



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

**ESTUDIO DE ASPECTOS BIÓTICOS Y FISIOLÓGICOS RELACIONADOS AL
ENGROSAMIENTO DE CLADODIOS DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*).**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

RENÉ CANO HERNÁNDEZ

CHAPINGO, MÉXICO, JULIO DE 2012.



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**



Protección Vegetal

La presente Tesis, titulada: "ESTUDIO DE ASPECTOS BIÓTICOS Y FISIOLÓGICOS RELACIONADOS AL ENGROSAMIENTO DE CLADODIOS DEL NOPAL (*Opuntia ficus indica*)", realizada por alumno: René Cano Hernández, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

MAESTRIA EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR:



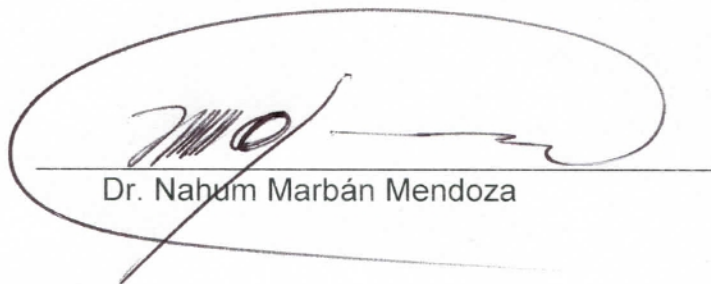
Dra. Ernestina Valadéz Moctezuma

ASESOR:



Dr. Ramón Marcos Soto Hernández

ASESOR



Dr. Nahúm Marbán Mendoza

Chapingo, Edo. de México, julio de 2012

ESTUDIO DE ASPECTOS BIÓTICOS Y FISIOLÓGICOS RELACIONADOS AL ENGROSAMIENTO DE CLADODIOS DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*).

¹Cano H. R.; ²Valadez M. E.; ³Soto H. R. M.; ⁴Marbán M. N.

RESUMEN

En México, el nopal (*Opuntia ficus-indica*) conocido como "tuna" es un fruto muy importante, producido en más de 20 estados, donde la región de cactus cerca de las pirámides en el Estado de México es la más importante a nivel nacional y mundial. Engrosamiento excesivo o hinchamiento de cladodios se considera uno de los problemas de salud más importantes en la actualidad. No hay conocimiento sobre las causas de estos síntomas en el presente. Este trabajo ha tomado dos hipótesis en un esfuerzo por explicar las causas potenciales de enfermedades: Los insectos vectores asociados a los síntomas fueron estudiados, la distribución espacial y la transmisión del virus y el papel de los reguladores del crecimiento por el uso de la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (CLAR). Los resultados fueron negativos en lo relativo a la transmisión de virus ya sea por insecto o mecánicamente. Sin embargo, los estudios de reguladores del crecimiento fueron positivos. Aquí las plantas sintomáticas tienen mayores concentraciones de los reguladores de crecimiento AIA y AIB en comparación con plantas no sintomáticas. En estas también se encontró el regulador del crecimiento GA3 y AIA.

Key words: Chatilla, nopal macho, fitohormonas, cromatografía, geoestadística

¹Autor de la tesis: Ing. René Cano Hernández, Egresado de la Maestría en Protección vegetal, de la Universidad Autónoma Chapingo. ²Dra. Ernestina Valadez Moctezuma, ⁴Dr. Nahum Marban Mendoza, Profesores Investigadores del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. y ³ Dr. Ramón Marcos Soto Hernández, Profesor Investigador Titular, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Asesores de la tesis.

**STUDY OF BIOTIC AND PHYSIOLOGICAL ISSUES RELATED TO CLADODE
SWELLING OF PRICKLY PEAR (*Opuntia ficus-indica*).**

¹Cano H. R. ; ²Valadez M. E.; ³Soto H. R. M.; ⁴Marbán M. N.

ABSTRACT

In Mexico, the prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) known as “tuna” is very important fruit, produced in over 20 states, where the cactus region near by the Pyramids in the State of México is the most important at national and global levels. Excessive thickening or swelling of pads is considered one of the most important health problems currently. There is not knowledge about the causes of these symptoms presently. This work have taken two hypotheses in an effort to explain potential disease causes: Insect vectors associated to symptoms were studied, spatial distribution and virus transmission and the role of growth regulators by the use of the technique of High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Results were negative concerning virus transmission either insect or mechanically. However, growth regulator studies were positive. Here symptomatic plants have major concentrations of IAA and IBA growth regulators as compared no symptomatic plants. Here also the growth regulator GA3 and IAA were found.

Key words: Chatila male nopal, phytohormones, chromatography, geostatistics

¹Autor de la tesis: Ing. René Cano Hernández, Egresado de la Maestría en Protección vegetal, de la Universidad Autónoma Chapingo. ²Dra. Ernestina Valadez Moctezuma, ⁴Dr. Nahum Marban Mendoza, Profesores Investigadores del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. y ³ Dr. Ramón Marcos Soto Hernández, Profesor Investigador Titular, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Asesores de la tesis,

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**), por haberme apoyado en la realización de mis estudios de Maestría.

A los integrantes de mi comité: Dr. Ramón Marcos Soto Hernández, Dra. Ernestina Valadez Moctezuma, y Dr. Nahum Marbán Mendoza, por el apoyo, asesoría y tiempo que me brindaron en la realización de la presente tesis.

INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS.....	X
INDICE DE FIGURAS.....	XI
ABREVIATURAS USADAS.....	XII
I. INTRODUCCION GENERAL.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	3
III. OBJETIVO GENERAL.....	4
IV. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPITULO I. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ENGROSAMIENTO DE CLADODIOS DE NOPAL EN EL VALLE DE TEOTIHUACÁN.....	5
I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2 Objetivos Específicos.....	7
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1 La agricultura de precisión.....	7
3.2 Descripción conceptual sobre la AP.....	9
3.3 Los sistemas de información geográfica.....	10
IV. MATERIALES Y METODOS.....	12
4.1 Ubicación del área de estudio.....	12
4.2 Materiales.....	13
4.3 Metodología.....	13
V. RESULTADOS	15

VI. DISCUSION	16
VII CONCLUSIONES.....	17
VIII BIBLIOGRAFÍA.....	19
IX ANEXOS.....	22
Anexo A. Información estadística digital usada para la generación de mapa de distribución.....	22
CAPITULO II. EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD EN HOSPEDANTES DIFERENCIALES A POSIBLES VIRUS PRESENTES EN CLADODIOS ENGROSADOS DE NOPAL (<i>Opuntia ficus- indica</i>).....	28
I INTRODUCCION.....	28
II. OBJETIVO.....	29
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	30
3.1 Engrosamiento de Cladodios o Chatilla (agente causal desconocido).....	30
3.2 Insectos asociados al cultivo del nopal.....	31
3.2.1 Picudo grande del nopal.....	32
3.2.2 Picudo de las espinas.....	33
3.2.3 Gusano blanco del nopal.....	34
3.2.4 Gusano cebra.....	35
3.2.5 Chinche gris.....	36
3.2.6 Chinche roja del nopal.....	37
3.2.7Grana o cochinilla.....	38
3.2.8 Trips del nopal.....	40
3.2.9 Palomilla de las cactáceas.....	41
3.3 Importancia de las Enfermedades Virales.....	43

