanon: characterization of Candidatus *Phytoplasma pyri* and stolbur phytoplasma respectively associated with pear decline and grapevine “bois noir” diseases. *Bulletin of Insectology* 60(2): 357-358.
- SANINET, 2004. Doradillos y Diabroticas (*Diabrotica balteata* LeConte. (Coleoptera: Chrysomelidae) <http://www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/frejol/dorad.htm>. Consultado el 27 de octubre de 2015.
- SOARES DA SILVA M., BATISTA D., DA SILVA L., LUIS M., SOARES DA SILVA L. and FERREIRA DOS S. 2010. Anatomy of different forage cacti with contrasting insect resistance. *Journal of Arid Environments* 74:718-722.
- SUASTE-DZUL A. ROJAS-MARTÍNEZ R. I. OCHOA-MARTÍNEZ D. ZAVALETA-MEJÍA E. PÉREZ-BRITO D. HERNÁNDEZ-JUÁREZ C. and RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ D. 2012a. Virus associated with thickening of the cladodes of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.). *Journal of Biotechnology and Biodiversity* 3(4):100-107.
- SUASTE-DZUL., ROJAS M. y ZAVALETA M. 2012b. Detección Molecular de Fitoplasmas en Nopal Tunero (*Opuntia ficus-indica*) con Síntomas de Engrosamiento del Cladodio. *Revista Mexicana de Fitopatología* 30(1):71-80.
- SWART W. and SWART V. 2003. An Overview of Research on Diseases of Cactus Pear in South Africa. *J.PACD*. 115-120.

- SZALANSKI A. and OWENS C. 2003. Genetic Variation of the Southern Corn Rootworm, (Coleoptera: Chrysomelidae). *Florida Entomologist* 83(3):329-333.
- TAMAY D. L., IBARRA C. Y VELASQUILLO C. 2013. Fundamentos de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y de la PCR en tiempo real. *Investigación en Discapacidad* 2(2):70-78.
- TOVAR A., PANDO M. and GARZA C. (2005). Evaluation of three varieties of *Opuntia ficus indica* (L.) Miller as hosts of the cochineal insect *Dactilopius coccus* COSTA (Homoptera: Dactilopiidae) in a semiarid area of northeastern México. *Economic Botany* 59(1):3-7.
- ZHANG, D. P.; GHISLAIN, M.; HUAMAN, Z.; GOLMIRZAIE, A. and HIJMANS, R. J. 1998. RAPD variation in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars from South America and Papua New Guinea. *Genetic Resources and Crop* 45:271–278.
- ZHENG-NAN L., ZHANG L., LIU P., YAO-BO B., XIAO-GANG Y. and YUN-FENG W. 2012. Detection and molecular characterization of cactus witches'-broom disease associated with a group 16SrII phytoplasma in northern areas in China. *Tropical Plant Pathology* 37(3):210-214.

VII. ANEXOS

ANEXO A. Artículo Científico enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Tipología de productores de nopal tunero en Pinos, Zacatecas

Typology of prickly pear producers in Pinos, Zacatecas

Maria Eddy Mendoza-Orozco¹, Francisco Javier Morales-Flores*¹, Santiago de Jesús Méndez Gallegos¹

¹Colegio de Postgraduados. Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí.

C. P. 78600. Tel. 496 9630240 (mendoza.eddy@colpos.mx; jmendez@colpos.mx; *autor para correspondencia: franciscojmf@colpos.mx).

Resumen

La tipificación de productores es importante para el diseño, implementación y aplicación eficiente de políticas, programas y estrategias dirigidas a grupos específicos. Los agricultores de Pinos, Zacatecas tienen como principal fuente de ingreso económico el cultivo de tuna. Estos productores reciben apoyos económicos gubernamentales; sin embargo, los beneficios no se han visto reflejados en el adecuado desarrollo y productividad de sus huertas. Con la finalidad de que dichos apoyos se distribuyan priorizando las necesidades de los productores, se planteó identificar las formas de producir tuna basadas en la edad y actividades de los productores y en las relaciones de apoyo que establecen. Para ello, se aplicó una encuesta a 38 productores en noviembre de 2014. Mediante un análisis multivariado, una correlación de variables y un análisis de Componentes Principales (CP) se determinaron grupos de productores con características distintivas. Se generaron 10 tipos de productores de tuna (r^2 de 0.69) basadas en 4 CP: La edad y el ingreso por cultivar tuna son las variables más determinantes (25% de la variación), el rendimiento de tuna (17%), el ingreso por una actividad complementaria (15%) y la relación con socios en la producción (12%). Se identificaron como necesidades prioritarias para el desarrollo de la actividad tunera, incrementar el

rendimiento de producción, así como crear y fortalecer vínculos con productores locales y foráneos. La tipificación de productores permite priorizar y agilizar la distribución de apoyos a los grupos más vulnerables. Es prioridad diseñar estrategias que mejoren la productividad y calidad de la tuna, y ampliar su comercialización.

Palabras claves: *Opuntia ficus-indica*, análisis multivariado, producción agrícola, manejo de cultivos, relaciones sociales.

Abstract

The classification of producers is important for the design, implementation and effective application of policies, programs, and strategies for food production. The farmers of Pinos, Zacatecas have prickly pear production as their main source for income. These producers receive economic support from the government; however, the benefits have not been reflected in the adequate development and productivity of their land. In order to distribute the government support in such a way that they prioritize the farmers' needs, we considered identifying the different ways of producing prickly pear based on the producers' age and activities, as well as in the established relationships to strengthen resilience. We surveyed 38 farmers in November 2014. Through multivariate data analysis, correlation, and principal component analysis (PC), we established producers' groups with distinctive characteristics. Ten types of prickly pear producers ($r^2=0.69$) were generated based on four main determinant variables: (1) age and income (25% variation), (2) yield production (17%), (3) complementary income (15%), and production partnerships (12%). Incrementing yield production and establishing local and foreign partnerships were identified as the pressing needs for the successful development of prickly pear production. The classification of producers enable prioritize and improve the distribution of support to the most vulnerable groups. Therefore, we consider crucial to design strategies for improving the efficiency and quality of prickly pear production, along with the expansion of its commercialization.