3.4 Enfermedades causadas por virus en cactáceas.....	45
3.4.1 Virus cactus 2 (CV2).....	45
3.4.2 Virus X de los cactus (CVX).....	46
3.4.3 Virus Opuntia Sammons'(SOV).....	49
3.4.4 Virus saguaro cactus (SCV).....	50
3.4.5 Virus Zigocactus Montana X.....	52
3.4.6 Virus zigocactus (ZV).....	55
3.4.7 Virus marchitez manchada del tomate (TSWV).....	56
3.5 Luteovirus.....	57
3.6 Ensayos con virus.....	58
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
4.1 Colecta de Material Biológico.....	59
4.2 Pruebas de susceptibilidad en Hospedantes diferenciales.....	61
4.3 Pruebas de transmisión con insectos vectores.....	62
V. RESULTADOS.....	62
5.1 Pruebas de susceptibilidad en Hospedantes diferenciales.....	62
5.2 Pruebas de transmisión con insectos vectores.....	64
VI DISCUSION.....	66
CONCLUSIONES.....	67
VII. BIBLIOGRAFIA.....	68
CAPITULO III. REGULADORES DE CRECIMIENTO ASOCIADOS	
AL ENGROSAMIENTO DE CLADODIOS DEL NOPAL.....	73
I. INTRODUCCIÓN.....	73
II. OBJETIVOS.....	74

2.1 Objetivo general.....	74
2.2 Objetivos específicos.....	74
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	75
3.1 Reguladores de crecimiento vegetal (RCV).....	75
3.2 Auxinas.....	77
3.3 Citocininas.....	81
3.4 Giberelinas.....	83
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	85
4.1 Obtención de extractos.....	86
V. RESULTADOS.....	88
VI. DISCUSION.....	102
VII. CONCLUSIÓN.....	103
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	105

INDICE DE CUADROS

CAPITULO II. EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD EN HOSPEDANTES

DIFERENCIALES A POSIBLES VIRUS PRESENTES EN CLADODIOS

ENGROSADOS DE NOPAL (*Opuntia ficus- indica*).

Cuadro 1. Desarrollo fenológico de nopal tuna y presencia de plagas.....31

Cuadro 2. Síntomas en plantas indicadoras y diferenciales Inoculadas mecánicamente..63

Cuadro 3. Insectos colectados y usados como posibles vectores.....65

CAPITULO III. REGULADORES DE CRECIMIENTO ASOCIADOS AL

ENGROSAMIENTO DE CLADODIOS DEL NOPAL

Cuadro 1. Número de muestras tomadas por municipio para el análisis de contenido de hormonas vegetales.....86

Cuadro 2. Parámetros de gradiente CLAR fase reversa (Pan *et al.* 2010).....87

Cuadro 3. Tiempos de retención de los estándares internos.....88

Cuadro 4. Ejemplo de la obtención de X^2 calculada en una muestra de nopal del municipio de Axapusco, Edo. de México.....90

Cuadro 5. Valores de X^2 por muestra en los diferentes municipios del área en estudio.....91

Cuadro 6. Concentración hormonal de las muestras analizadas por CLAR en 50 μ L inyectados al cromatografo.....92

Cuadro 7. Concentración hormonal en 1000 μ L de MeOH.....94

Cuadro 8. Concentración de reguladores de crecimiento vegetal en peso seco de tejido de cladodios de nopal (ng/mg).....96

Cuadro 9. Porcentaje de concentración de reguladores de crecimiento vegetal en plantas con engrosamiento respecto de plantas sin síntomas.....98

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ENGROSAMIENTO DE CLADODIOS DE NOPAL EN EL VALLE DE TEOTIHUACÁN.

Figura 1. Municipios del área de estudio.....	12
Figura 2. Secuencia de procedimientos para generación de mapas.....	15
Figura 3. Representación del área de dispersión.....	16

CAPITULO II. EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD EN HOSPEDANTES DIFERENCIALES A POSIBLES VIRUS PRESENTES EN CLADODIOS ENGROSADOS DE NOPAL (*Opuntia ficus- indica*).

Figura 1. <i>Metamasius spinolae</i> Gyllenhal.....	33
Figura 2. <i>Melitara nephelepasa</i> (Dyar).....	36
Figura 3. <i>Chelinidea tabulata</i> (Burmeister).....	37
Figura 4. <i>Hesperolabops gelastops</i> Kirk.....	38
Figura 5 <i>Dactylopius opuntiae</i> Cockerell.....	40
Figura 6. <i>Cactoblastis cactorum</i> Berg.....	43
Figura. 7 Ubicación del Estado de México dentro de la República Mexicana.....	59
Figura. 8. Localización de la zona de muestreo en el Valle de Teotihuacán, principal área de producción de nopal del Estado de México.....	60
Figura. 9. Detalle de los municipios que conforman la zona de producción de Nopal en el Valle de Teotihuacán.....	60
Figura 10. Desarrollo de especies de plantas indicadoras y diferenciales en condiciones de invernadero.....	65

CAPITULO III. REGULADORES DE CRECIMIENTO ASOCIADOS AL ENGROSAMIENTO DE CLADODIOS DEL NOPAL

Figura 1. Cromatograma de planta con síntoma de engrosamiento, muestra 1 ...	89
Figura 2. Cromatograma de planta sin síntomas de engrosamiento, muestra sana 1.....	89
Figura 3. Concentración Ácido Giberélico en plantas con ECN y en plantas sin ECN.....	99
Figura 4. Concentración de Ácido indolacético	100
Figura 5. Concentraciones de Ácido Indolbutírico.....	100
Figura 6. Reguladores de crecimiento encontrados en nopal.....	101
Figura 7. Reguladores presentes en nopal omitiendo AIB	101

ABREVIATURAS USADAS

ECN: Engrosamiento de cladodios del nopal

CESAVEM: Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México

AP: Agricultura de Precisión

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

SIG: Sistemas de Información Geográfica

CLAR: Cromatografía Líquida de Alta Resolución

RCV: Reguladores de crecimiento vegetal

AIA: Ácido indol acético

AIB: Ácido indolbutírico

GA: Ácido Giberélico

I INTRODUCCIÓN GENERAL.

En la zona semiárida de México se encuentra la mayor riqueza en cuanto a diversidad genética de especies y cultivares de nopal (*Opuntia* spp.) del mundo; debido a ello, México es considerado como uno de los dos centros de origen y dispersión del género, el otro está en Suramérica.

Las enfermedades representan uno de los factores limitantes en el manejo agronómico de cualquier cultivo. En el caso particular del nopal, a pesar de la importancia social y económica que su cultivo y aprovechamiento representa en el medio rural, los trabajos de investigación científica a nivel nacional, con respecto a las enfermedades son reducidos, por lo que el conocimiento y la literatura que existe sobre el tema es escasa, lo cual ya era consignado por Canales desde 1983 y reafirmado por Pimienta (1990), Osorio y Soto (1994); dicha tendencia ha permanecido invariable a través de estos años. Como consecuencia de lo anterior, se presenta una confusión entre la sintomatología y los agentes causales, lo cual dificulta su completa identificación y por ende su control.

A pesar de los numerosos reportes sobre enfermedades del nopal, hasta la fecha no se han hecho estudios sistemáticos de esas enfermedades. Pueden clasificarse como infectivas (bióticas) y no infectivas (abióticas). Las primeras son causadas por varios agentes vivos como bacterias, fitoplasmas, hongos, nematodos, virus y algunos organismos aún no identificados como los tipo - fitoplasma y tipo-virus.

El engrosamiento o hinchamiento excesivo de cladodios ha sido reportado en México bajo el nombre de "engrosamiento de cladodios, Chatilla o Nopal macho" y es uno de los problemas más serios del cultivo del nopal en el país (Gutiérrez, 1992; Pimienta, 1974).

Los síntomas característicos de la sintomatología son un crecimiento reducido de la planta seguido de un engrosamiento del cladodio y una pérdida gradual del color verde característico, se reduce la producción de flores y las que salen, aparecen en la parte plana del cladodio (en cladodios sanos la flor sale en la orilla superior).

A pesar de que han transcurrido poco más de 4 décadas desde el primer trabajo formal sobre esta sintomatología realizado por García en 1967 titulado "Estudio sobre posibles enfermedades virosas del nopal. Gen. Opuntia", no existe en la actualidad un estudio contundente de las causas de este síntoma, no obstante que el nopal esta actualmente distribuido en más de 20 países en el mundo. Se podría pensar, que la simple poda y eliminación de las plantas que presentan síntomas de la enfermedad es suficiente para su manejo y así ocurre pero solo al principio puesto que tras un año de su implementación este tipo de manejo se torna inefectivo ya que aparecen brotes secundarios en las plantaciones saneadas. Debido a esto, en el presente trabajo se han planteado diferentes hipótesis en el afán de caracterizar y encontrar la causa de la enfermedad.

II. JUSTIFICACIÓN

A pesar del extenso trabajo que se ha realizado a escala nacional en la determinación del agente causal de la enfermedad conocida como “chatilla”, “engrosamiento de cladodios” ó “nopal macho”, no existe información que avale su verdadero origen.

En el Estado de México, el problema fitosanitario referido arroja los siguientes impactos económicos, tan solo considerando la reducción de la producción y calidad de fruta y en base al diagnóstico. Se tiene que el porcentaje de infección al cultivo por hectárea oscila hasta en un 10% de plantas dañadas; es decir, que existen en promedio 60 plantas enfermas por hectárea de las cuales, la fruta de tuna se considera de mala calidad por no alcanzar los estándares que exige el mercado. Esta es la principal razón por lo cual el productor deja de recibir en promedio \$ 1,020.00 pesos por ha y que multiplicado por el total de la superficie cultivada de tuna es de 15,672.5 ha, resultando una perdida estimada en \$15,985,950.00 a nivel nacional debido a dicho problema (CESAVEM 2010 com. pers.) De aquí la importancia de conocer los causales del problema para la aplicación de métodos apropiados de manejo.

III. OBJETIVO GENERAL.

Conocer la causa del engrosamiento de cladodios del nopal a través de la evaluación de factores bióticos y bioquímicos.

IV. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer la relación entre el engrosamiento del cladodio del nopal y la infección por virus transmitida por vectores e identificar el vector del agente patogénico denominado engrosamiento del cladodio del nopal

Analizar los principales reguladores de crecimiento obtenidos a partir de cladodios de nopal sanos y engrosados con la finalidad de correlacionar su contenido con dicha alteración en este tipo de plantas.

Generar mapas regionales de distribución espacial de la incidencia de la enfermedad

CAPITULO I. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ENGROSAMIENTO DE CLADODIOS DE NOPAL EN EL VALLE DE TEOTIHUACÁN.

I. INTRODUCCIÓN.

El engrosamiento de cladodios fue reportado por primera vez en México, pero también está presente en Chile, Argentina, Sudáfrica, Italia (Pimienta, 1974; Gutiérrez, 1992) y Estados Unidos (Felker *et al.* 2009). En México se encuentra presente en las principales zonas productoras de nopal tunero (Pimienta *et al.* 1975) y ha llegado a ser un problema serio en las regiones productoras de los estados de Zacatecas (Jiménez 2007), Guanajuato (Reveles 2007) y México (García 1967) (Pimienta 1990).

La agricultura moderna busca la maximización del uso del suelo, insumos y de los cultivos. Por este motivo, cada vez más herramientas computacionales son incorporadas al proceso de producción agropecuario, buscando la disminución de los costos de producción y la mejora de la calidad ambiental, por medio del uso racional del suelo y de la aplicación de insumos en cantidades adecuadas para el pleno desarrollo de los cultivos. Así que, los agricultores dejarían de practicar una agricultura productivista y pasarían a practicar una agricultura sostenible, denominada agricultura de precisión.

La Agricultura de Precisión (AP) es un concepto agronómico, basado en la existencia de una importante variabilidad espacial a nivel de campo. Requiere del

uso de varias herramientas tecnológicas dentro de las cuales destacan, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar el uso de fertilizantes, optimizar la gestión del recurso hídrico, predecir con más exactitud la producción de los cultivos y la calidad del producto final, así como también optimizar los rendimientos a través de prácticas de cosechas automatizadas. Del mismo modo, el uso de estas tecnologías contribuye a una adecuada toma de decisiones, desde el punto de vista del manejo técnico-productivo, económico y ambiental.

La importancia de conocer la ubicación y tendencias de dispersión de las enfermedades de plantas radica en la creación de técnicas de muestreo que tengan como objetivo optimizar el esquema de toma de muestras para abaratar los costos de producción.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar la distribución espacial y la representación gráfica de la sintomatología conocida como engrosamiento de cladodios de nopal en 6 municipios de la región del valle de Teotihuacán a partir de la implementación y el uso de Sistemas de Información Geográfica.

2.2 Objetivos Específicos.

- Identificar la incidencia del engrosamiento de cladodios de nopal por medio de diagramas de distribución en el valle de Teotihuacán, Estado de México.
- Generar diagramas informativos y temáticos donde se represente la variabilidad de la enfermedad en la región estudiada.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

3.1 La agricultura de precisión

Para Schueller (2000) (citado por Siqueira 2007) la agricultura de precisión es dividida en tres subsistemas: uno de monitorización (toma y almacenamiento de datos); uno de manejo (toma de decisión) y otro de control (gestión y manipulación de la información). En principio todos son muy importantes, pero la monitorización es lo que más influye sobre los resultados, pues todas las informaciones adquiridas en esta fase favorecen la utilización de tecnologías geoespaciales para determinar la variabilidad espacial y posterior determinación de las llamadas “zonas de manejo” y de las estrategias de gestión.

Así, es cada vez más necesario la utilización conjunta de técnicas de análisis que sean capaces de determinar los patrones de variabilidad espacial de las propiedades del suelo y de los cultivos, requiriendo el menor número posible de

muestras. En este sentido, Webster y Oliver (1990) destacan la importancia de técnicas de muestreo que tengan como objetivo optimizar el esquema de toma de muestras para abaratar los costos de producción. Una de las grandes dificultades encontradas en los estudios de variabilidad espacial del suelo ha sido la determinación del espaciamiento ideal de muestreo, y que en algunas situaciones puede interferir en la aplicación de técnicas de agricultura de precisión.