Key words: *Opuntia ficus-indica*, multivariate analysis, agricultural production, crop management, partnerships.

Introducción

Opuntia ficus-indica es considerada la especie de mayor importancia agronómica a nivel mundial por la producción de fruto, brotes y forraje (Kiesling, 2008). México es el líder productor de tuna a nivel mundial, además de contar con la mayor superficie y número de cultivares comerciales, aunque existe una predominancia de cultivares de pulpa blanca (Sumaya *et al.*, 2010). De manera particular, en el estado de Zacatecas, el municipio de Pinos es el principal productor de tuna a nivel nacional con un rendimiento de 186,125 t y una superficie de 13, 360 ha (SIAP, 2014). El fruto proveniente de este municipio es comercializado nacional e internacionalmente; sin embargo, no todos los productores tienen la misma posibilidad de integrarse al mercado de este producto. Una de las principales causas es la baja calidad de la tuna, la cual es afectada, entre otras cosas, por el deficiente manejo de las plantaciones. Para mantener la calidad de la tuna, los productores deben enfrentar diversos problemas que se les presentan año con año. Entre ellos destacan la incidencia de plagas y enfermedades, los precios bajos de la tuna (Márquez *et al.*, 2012), el ineficiente manejo agronómico y la comercialización deficiente. Adicionalmente, la falta de organización y recursos económicos (García *et al.*, 2004; García *et al.*, 2008). Tienen limitantes como: nula asesoría técnica, apoyos gubernamentales ineficientes y alto costo en la adquisición de insumos y maquinaria. Estos son aspectos que impiden el desarrollo de sus cultivos y ocasionan merma en la producción tunera.

Entre las acciones que realizan algunos productores para mitigar estas limitantes es inscribirse a programas de apoyo gubernamentales con la finalidad de recibir un ingreso económico adicional para afrontar a erogaciones del manejo de sus plantaciones; sin embargo, no se refleja en un fruto de calidad, ni en su comercialización. Tampoco en el mejoramiento de su ingreso económico y por consecuencia su nivel de marginación se acentúa, de manera particular para aquellas familias que dependen de la tuna.

Una forma de efficientizar estos apoyos es conocer el tipo de productores que se dedican al cultivo de tuna, ya que éstos se caracterizan por presentar rasgos distintivos entre ellos, dados por las peculiaridades del manejo de su plantación y por sus relaciones interpersonales que establecen entre ellos. Para conocer esta distinción es pertinente caracterizar la tipología de productores. Esta técnica permite determinar prioridades acordes a cada tipo de productor, así como identificar los componentes que se deben considerar al diseñar y aplicar estrategias de planeación en sus unidades productivas (Santos *et al.*, 2014). Así mismo, la tipificación fundamentada en un análisis multivariado permite mayor eficiencia en el diseño de políticas públicas de desarrollo rural territorial. Además permite a los tomadores de decisiones focalizar los esfuerzos hacia los grupos más vulnerables o con necesidades particulares; al mismo tiempo que agiliza y hacen más eficaz la distribución de los recursos y proporcionan una base para la participación oportuna (Marshall *et al.*, 2014). Una tipología de productores puede propiciar la aplicación de políticas de fomento diferenciadas a través de la discriminación entre grandes y pequeñas explotaciones (Martínez *et al.*, 2009).

Considerando que no existe una diferenciación entre productores de tuna que permita implementar programas de intervención eficientes y acordes a sus necesidades, el objetivo del estudio fue identificar los tipos de productores de nopal tunero en Pinos, Zacatecas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el municipio de Pinos, Zacatecas (Figura 1). El cual está ubicado en la región sureste del estado de Zacatecas. Pertenece a la provincia fisiográfica Campo Volcánico Meridional. Se sitúa en los 22° 16' 58" latitud norte y 101° 47' y 101° 34' 51" de longitud oeste; su altura es de 1900 msnm. La temperatura media anual es de 16.2 °C y una precipitación media anual de 447.8 mm (CONAGUA, 2014).