La revolución digital de finales del siglo pasado permitió una mayor accesibilidad a la información geográfica. La implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite analizar hechos y oportunidades; y la resolución de problemas y conflictos utilizando información proveniente de un rango amplio de disciplinas. Esta tecnología, se ha convertido en herramienta fundamental de análisis y toma de decisiones, pero es necesario un trabajo en conjunto, es decir, la unión de conocimientos científicos y técnicas que permitan su tratamiento.

Los SIG, permiten relacionar información de cualquier tipo (base de datos) con una localización geográfica, integración de diversas variables, facilitando su análisis, permitiendo incluso la creación de modelos y proyecciones futuras. Otra característica de los SIG es la facilidad para relacionar simultáneamente, por medio de capas, diferentes tipos de información con una localización geográfica. Esto permite comparar y analizar información con el fin de revelar causas y efectos muy difíciles de analizar con métodos cuantitativos tradicionales. Por ejemplo, el relacionar las condiciones actuales de los factores físico-químicos y

bacteriológicos de la calidad del agua en los acueductos comunales con las enfermedades consignadas en los historiales de las USIS de la misma área.

3.2 Descripción conceptual sobre la AP

La AP puede definirse como la aplicación de un conjunto de técnicas, apoyadas por equipamiento de alta tecnología, para el manejo de la producción agrícola en forma sitio-específica.

Según Fountas *et al.* (2003) la AP se define como el “manejo de la variabilidad espacial y temporal a nivel de sub-parcela de campo, para mejorar el retorno económico y reducir el impacto ambiental”. Por su parte, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) define la AP como un “concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de variabilidad en campo”. Asimismo, el CITRA de la Universidad de Talca define la AP como un “conjunto de herramientas tecnológicas que permiten identificar, analizar y modelar la variabilidad espacial y temporal de los cuarteles agrícolas, con la finalidad de poder manejarla de acuerdo a los objetivos productivos de cada empresa en particular”. Con base a lo anterior, esta variabilidad podría ser explotada mediante la implementación de manejos diferenciados, como lo es por ejemplo la práctica de cosecha diferenciada. Esta práctica busca explotar al máximo en el caso del viñedo la variabilidad del cuartel, obteniendo como resultado la producción de vinos finos de alta calidad. Por otro lado, existe una segunda estrategia que a diferencia de la anterior, busca reducir al mínimo esta variabilidad, esperando como resultado una producción lo más homogénea

posible, esta práctica es lo que se busca en la producción tradicional de cultivos y frutales.

3.3 Los sistemas de información geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son un conjunto integrado de métodos, herramientas y actividades que actúan de forma coordinada para recolectar, evaluar, almacenar, validar, actualizar, manipular, integrar y analizar los datos geográficos con el fin de obtener información que satisfaga los requerimientos planteados por los usuarios para la toma de decisiones. Son un método y una herramienta básica que permite interrelacionar diversas variables, las cuales conllevan a la obtención de información detallada y verídica, fácil de analizar e interpretar y ayuda a la planificación, toma de decisiones y un contenedor dinámico de la información que se obtiene (Pérez, 1997).

Los SIG representan una herramienta útil a nivel de diagnóstico y proyección en ámbitos municipales, regionales, nacionales, empresariales, centros de investigación y consultoría. El sistema provee elementos para la creación de una representación digital de fenómenos geográficos; edita, actualiza, administra, almacena, verifica, valida datos y convierte formatos; permite efectuar análisis, simulación, síntesis y facilita el razonamiento espacial. Su uso permite la creación de estrategias para mitigar, atenuar, evitar, el efecto ya sea sobre la población o sobre el medio ambiente y reduzca dicho impacto a niveles aceptables.

Al ser imprescindible que se incorpore la plataforma ambiental en el modelo de desarrollo de México y que las decisiones públicas o privadas no sigan subestimando los beneficios que ofrecen los bienes y servicios ambientales, se hace obligatorio el uso de los SIG, los cuales poseen ciertas características como el manejo de herramientas espaciales de análisis y las interfaces de usuario personalizadas, que permiten llevar a cabo consultas cuyos resultados generan despliegues gráficos útiles para la toma de decisiones en los programas de control y seguimiento de ciertos fenómenos como lo son: la contaminación de suelos, aire y cuerpos de agua, la invasión del espacio público, el manejo del transporte, la contaminación por ruido, visual y paisajística, los problemas ambientales en las construcciones y en sus dotaciones de servicios públicos, los deficientes manejos ambientales de los residuos sólidos y el agua, la invasión de zonas de alto valor ecosistémico, la asignación de licencias ambientales y la expedición de permisos de explotación minera, entre otros (SIAT)

La componente espacial tiene un peso de importancia en la estimación del riesgo de transmisión de las enfermedades relacionadas con la calidad del agua. Por ello, el uso de datos provistos por sensores remotos, los métodos de análisis espacial y geográfico y el uso de navegadores satelitales en el contexto de sistemas de información geográfica tienen especial interés, ya que ofrecen la posibilidad de realizar detallados análisis con una buena cobertura geográfica. Los datos y enfoques de trabajo disponibles tendrán mayor o menor relevancia dependiendo de las preguntas formuladas en el proyecto de trabajo. Definiendo la escala espacial del análisis, las especies involucradas y las variables ambientales

involucradas, llegan a ser relevantes y de una vital importancia en la planificación y caracterización de las especies estudiadas (Gorla 2002)

Para facilitar la toma de decisiones fundamentada en intervenciones que tienen por objetivo la prevención y control de enfermedades, se debe evaluar los focos causales.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se ubicó en la región del valle de Teotihuacán, en los municipios de Nopaltepec, Temascalapa, Teotihuacán, San Martín de las Pirámides, Otumba y Axapusco en el Estado de México (Figura 1), Localizada entre 2 270 msnm hasta los 2450 metros sobre el nivel del mar, su área municipal cubre 721.28 Km².

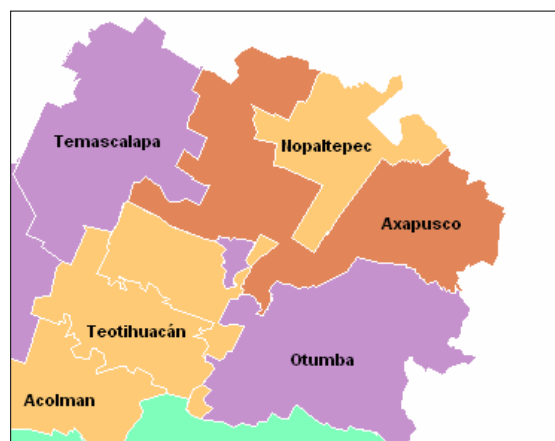


Figura 1. Municipios del área de estudio.

La información utilizada para el desarrollo de este trabajo fue suministrada por el CESAVEM mediante el Sistema de Información de Campañas Fitosanitarias.

La información estadística de la zona de estudio se obtuvo de los muestreos de engrosamiento de cladodios comprendidos en el año 2011. La incidencia (en porcentaje) se obtuvo a partir del muestreo al azar de plantas de acuerdo con los manuales operativos de la Campaña Manejo Fitosanitario del Nopal.

4.2 Materiales

Datos base. Información estadística digital de la Campaña Manejo Fitosanitario del Nopal (Anexo A). De un total de 236 ha exploradas y georreferenciadas se tomaron 14161 plantas muestreadas, de las cuales 901 presentaban el síntoma de ECN, lo que representa un 6.36 % de incidencia de síntomas.

El programa utilizado para la captura, procesamiento, integración, análisis y salida de datos fue el Surfer 6.0 (Figura 2).

4.3 Metodología

Para la obtención del porcentaje de incidencia se muestrearon al azar 60 plantas por hectárea y se georreferenció el punto medio de esta, teniendo 50 m de la orilla de la hectárea al punto medio, de acuerdo al manual de procedimientos de la Campaña manejo fitosanitario del nopal del CESAVEM.

Se construyó el modelo de datos para la obtención de la distribución espacial y representación grafica de la sintomatología en la región productora de tuna en seis municipios del valle de Teotihuacán que presentan una compleja situación del engrosamiento de cladodios del nopal.

Procedimiento seguido para la obtención de mapas de distribución:

- a) Se seleccionó File New.
- b) Se seleccionó worksheet. Y se presionó OK para aceptar.
- c) Se generó la matriz introduciendo Coordenadas Geograficas X, Y; Z fue la variable en estudio, en este caso el porcentaje de incidencia.
- d) Al finalizar se seleccionó FILE – SAVE AS, y se dio un nombre de archivo con extensión DAT y se definió la carpeta de guardado.
- e) Se seleccionó el inciso a) pero ahora se seleccionó la opción PLOT.
- f) Apareció una nueva ventana llamada PLOT 2. Se seleccionó GRID y DATA.
- g) Automáticamente apareció la carpeta usada para salvar el WORKSHEET y se seleccionó el archivo .DAT
- h) Apareció una ventana de asignación de valores para efectuar una interpolación con base en la matriz original. Se definieron las variables para X, Y, Z donde X es la Longitud, Y es la latitud y Z el porcentaje de incidencia. Se recalcularon datos por el método geoestadístico KRIGING. Al final se seleccionó OK y con esto se generó otro archivo automáticamente, con el mismo nombre pero con la extensión .GRD
- i) En la misma ventana (PLOT 2) se selecciona MAP y la opción de mapa deseado. Se ilustró con la opción surface que generó una grafica tridimensional interpolativa.

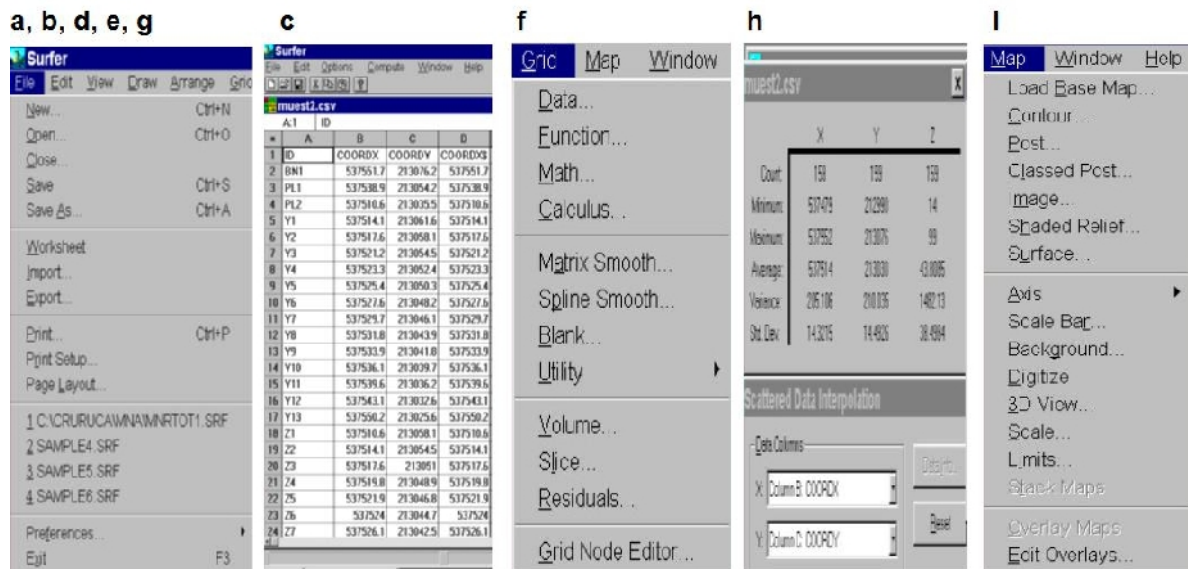


Figura 2. Secuencia de procedimientos para generación de mapas en Surfer 6.

V. RESULTADOS

Se realizó un mapa de distribución que facilita el análisis espacial de la enfermedad y el área afectada dando a conocer las altas tasas de incidencia, lo que facilita el proceso de selección de las intervenciones de prevención y control según prioridades.