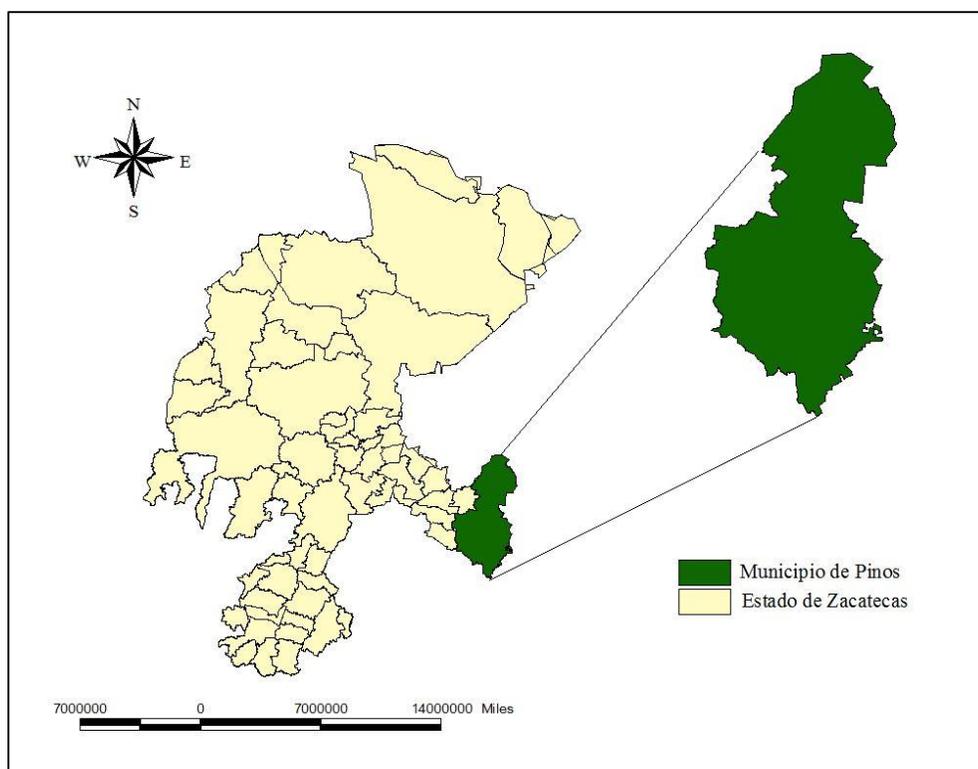


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Para tipificar a los productores de nopal tunero de Pinos, Zacatecas se aplicaron encuestas a 38 productores, donde se incluyeron variables cuantitativas y cualitativas que para su análisis fueron transformadas numéricamente. Dichas variables contemplaron aspectos tales como: la edad del productor, el grado de estudios, la superficie sembrada, el rendimiento de tuna, la transmisión de conocimiento técnico, la actividad principal y secundaria y su porcentaje de ingreso respectivo, la orientación al mercado, y las relaciones de socio, líder o consejero con productores locales o foráneos. Se analizaron 23 atributos y se descartaron las 12 variables que presentaron menos del 20 % o más del 80 % de respuestas comunes entre productores. Esta decisión se basó en el hecho de que indicaban una tendencia clara de aporte de información homogénea.

Posteriormente se realizó un análisis multivariado con el paquete estadístico Statistical Analysis Systems (SAS). Se correlacionaron las 11 variables restantes y se eliminaron aquellas con una alta dependencia entre sí (Pearson a $r^2 > 0.7$ o < -0.7). Se determinó la influencia de las características de los productores usando componentes principales (CP) con datos estandarizados (media cero y varianza 1). Después se graficó la

dispersión de los 38 productores utilizando los dos componentes más importantes (CP1 y CP2) y se formaron grupos de productores por similitud en las características evaluadas, utilizando la varianza interna mínima de los grupos como clasificador (Ward). Se identificaron las características que definieron la formación de grupos y se describieron los rasgos similares de cada grupo. Los grupos de productores de tuna se unieron de acuerdo a las necesidades de acción de cada uno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la información obtenida permitió realizar la caracterización de los productores de nopal tunero de Pinos, Zacatecas. En cuanto a la edad de los productores ésta oscilo entre 27 y 73 años. Este límite de edad es similar a la edad registrada por Venado *et al.* (2015) para productores de nopalito en Tlalnepantla, Morelos (19 a 68 años). Por su parte Márquez *et al.* (2012) mencionan que la edad promedio de productores de nopal tunero en Axapusco, Edo. de México es de 60 años. Vale la pena resaltar que en los tres estudios se aprecia que en la producción de tuna están inmersos productores en mayor proporción de adultos mayores, lo cual implica que debido a su edad presentan limitantes para realizar actividad física al llevar a cabo las prácticas de manejo requeridas. Lo anterior dificulta brindar el desarrollo de capacidades y habilidades de manera adecuada. Por tanto estos productores requieren de estrategias de producción que no impliquen un esfuerzo físico que dañe su integridad. Esta situación se complica ante la imposibilidad de contratar mano de obra externa. Por otro lado, son personas con una experiencia considerable en el cultivo de nopal y transmiten conocimientos a las nuevas generaciones de jóvenes al heredar la tradición a sus familiares. Esto permite dar continuidad a la producción de tuna y nopal y da identidad al lugar (Santos *et al.*, 2014), ya que la identidad y el arraigo de los pobladores hacia la agricultura se dan en todo cultivo y lugar. Pinos es el municipio con mayor producción de tuna y por ello, el relevo generacional es un valor intangible que debe ser aprovechado con políticas que apoyen a estos productores que van envejeciendo. Respecto al grado de escolaridad, 63% de los productores cursaron la secundaria y el 37% la primaria. En afinidad Venado *et al.* (2015), destacan que 47% curso la secundaria y 26% la primaria, 17% tienen nivel medio superior y 8% superior. Por tanto se deduce que los productores de Pinos, Zacatecas tuvieron menor

posibilidad de estudiar, posiblemente porque las condiciones de ingreso de esta zona son más precarias y el traslado a las escuelas se complica por la lejanía. Es clara la necesidad de fortalecer los niveles de educación; sin embargo debe ser orientada hacia las nuevas generaciones para que el nivel de educación les aporte las características de inventiva, innovación y curiosidad por descubrir nuevos esquemas de manejo y mejora de los canales de comercialización, usos emergentes en torno al nopal, además de las herramientas para comprender los procesos biológicos ligados al desarrollo de las plantaciones de tuna.