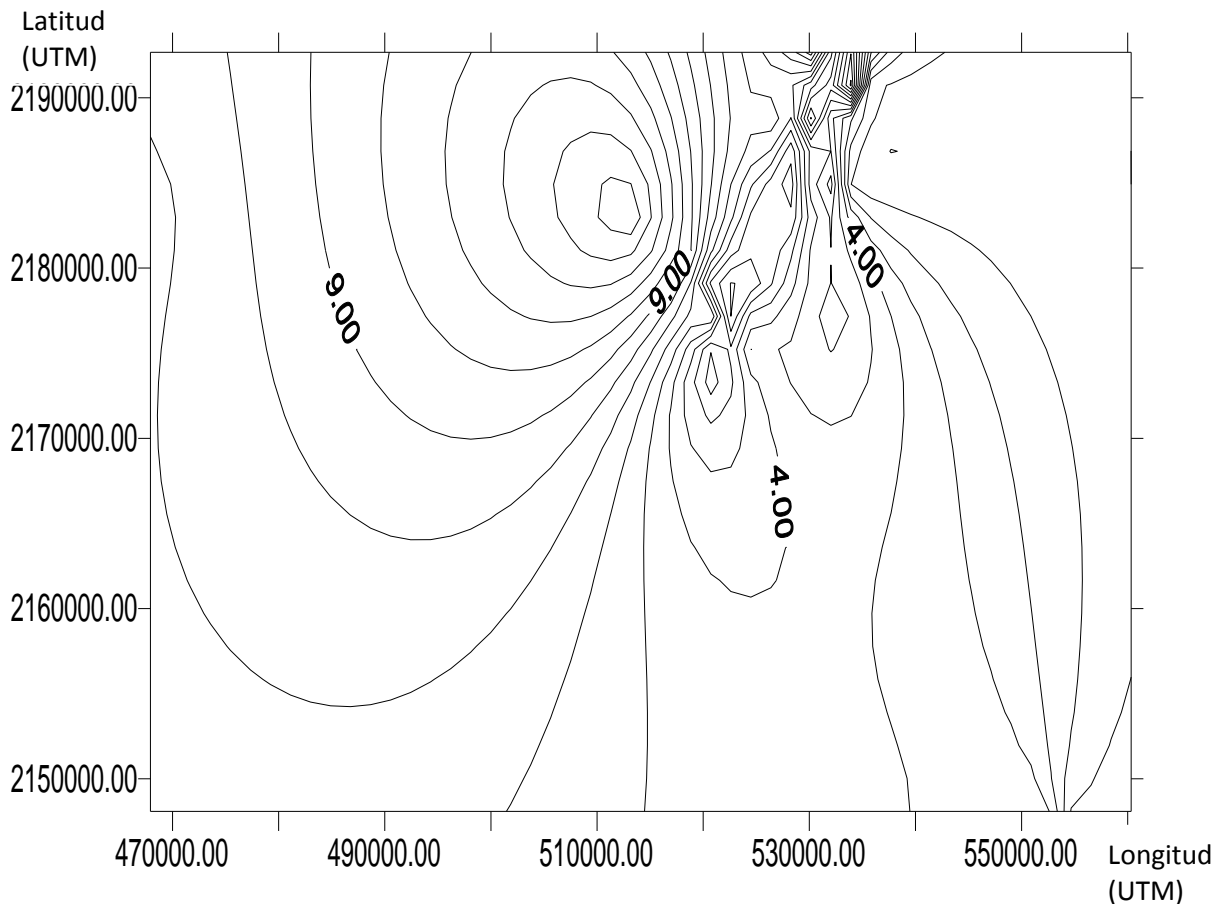


Figura 3. Representación del área de dispersión. Área de influencia de los Municipios en estudio, así como regiones de mayor porcentaje de incidencia de la enfermedad. Para consultar referencia geográfica de coordenadas y porcentaje de incidencia usados ver (Anexo A).

De acuerdo a la información obtenida, se puede decir que existe una mayor incidencia del ECN en la región nororiente del valle de Teotihuacán que comprende la región de los municipios de Axapusco y Nopaltepec con respecto a los demás municipios en estudio.

VI DISCUSIÓN

Existen estudios que utilizan las herramientas de análisis geoestadístico y en específico el Software Surfer para determinar la distribución espacial de varios tipos de vectores de enfermedades, como lo realizado por Solano (2008) con

Brevipalpus phoenicis (vector de la leprosis de los cítricos) y el comportamiento de enfermedades (Pérez 2004); pero estos análisis se realizaron en superficies pequeñas de una o pocas hectáreas, realizando el muestreo en cuadrantes. En el presente trabajo, el uso de esta metodología desarrollada a partir de datos recabados en una región extensa representada por seis municipios del valle de Teotihuacán, y donde se consideraron porcentaje de plantas con síntomas de engrosamiento por unidad de superficie, fue bastante informativa porque permitió ver la amplia distribución del problema en el cultivo del nopal basado solamente en la sintomatología observada.

Teniendo en cuenta lo anterior, una vez que se tenga la certeza del causante de la enfermedad en caso de ser un agente biótico, se sugiere que se manejen aéreas pequeñas para la determinación del comportamiento espacio-temporal del engrosamiento de cladodios para que se pueda hacer un diagnóstico de las plantas muestreadas en diferentes cuadrantes aun cuando no se presenten síntomas en estas, como lo realizado por Pérez (2004) con el fitoplasma del amarillamiento letal del cocotero, de lo contrario se incurre en errores al asumir que una planta que no presenta síntomas es sana o que los síntomas de toda planta engrosada es por una misma razón.

VII CONCLUSIONES

La aplicación de Surfer 6., es una herramienta de mucha utilidad que se ha tornado fundamental para el análisis y toma de decisiones en la evidencia y

solucionar problemas de índole fitopatológico, igual que el revelar causas y efectos difíciles de analizar por métodos cuantitativos tradicionales, constituyéndose en un mecanismo de monitoreo y seguimiento. De igual forma, el uso de la herramienta informática tendría un mayor efecto en el diseño de políticas públicas, eficiencia en el gasto y la inversión social, programas de prevención y mecanismos de control.

La utilización de paquetes computacionales permitió analizar el comportamiento de la distribución del ECN teniendo en cuenta las áreas vulnerables, es decir, los municipios que presentan una mayor probabilidad de verse afectados, los cuales son Axapusco y Nopaltepec, que se encuentran en la colindancia del Estado de México con Hidalgo. Este trabajo permite la implementación de Surfer 6 como Sistema de Información Geográfica para representar la incidencia de enfermedades relacionadas con el nopal.

El uso de Diagramas de distribución espacial de enfermedades permite una mayor eficiencia y rapidez en la implementación de acciones dentro de un Manejo integrado de enfermedades.

VIII BIBLIOGRAFÍA

Fountas, S., Ess, D. R., Sorensen, C. G., Hawkins, S.E., Pedersen, H.H., Blackmore, B.S. and Lowenberg-De Boer J. 2003. "Information Sources in Precision Agriculture in Denmark and the USA," Werner, A., and Jarfe, A., ed. Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture, J.

García, E., R.1967. Estudio sobre posibles enfermedades virosas del nopal. Gen. Opuntia. Universidad Nacional Autónoma de México. 33pp.

Gorla, D. E. 2002. Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica en el estudio de vectores de enfermedades humanas. In: led, S. O. D., Actualizaciones en Artropodología Sanitaria Argentina. Buenos Aires: Fundación Mundo Sano, pp.203-211. ISBN 987- 20421-0-1

Jiménez,H. Y., Robles Y. L., Rodríguez, G. R.,. González C. M. M., Mena, C. J., Reveles T. L. R., Mondragón, J. C.2007. Hongos asociados al engrosamiento de cladodios de nopal. In: *XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas .Zacatecas, Zac.*

Pérez, G. U. 1997. Los Sistemas de Información Geográfica y su aplicación dentro de la planificación y manejo ambiental de cuencas hidrográficas. Universidad del Tolima, Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior - ICFES -

y el Ministerio del Medio Ambiente. Proyecto Capacitación para Profesionales del Sector Ambiental FORAMBIENTE. 26 p.

Pérez, H.O., Góngora, C.C.C., Medina L.M.F., Oropeza, S.C., Escamilla, B.J.A., Mora, A.G. 2004. Patrón espacio-temporal del amarillamiento letal en cocotero (*Cocos nucifera* L.) en Yucatán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22:002 pp. 231-238

Pimienta, B., E. 1974. Estudios de las causas que producen engrosamiento de cladodios de nopal (*Opuntia* spp) en la zona de Chapingo. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Fitopatología. Colegio de Postgraduados. 67 p.

Pimienta, B: E: 1990. El nopal Tunero. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 246 p

Reveles, L. R., Berumen L., Mena, J., González M. M. 2007. Presencia de fitoplasmas determinados por pcr-anidado en nopal (*Opuntia* spp) con síntomas de engrosamiento. In: *XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas .Zacatecas, Zac.*

Schueller, J.K. 2000. A Agricultura de precisão: visão externa. O estado-daarte da agricultura de Precisão nos Estados Unidos. In: Balastreire, L. A. *O estudo da arte da agricultura de precisão no Brasil*. ESAQ-USP. Piracicaba, p. 8-16.

Siqueira, G. M., Vieira S. R., Souza Z. M., Dafonte, J. Paz, A. 2007. Utilización de herramientas estadísticas y geoestadísticas para optimización del muestreo. In: Cervera G. y Jiménez, H. F. J. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VIII.*

Sistema de información ambiental territorial SIAT, <http://siq.cas.gov.co/siat>

Webster, R.; Oliver, M.A. 1990. *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford University Press. Oxford. 316p.

Felker P., Bunch R. 2009. Progreso en la identificación del agente causal de "engrosamiento del cladodio o macho" In. *VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal"*. UANL. Escobedo, Nuevo León, México

IX Anexo

Anexo A. Información estadística digital usada para la generación de mapa de distribución.

Municipio	Latitud	Longitud	No Unidades Muestreadas	NoUnidades Muestreadas positivas	Infestacion %
Axapusco	19.80284	-98.76685	60	3	5.00
Axapusco	19.73498	-98.76949	60	2	3.33
Axapusco	19.74641	-98.69381	60	4	6.66
Nopaltepec	19.82611	-98.67	60	6	10.00
Nopaltepec	19.80624	-98.67549	60	6	10.00
Nopaltepec	19.78443	-98.73863	60	1	1.66
Nopaltepec	19.78579	-98.73717	60	2	3.33
Nopaltepec	19.78531	-98.74044	60	4	6.66
Nopaltepec	19.81544	-98.67275	60	12	20.00
Nopaltepec	19.79996	-98.69054	60	6	10.00
Nopaltepec	19.81575	-98.67007	60	11	18.33
Nopaltepec	19.81215	-98.66988	60	2	3.33
Nopaltepec	19.81527	-98.6694	60	2	3.33
Nopaltepec	19.79151	-98.72045	60	5	8.33
Nopaltepec	19.7578	-98.70363	60	12	20.00
Nopaltepec	19.78787	-98.72033	60	2	3.33
Nopaltepec	19.78518	-98.72031	60	3	5.00
Nopaltepec	19.75999	-98.70368	60	7	11.66
Nopaltepec	19.79737	-98.70197	60	8	13.33
Nopaltepec	19.80637	-98.68377	60	6	10.00
Nopaltepec	19.82176	-98.67338	60	10	16.66
Nopaltepec	19.7578	-98.70363	60	5	8.33
Nopaltepec	19.78787	-98.72033	60	5	8.33
Nopaltepec	19.81926	-98.67307	60	1	1.66
Nopaltepec	19.80127	-98.6862	60	4	6.66
Nopaltepec	19.80127	-98.6862	60	2	3.33
Nopaltepec	19.77219	-98.71531	60	2	3.33
Nopaltepec	19.82199	-98.67255	60	11	18.33
Nopaltepec	19.80524	-98.67324	60	5	8.33
Nopaltepec	19.80524	-98.67324	60	5	8.33
Nopaltepec	19.81575	-98.67007	60	3	5.00
Nopaltepec	19.81527	-98.6694	60	16	26.66
Nopaltepec	19.80524	-98.67324	60	4	6.66
Nopaltepec	19.80585	-98.67102	60	4	6.66
Nopaltepec	19.80624	-98.67549	60	4	6.66
Nopaltepec	19.47306	-98.43873	60	0	0.00
Nopaltepec	19.49753	-98.42517	60	0	0.00
Nopaltepec	19.47304	-98.43874	60	0	0.00
Nopaltepec	19.81215	-98.66988	60	2	3.33
Nopaltepec	19.78787	-98.72033	60	2	3.33
Nopaltepec	19.78787	-98.72033	60	2	3.33

Nopaltepec	19.78787	-98.72033	60	7	11.66
Nopaltepec	19.78787	-98.72033	60	7	11.66
Nopaltepec	19.78787	-98.72033	60	7	11.66
Nopaltepec	19.79151	-98.72045	60	5	8.33
Nopaltepec	19.79151	-98.72045	60	6	10.00
Nopaltepec	19.77219	-98.71531	60	3	5.00
Nopaltepec	19.79996	-98.69054	60	0	0.00
Nopaltepec	19.75366	-98.72079	60	1	1.66
Nopaltepec	19.75366	-98.72079	60	0	0.00
Nopaltepec	19.75366	-98.72079	60	4	6.66
Nopaltepec	19.78835	-98.73119	60	0	0.00
Nopaltepec	19.78835	-98.73119	60	1	1.66
Nopaltepec	19.82975	-98.70839	60	1	1.66
Nopaltepec	19.82975	-98.70839	60	0	0.00
Nopaltepec	19.82926	-98.70863	60	0	0.00
Nopaltepec	19.82926	-98.70863	60	1	1.66
Nopaltepec	19.7634	-98.67571	60	3	5.00
Nopaltepec	19.7634	-98.67571	60	0	0.00
Nopaltepec	19.82975	-98.70839	60	0	0.00
Otumba	19.68916	-98.69084	60	4	6.66
Otumba	19.68844	-98.79579	60	0	0.00
Otumba	19.6995	-98.79488	60	0	0.00
Otumba	19.70127	-98.78992	60	0	0.00
Otumba	19.70064	-98.7877	60	0	0.00
Otumba	19.6845	-98.77274	60	4	6.66
Otumba	19.69191	-98.799	60	5	8.33
Otumba	19.68985	-98.77902	60	0	0.00
Otumba	19.70326	-98.77193	60	0	0.00
Otumba	19.69828	-98.79211	60	0	0.00
Otumba	19.69599	-98.76989	60	0	0.00
Otumba	19.74226	-98.76556	60	1	1.66
Otumba	19.6999	-98.79979	60	0	0.00
Otumba	19.6999	-98.79979	60	0	0.00
Otumba	19.69944	-98.79579	60	0	0.00
Otumba	19.73543	-98.70448	60	4	6.66
Otumba	194324.8	-9848010.5	60	0	0.00
Otumba	19.42858	-98.48569	60	0	0.00
Otumba	19.44132	-98.46149	60	0	0.00
Otumba	19.42638	-98.48316	60	0	0.00
Otumba	19.42831	-98.48625	60	0	0.00
Otumba	19.68916	-98.69084	60	4	6.66
Otumba	19.6995	-98.79488	60	0	0.00
Otumba	19.6995	-98.79488	60	0	0.00
Otumba	19.69907	-98.79223	60	0	0.00
Otumba	19.44132	-98.46149	60	4	6.66
Otumba	19.65954	-98.79951	60	0	0.00
Otumba	19.66485	-98.79946	60	0	0.00
Otumba	19.66541	-98.80264	60	0	0.00
San Martín de Las	19.70757	-98.79233	60	0	0.00

Pirámides					
San Martín de Las Pirámides	19.70259	-98.79578	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.43988	-98.51427	60	2	3.33
San Martín de Las Pirámides	19.42679	-98.49875	60	2	3.33
San Martín de Las Pirámides	19.71675	-98.76434	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70588	-98.79242	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70398	-98.79858	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.74361	-98.87471	60	9	15.00
San Martín de Las Pirámides	19.72084	-98.81457	60	5	8.33
San Martín de Las Pirámides	19.69926	-98.79506	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.7031	-98.79668	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70706	-98.79136	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70185	-98.79546	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.69933	-98.79181	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70414	-98.79767	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70185	-98.79546	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70336	-98.79894	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.69858	-98.80211	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.69967	-98.79522	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70588	-98.79242	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.69926	-98.79506	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.6995	-98.79859	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70199	-98.79939	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70706	-98.79136	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70259	-98.79878	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70706	-98.79136	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.72537	-98.83773	60	2	3.33
San Martín de Las Pirámides	19.42979	-98.49588	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.4184	-98.48253	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.40582	-98.49001	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.46233	-98.51914	60	0	0.00