En cuanto a la superficie cultivada de tuna por productor, esta oscila de 0.25 a 57 ha, siendo mayor, a la registrada por Venado *et al.* (2015), quienes mencionan que cada productor de nopal verdura en Tlalnepantla, Morelos tiene en promedio 5.5 ha cultivadas, similar superficie de tuna fue obtenida por García *et al.* (2004). Así mismo García *et al.* (2008) reporta 2.8 ha de tuna por productor para el estado de San Luis Potosí. Riojas y Fuentes (2006), destacan que los productores que obtienen volúmenes mayores tienen más posibilidad de integrarse al mercado internacional. En relación al rendimiento de tuna es de 1.8 a 60 t ha⁻¹, comparado con las 6.1 t ha⁻¹ promedio reportadas por García *et al.* (2004) en la misma zona de estudio. Ante la reducida superficie con que se cuenta, es importante y necesaria la organización de los productores y el diseño y aplicación de estrategias de manejo que estandaricen el producto y logren una diferenciación del mismo, así como incrementar el rendimiento y la calidad de la tuna.

Vale la pena resaltar que el 45% de los productores de tuna de la comunidad estudiada mostraron un fuerte arraigo hacia la producción de este cultivo y obtienen el 100% de su ingreso por dicha actividad. Esto representa un aspecto positivo en la organización y cooperación local para hacer de la tuna una fuente de ingresos sólida. Es benéfico el interés que tienen los agricultores en continuar con el cultivo, sobre todo al considerar que aquellos productores con fuerte identidad ocupacional son más flexibles al cambio debido a su capacidad adaptiva y pueden ser menos vulnerables ante situaciones no previstas (Marshall *et al.*, 2014). Al respecto Checa y Velázquez (2014) señalan que el contexto histórico de las relaciones sociales de un sitio determinado fortalece la capacidad y disposición del trabajo en conjunto. Una forma de incentivar estas relaciones es mediante acciones colectivas que permiten a los pobladores mantener su identidad y ampliar su mercado. También pueden ser fortificadas por planes, por proyectos comunes y por la

unificación de criterios acerca del futuro de la producción de nopal en la comunidad (Ramos, 2014); sobre todo si se considera que en Pinos, Zacatecas el cultivo de tuna es una actividad muy arraigada aunque no dependen completamente de este negocio.

En relación a las actividades productivas de los agricultores, ellos además de dedicarse a la tuna, también son ganaderos, jornaleros, emigrantes o comerciantes, lo que les brinda entre el 20 y 50% de su ingreso económico. Los productores de Pinos tienen actividades complementarias como la ganadería, además de recibir apoyo económico proveniente de las remesas enviadas por sus familiares (García *et al.*, 2004). No obstante el hecho de tener actividades adicionales podría traer como consecuencia la pérdida del conocimiento y la tradición del cultivo de nopal tunero en la región.

La pluralidad de actividades se presenta en aquellos lugares en donde las actividades agropecuarias han perdido centralidad y ya no son la única fuente de ingresos de los productores rurales (Santos *et al.*, 2014). Esto refleja que se está perdiendo poco a poco el interés en realizar actividades relacionadas con el campo, aunado al insuficiente e inoportuno apoyo económico y de organización que aseguren la rentabilidad de los sistemas agrícolas. Otro aspecto a considerar es que en la búsqueda de fuentes alternativas de sustento para mantener a sus familias descuidan sus huertas. Las limitantes técnicas de mantenimiento de las parcelas con tuna han provocado el abandono paulatino de las huertas (Márquez *et al.*, 2012). Entre estas destacan el manejo inadecuado de las huertas, la presencia de plagas y enfermedades, la baja calidad de tuna, los bajos precios de venta y la baja rentabilidad del cultivo.

Los productores de tuna se dedican a la venta o autoconsumo del fruto, sin agregarle valor como producto semiterminado para su venta o la transformación en mermeladas, dulces u otros coproductos. La mayoría de productores destinan su producción para venta local, a intermediarios y muy pocos la comercializan a Estados Unidos. Esto refleja la diferencia de oportunidades de mercado debido a que no cumplen con los estándares de calidad del fruto y solo algunos tienen la oportunidad y posibilidad de introducirse al mercado nacional e internacional. El problema de la comercialización no solo implica a productores de nopal tunero, sino también de otros cultivos (Santos *et al.*, 2014). Esta comercialización limitada es causada por un mercado insuficiente, aunado a que es un fruto de temporal y su precio es variable. Una situación que se

presenta en San Luis Potosí con los productores de tuna es que solo venden 40% de su producción (García *et al.*, 2008).

La mayoría de los productores se relacionan con productores locales (67%), en relaciones como líder (un modelo a seguir), consejero (búsqueda de información relacionada con la producción) o socio (necesidad de apoyo económico), 24% no establece relación alguna por lo que se consideran productores que trabajan de manera individual, 8% se relaciona únicamente con productores foráneos (fuera de su propia comunidad) y el restante 1% de productores tratan con productores foráneos y locales. Estas relaciones de producción se dan por conversaciones con agricultores experimentados o con familiares que se dedican a dicha actividad (Riojas y Fuentes, 2006) o por recomendaciones específicas (plagas y enfermedades) de otros agricultores y vendedores de agroquímicos (Márquez *et al.*, 2012). Son relaciones muy locales y espontaneas, dado que puede existir escasa interacción y poca cooperación entre productores por la competencia existente. Algunas relaciones se vuelven más cercanas llegando a relaciones de compadrazgo (Ramos, 2014). La falta de confianza y organización no permite un desarrollo satisfactorio para los habitantes tuneros de Pinos, Zacatecas, ya que 18% de los productores trabajan individualmente, el 10% con productores foráneos y el 72% con productores locales, sin embargo sus relaciones no son extensas, ya que siempre trabajan con los mismos compañeros.

Con el fin de diferenciar grupos de productores de nopal tunero por similitud de sus características en la forma de producción, se realizó un análisis multivariado. Este método nos permitió identificar rasgos distintivos que forman grupos de productores con características similares. Inicialmente se analizaron 23 variables, de ellas 12 fueron eliminadas por la homogeneidad de sus respuestas. Se identificó una correlación muy alta entre los productores a los que pide consejo y los productores con los que se asocia (0.802), lo que implica que el productor de tuna acude a las mismas personas líderes para buscar consejo. Se identificó una dependencia entre el ingreso económico por tuna y el ingreso económico por otras actividades, estas variables se identificaron como mutuamente excluyentes (-0.848) por lo que ya no se analizaron. Posteriormente se realizó un análisis de componentes principales (CP) con nueve variables. Este método permitió determinar cuatro CP con una varianza de 0.695 y un total de cinco variables con mayor

impacto (Cuadro 1). El primer componente principal está determinado por la edad del productor y el ingreso proveniente de la producción de tuna (25% de varianza explicada). El segundo componente está relacionado con el rendimiento de tuna producido por los productores (17% de varianza explicada). El tercer componente es determinado por la orientación económica de las actividades complementarias del productor que le generan ingresos (15% de la varianza). El cuarto componente está definido por la asociación con otros productores de tuna ya sean locales o foráneos (12%).

Cuadro 1. Análisis de componentes principales de 38 productores de nopal tunero y nueve variables, en el municipio de Pinos, Zacatecas.

N° de variables	Varianza	Varianza Acumulada	Ecuación
2	0.2534	0.2534	CP1 = - 0.454 edad del productor - 0.447 porcentaje de ingreso económico por producción tunera
1	0.1734	0.4267	CP2 = 0.548 rendimiento de tuna
1	0.1496	0.5764	CP3 = 0.564 actividad económica secundaria
1	0.1187	0.6951	CP4 = 0.636 relación con socios

El análisis de conglomerados permitió la formación de 10 grupos de productores de tuna que explica el 66% de las variaciones en las características de producción de tuna (Figura 2). Los grupos 2, 3 y 4 agrupan al 50% de productores de tuna; mientras que los grupos 9 y 10 ubican a productores individuales por características muy diferentes al resto de productores. En un estudio realizado por Martínez *et al.*, (2009) formularon un análisis similar definiendo tres tipos de productores de alimentos ecológicos en España.

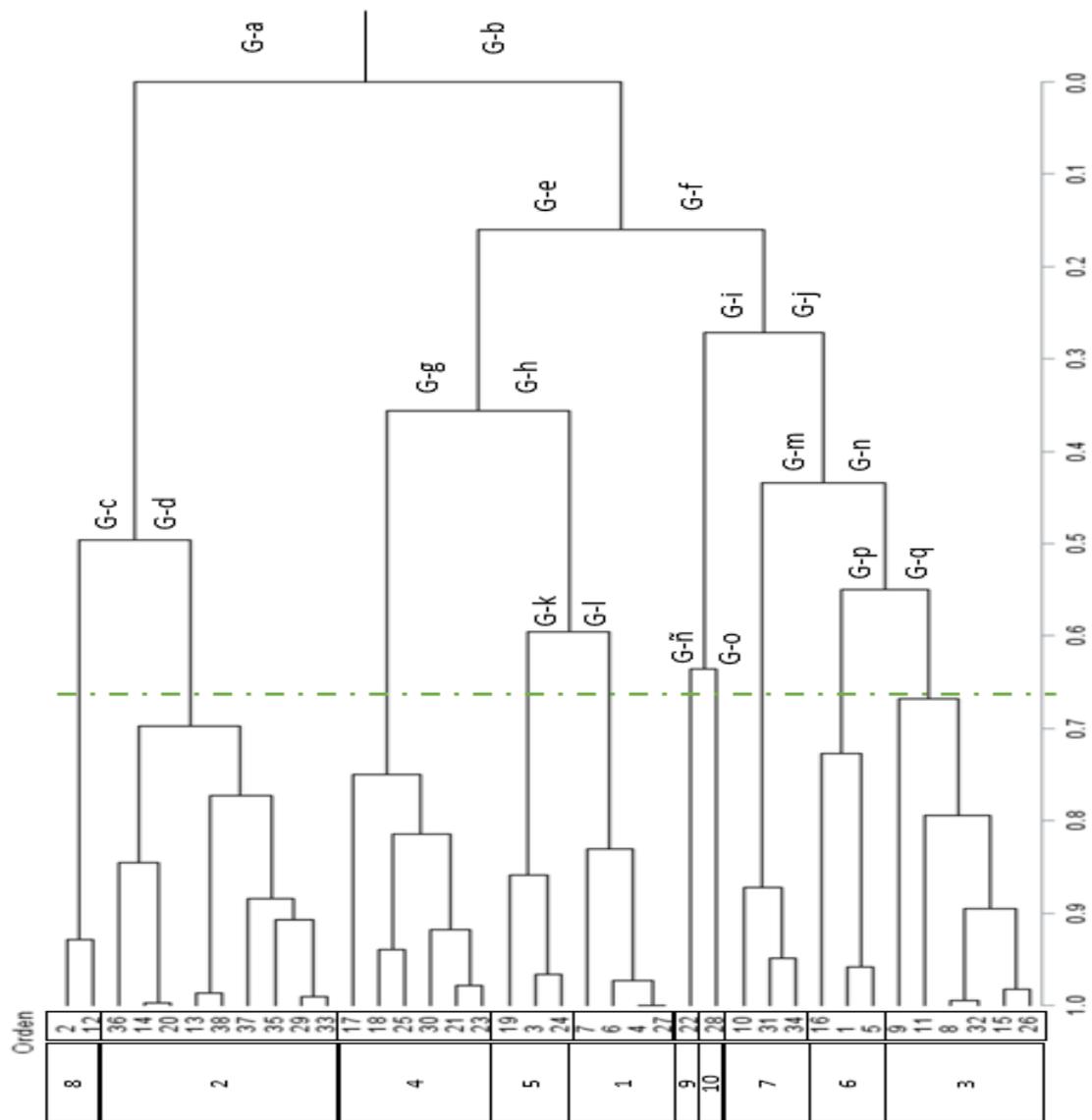


Figura 2. Formación de grupos de productores de tuna en el municipio de Pinos, Zacatecas, a una r^2 de 0.669 (línea punteada) y separación jerárquica de grupos. (G = grupo, letra minúscula = identificador de cada grupo).

Adicional a la descripción general de los productores de tuna, se integran las características distintivas de cada grupo formado:

1) Productores exclusivos de tuna sin edad definida (G1-l): Conformado por productores de tuna de edad variable entre 34 y 63 años, dependientes de ingreso económico exclusivamente por el cultivo de tuna

(100%) y rendimientos bajos de producción (1.8 a 5 t ha⁻¹). No se dedican a otras actividades económicas y tienen relación con productores de la misma localidad e inclusive foráneos.

2) Productores de tuna indecisos (G2-d): Productores con edad variable (de 34 a 60 años), cuyo ingreso económico por el cultivo de tuna es variable (20 a 80%) ligado a actividades fuera del ámbito agrícola y ganadero. Tienen rendimientos de producción variables (3 a 30 t ha⁻¹) con socios locales.

3) Productores rurales (G3-q): Productores adultos de edad entre 52 y 59 años, con ingresos económicos predominantes de la tuna (50 a 100 %) y rendimiento variable (2.5 a 38 t ha⁻¹) que complementan su ingreso con la actividad ganadera, relacionados con socios locales.

4) Productores no rurales (G4-g): Productores adultos mayores (55 y 73 años), con ingreso económico predominante de la tuna (50 a 100 %) y rendimientos bajos de producción (5 a 20 t ha⁻¹) que complementan su ingreso con actividad ganadera y fuera del área rural y tienen socios locales.

5) Productores adultos con productividad muy baja (G5-k): Productores en edad entre 42 y 61 años, con ingresos económicos predominantemente de la tuna (50 al 100 %). Su rendimiento de producción es muy bajo (de 3 a 5 t ha⁻¹) y no tienen actividad secundaria. Su relación es local o trabajan individualmente.

6) Productores exclusivos de tuna, adultos y adultos mayores (G6-p): Productores en edad de adulto a adulto mayor (48 a 69 años) con ingreso económico proveniente de la tuna (100%) y que se dedican únicamente al cultivo de tuna. Tienen rendimientos altos de producción (46 a 50 t ha⁻¹) y tienen socios locales. Uno de los productores trabaja individualmente.

7) Productores adultos jóvenes (G7-m): Productores jóvenes (33 a 38 años) con un ingreso económico predominante de la tuna (80 al 100 %). Uno de ellos también es ganadero. Tienen rendimientos de producción altos entre 40 y 60 t ha⁻¹ con socios locales.

8) Productores adultos jóvenes indecisos (G8-c): Productores jóvenes (27 a 36 años) con ingresos provenientes de la tuna (50 al 60%) así como rendimientos muy bajos de producción (2 y 12 t ha⁻¹). Tienen actividades complementarias como ganadería u otras fuera del ámbito rural y están relacionados con socios foráneos.

9) Productor exclusivo de tuna, adulto (G9-ñ): Productor de edad mediana (43 años) dedicado únicamente al cultivo de tuna y por ende ingreso total exclusivo (100%). Con rendimiento de producción medio (12 t ha⁻¹) relacionado con socios locales.

10) Productor de tuna, adulto mayor (G10-o): Productor adulto mayor (73 años) con ingreso exclusivo por la producción de tuna y dedicado exclusivamente a ella. El rendimiento de producción es muy bajo (3.5 t ha⁻¹) y trabaja individualmente.

Esta diferenciación fortalece y corrobora la relevancia en apoyos diferenciados, atendiendo los objetivos y las necesidades productivas de cada grupo.

En relación a la separación de grupos, éstos se dispersaron en primera instancia por la edad del productor y por su dependencia económica de la actividad tunera, siendo los principales criterios de clasificación (Figura 3). Los grupos 10, 6 y 3 son los grupos de mayor edad y que dependen al 100% de la actividad tunera; mientras que los grupos 8 y 2 están integrados por productores jóvenes que dependen muy poco de la actividad tunera. De acuerdo al rendimiento de producción de tuna que es la siguiente razón de separación, los integrantes del grupo 7 son los productores más importantes de tuna; mientras que los productores del grupo 4 tienen los menores volúmenes de producción de tuna. Estos últimos grupos contienen a productores entre 33 y 73 años con más del 50% de ingresos económicos por la actividad tunera. Los productores más jóvenes pueden tener una visión de ingreso económico más amplia, ya que no se dedican solo al cultivo de tuna y por ello, podrían tener mayor disposición a cambiar la tradición del cultivo y estar interesados en crear y promover otras fuentes de ingreso económico. Por otro lado, se les puede incentivar para que dirijan su atención primordialmente a la producción de tuna debido a que son adultos jóvenes que tienen capacidad para realizar actividades del campo.

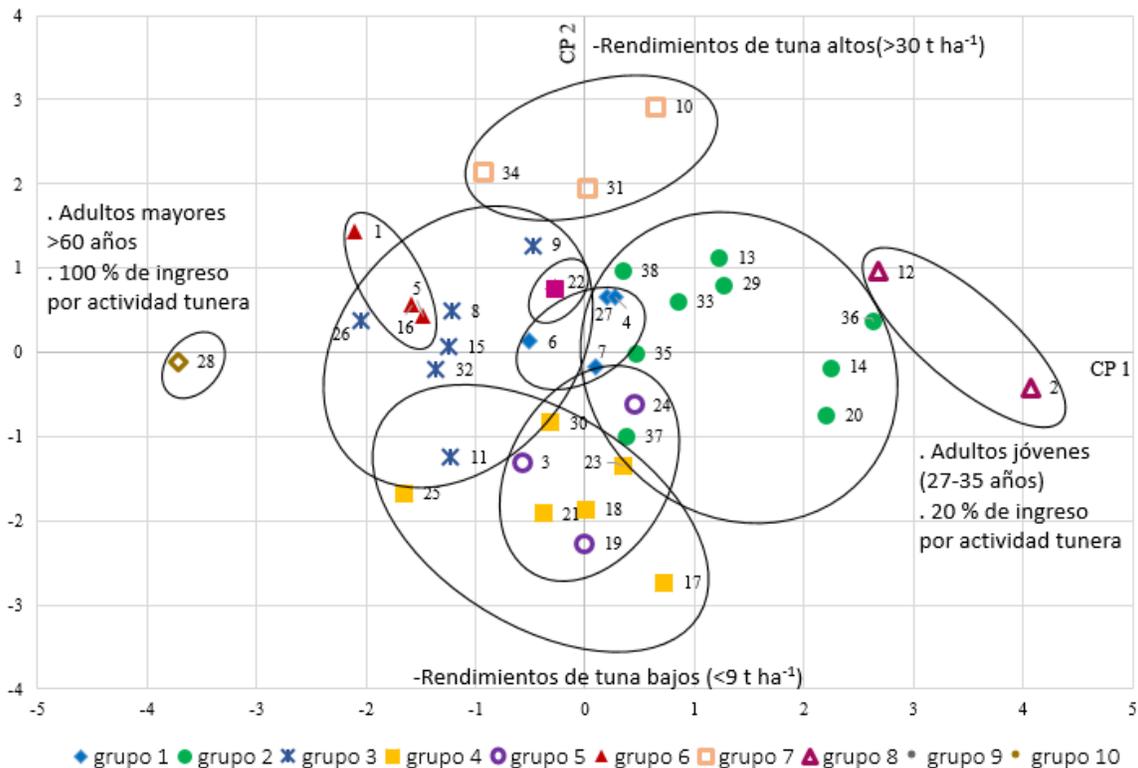


Figura 3. Distribución de productores de tuna en Pinos, Zacatecas por CP 1 y 2 ($r^2=0.69$).

A fin de facilitar el diseño de estrategias para los productores de tuna, se conjuntaron los grupos de productores con debilidades compartidas. Estas estrategias se listan a continuación:

La primer estrategia está enfocada a los grupos 2 (productores indecisos), 4 (productores no rurales), 5 (productores adultos con productividad muy baja), 9 (productores exclusivos de tuna, adultos) y 10 (productores exclusivos de tuna, adultos mayores). Para estos productores se debe tener como objetivo prioritario: incrementar el rendimiento de tuna a un nivel de 30 t ha⁻¹; además, crear vínculos con productores locales y foráneos, es recomendable al menos una relación externa por productor. La segunda estrategia es para los grupos 1 (productores exclusivos de tuna sin edad definida) y 3 (productores rurales). Los objetivos a cumplir para este grupo de productores son: incrementar el volumen de producción, fortalecer las relaciones existentes por medio de acciones de trabajo en conjunto que aporten beneficios y crear nuevos vínculos con productores foráneos. La tercera estrategia se enfoca a los grupos 6 (productores

exclusivos de tuna, adultos y adultos mayores) y 7 (productores adultos jóvenes) para crear vínculos con productores foráneos. La cuarta estrategia está dirigida al grupo 8 (productores adultos jóvenes indecisos) y consiste en incrementar el volumen de producción y fortalecer las relaciones existentes.

Cada estrategia está encaminada a mejorar el estado actual de los productores de tuna, mediante acciones que permitan incrementar el volumen de producción de tuna ligado al adecuado manejo de las plantaciones, así como, incrementar la calidad de fruto, fortalecer las relaciones interpersonales y la vinculación con productores foráneos con la intención de ampliar el mercado.

Esta dirección de la visión de trabajo en conjunto podría generar relaciones con empresas que permitan la transformación de la tuna y extender su área de comercialización. Al ampliar el mercado se generarán mayores ingresos, lo que podría direccionar a los productores a retomar el cultivo de tuna como su actividad prioritaria. Lo anterior es trascendental para evitar perder la tradición, el conocimiento en el cultivo de este recurso y la identidad de la región, y de esta manera evitar el desplazamiento de las familias hacia zonas de trabajo fuera de su localidad. Por otro lado, es necesario el fortalecimiento de las relaciones de trabajo con una proyección a futuro, ya que la falta de organización y cooperación limitan el fortalecimiento de la producción (Checa y Velázquez, 2014). Estos autores mencionan que las iniciativas en comercialización y la adquisición de recursos económicos que sean aplicados a las plantaciones ayudan a mitigar la vulnerabilidad del sistema productivo. Los productores que están constituidos en cooperativas tienen la posibilidad de vender a precio fijo o pactado dentro y fuera del país (Riojas y Fuentes, 2006), lo que apoya el valor fundamental de la organización para lograr un desarrollo comunal e incrementar los ingresos económicos de una región. Cabe mencionar que solo el 29 % de los productores de tuna en Pinos, Zacatecas está organizado formalmente (García *et al.*, 2004).

Los productores pueden organizarse a través de asambleas comunales, siendo un importante mecanismo para la toma de decisiones y con resultados satisfactorios en la producción y comercialización. Estos espacios de cooperación se crean a partir de la conformación de grupos con ideales similares, además de que impulsa los sistemas hacia el éxito al proveer un crecimiento económico para la comunidad (Ramos, 2014). Por otro lado, la confianza es fundamental ya que brinda seguridad en la percepción de las personas

hacia el emprendimiento de acciones nuevas (Checa y Velázquez, 2014). Los productores de tuna de Pinos, Zacatecas que no tienen formas de organización desarrolladas, limitan la posibilidad de desarrollar su sistema productivo. Por lo que se deben crear estrategias de intervención que incluyan al mayor número de actores posibles. En este contexto, los grupos organizados y con fuertes relaciones tienen mayor orientación al cambio representado como adopción de nuevas tecnologías (Marshall *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

Existe una diferenciación entre productores de nopal tunero en Pinos, Zacatecas que puede ser orientada con estrategias de promoción del sistema productivo en medidas concretas tales como incrementar los volúmenes de producción y la creación y fortalecimiento de relaciones sociales.

La aplicación del análisis multivariado permitió determinar una tipificación de productores tuneros por similitud de características. Se identificaron 10 tipos de productores de tuna basados en la edad del productor, los ingresos provenientes de la venta del cultivo, el rendimiento de tuna producida, la existencia de una actividad económica complementaria y la creación de relaciones. Sobre estos tipos de productores se ha facilitado el diseño de cuatro estrategias para incrementar los volúmenes de producción y promover las relaciones productivas.

El análisis de la tipificación de productores permitió reconocer que en el municipio de Pinos, Zacatecas existe una bipolaridad productiva debido a las oscilaciones en el rendimiento de tuna que van de 1.8 a 60 t ha⁻¹.

El conocimiento de rasgos distintivos es base para el diseño y aplicación de estrategias de desarrollo eficientes direccionadas a cada grupo de productores y permite priorizar además de agilizar la distribución de apoyos a los grupos de la sociedad más vulnerables.

De manera independiente a la definición de tipos de productores, se deben generar estrategias que permitan la vinculación y organización entre productores locales y foráneos. Estas relaciones deben atender la sostenibilidad del sistema productivo, la calidad del producto así como la comercialización para lograr un desarrollo en la producción de tuna en Zacatecas.

LITERATURA CITADA

- Checa, M. M. y Velázquez, V. M. 2014. Los sistemas agroalimentarios localizados como elemento de análisis: retos y dificultades para su conformación. El caso de Tampico Alto, Veracruz. México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. 28(14):134-140.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2014. Sistema Meteorológico Nacional. Normales Climatológicas Zacatecas. Periodo de 1981-2010. http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=160&tmpl=component. (Consultado el 10 de noviembre de 2014).
- García, E. J.; Méndez, S. J.; Rössel, D.; Talavera, D. y Hernández, I. 2008. El nopal tunero en San Luis Potosí (Situación actual y Recomendaciones Técnicas). Departamento de difusión del Colegio de Postgraduados. 1ra edición. San Luis Potosí, SLP, México. Folleto para productores N° 2. 35 p.
- García, E. J.; Peña, B.; Estrella, N.; Manzo, F. y Delgado, R. 2004. Estrategia para el desarrollo rural integral y sostenible en la región de Pinos, Zacatecas: El binomio nopal tunero-migración como su elemento central. *In: El nopal: Tópicos de actualidad*. Esparza, G.; Valdez, R. D. y Méndez, S. J. (eds). 1ra edición. COED. Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México, México. 273-291 pp.
- Kiesling R. 1999. Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. USA. *Journal Professional Association Cactus Development*. 3:50-59.
- Márquez, S. R.; Torcuato, C.; Almaguer, G.; Colinas, M. T. y Khalil, A. 2012. El sistema productivo del nopal tunero (*Opuntia albicarpa* y *O. megacantha*) en Axapusco, Estado de México. Problemáticas y alternativas. México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 18(1):81-93.
- Marshall, A.; Stokes, J.; Webb, P.; Marshall, A. and Lankester, J. 2014. Social vulnerability to climate change in primary producers: A typology approach. Netherlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 186:86-93.

- Martínez, P. F.; Schwentesius, R.; Martínez, J. M. y Gómez, M. A. 2009. Características y comparativa de los productores de alimentos ecológicos en el sureste de Europa: el caso de la región de Murcia, España. México. *Agrociencia*. 6(43):649-657.
- Ramos, A. 2014. Producción de nopal y dinámicas de interacción social en Tlalnepantla, Morelos (2005-2008). México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. 28(14):71-101.
- Riojas, M. E. y Fuentes, A. T. 2006. Caracterización del manejo del cultivo de tuna (*Opuntia spp.*) en los municipios de Ojuelos de Jalisco y Pinos, Zacatecas, México. *Avances en la XVII Semana de investigación científica en el CUCBA*. ISBN 970-27-1045-6. 595-601 p.
- Santos, V. M.; Zuñiga, M.; Leos, J. A. y Álvarez, A. 2014. Tipología de productores agropecuarios para la orientación de políticas públicas: Aproximación a partir de un estudio de caso en la región Texcoco, Estado de México, México. México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. 28(14):47-69.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2013. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. (Consultado el 11 de noviembre de 2014).
- Sumaya, T. T.; Suarez, N. S.; Cruz, E.; Alanís, G. y Sampedro, J. G. 2010. Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana. México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 14:435-441.
- Venado, R.; García, F.; Bahena, G.; Alpuche, O.; Saldaña, M. C. y Sainz, M. J. 2015. Caracterización de las unidades de producción de nopal verdura en el municipio de Tlalnepantla Morelos, México. *In: Memoria del XIV Simposium-Taller Nacional y VII Internacional de Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey*. Blanco, F.; Vázquez, R. E.; Valdez, R. D. y Santos, J. A. (eds). Campus de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo, N. L. México. 1-11 pp.