San Martín de Las Pirámides	19.44761	-98.51967	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.43461	-98.50297	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	18.40599	-98.49487	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.42943	-98.48995	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.43988	-98.51427	60	1	1.66
San Martín de Las Pirámides	19.71101	-98.83121	60	2	3.33
San Martín de Las Pirámides	19.69858	-98.80211	60	0	0.00
San Martín de Las Pirámides	19.70259	-98.79878	60	2	3.33
San Martín de Las Pirámides	19.7215	-98.81472	60	0	0.00
Temascalapa	19.7436	-98.91313	60	3	5.00
Temascalapa	19.78705	-98.86518	60	3	5.00
Temascalapa	19.47152	-98.56076	60	4	6.66
Temascalapa	19.8096	-98.82908	60	2	3.33
Temascalapa	19.77251	-98.91914	60	9	15.00
Temascalapa	19.76541	-98.91993	60	4	6.66
Temascalapa	19.77819	-98.89051	60	9	15.00
Temascalapa	19.77271	-98.91988	60	2	3.33
Temascalapa	19.73132	-98.90588	60	2	3.33
Temascalapa	19.73892	-98.92046	60	2	3.33
Temascalapa	19.78391	-98.80839	60	4	6.66
Temascalapa	19.78399	-98.80766	60	2	3.33
Temascalapa	19.78117	-98.80901	60	1	1.66
Temascalapa	19.78391	-98.80839	60	2	3.33
Temascalapa	19.78293	-98.92371	60	2	3.33
Temascalapa	19.78117	-98.80901	60	11	18.33
Temascalapa	19.78117	-98.80901	60	3	5.00
Temascalapa	19.79916	-98.91493	60	2	3.33
Temascalapa	19.77817	-98.83701	60	6	10.00
Temascalapa	19.79413	-98.91236	60	5	8.33
Temascalapa	19.78111	-98.84727	60	2	3.33
Temascalapa	19.77847	-98.8715	60	8	13.33
Temascalapa	19.75008	-98.92538	60	4	6.66
Temascalapa	19.77826	-98.84801	60	5	8.33
Temascalapa	19.77826	-98.84801	60	3	5.00
Temascalapa	19.77799	-98.82766	60	3	5.00
Temascalapa	19.77799	-98.82766	60	0	0.00
Temascalapa	19.77169	-98.81944	60	7	11.66
Temascalapa	19.77169	-98.81944	60	6	10.00
Temascalapa	19.77169	-98.91944	60	3	5.00
Temascalapa	19.7581	-98.91318	60	48	80.00
Temascalapa	19.7436	-98.91313	60	42	70.00
Temascalapa	19.7436	-98.91313	60	36	60.00
Temascalapa	19.78531	-98.88688	60	36	60.00

Temascalapa	19.74427	-98.91453	60	24	40.00
Temascalapa	19.81488	-98.89259	60	3	5.00
Temascalapa	19.74502	-98.91275	60	4	6.66
Temascalapa	19.75982	-98.91286	60	4	6.66
Temascalapa	19.79915	-98.83178	60	1	1.66
Temascalapa	19.80203	-98.83049	60	1	1.66
Temascalapa	19.50362	-98.52967	60	0	0.00
Temascalapa	19.47337	-98.52766	60	0	0.00
Temascalapa	19.50706	-98.53892	60	0	0.00
Temascalapa	19.4686	-98.51069	60	0	0.00
Temascalapa	19.78705	-98.86518	60	0	0.00
Temascalapa	19.47152	-98.56076	60	4	6.66
Temascalapa	19.73892	-98.92046	60	2	3.33
Temascalapa	19.47152	-98.56076	60	3	5.00
Temascalapa	19.47152	-98.56076	60	0	0.00
Temascalapa	19.77169	-98.81944	60	2	3.33
Temascalapa	19.78531	-98.88688	60	2	3.33
Temascalapa	19.74427	-98.91453	60	3	5.00
Temascalapa	19.81488	-98.89259	60	3	5.00
Temascalapa	19.74502	-98.91275	60	2	3.33
Temascalapa	19.80203	-98.83049	60	2	3.33
Temascalapa	19.80784	-98.88884	60	0	0.00
Temascalapa	19.47025	-98.54077	60	3	5.00
Temascalapa	19.78531	-98.88688	60	4	6.66
Temascalapa	19.75982	-98.91286	60	3	5.00
Teotihuacán	19.71147	-98.91182	60	3	5.00
Teotihuacán	19.71557	-98.91457	60	20	33.33
Teotihuacán	19.43742	-98.54398	60	1	1.66
Teotihuacán	19.71199	-98.91096	60	2	3.33
Teotihuacán	19.73028	-98.90524	60	3	5.00
Teotihuacán	19.71149	-98.91174	60	6	10.00
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	4	6.66
Teotihuacán	19.73487	-98.89512	60	2	3.33
Teotihuacán	19.73627	-98.89512	60	7	11.66
Teotihuacán	19.73937	-98.89312	60	8	13.33
Teotihuacán	19.73925	-98.89132	60	4	6.66
Teotihuacán	19.67841	-98.81811	60	1	1.66
Teotihuacán	19.73088	-98.90395	60	7	11.66
Teotihuacán	19.67956	-98.81926	60	7	11.66
Teotihuacán	19.74139	-98.89236	60	4	6.66
Teotihuacán	19.73028	-98.90524	60	2	3.33
Teotihuacán	19.43975	-98.55591	60	1	1.66
Teotihuacán	19.73768	-98.89321	60	2	3.33
Teotihuacán	19.73768	-98.89321	60	9	15.00
Teotihuacán	19.72898	-98.90205	60	42	70.00
Teotihuacán	19.72963	-98.90182	60	2	3.33
Teotihuacán	19.43234	-98.54254	60	4	6.66
Teotihuacán	19.71147	-98.91182	60	3	5.00
Teotihuacán	19.71557	-98.91457	60	20	33.33

Teotihuacán	19.71557	-98.91457	60	20	33.33
Teotihuacán	19.71199	-98.91096	60	2	3.33
Teotihuacán	19.71199	-98.91096	60	2	3.33
Teotihuacán	19.71199	-98.91096	60	2	3.33
Teotihuacán	19.71199	-98.91096	60	2	3.33
Teotihuacán	19.71199	-98.91096	60	2	3.33
Teotihuacán	19.71199	-98.91096	60	2	3.33
Teotihuacán	19.71199	-98.91096	60	2	3.33
Teotihuacán	19.71199	-98.91096	60	2	3.33
Teotihuacán	19.71199	-98.91096	60	2	3.33
Teotihuacán	19.4443	-98.53462	60	2	3.33
Teotihuacán	19.71149	-98.91174	60	6	10.00
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	6	10.00
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	4	6.66
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	4	6.66
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	4	6.66
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	4	6.66
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	4	6.66
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	4	6.66
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	4	6.66
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	4	6.66
Teotihuacán	19.71599	-98.90684	60	4	6.66
Teotihuacán	19.67841	-98.81811	60	3	5.00
Teotihuacán	19.73028	-98.90524	60	6	10.00
Teotihuacán	19.73768	-98.89321	60	5	8.33

CAPITULO II. EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD EN HOSPEDANTES DIFERENCIALES A POSIBLES VIRUS PRESENTES EN CLADODIOS ENGROSADOS DE NOPAL (*Opuntia ficus- indica*).

I. INTRODUCCIÓN

Los virus comprenden un grupo muy numeroso de patógenos que hasta cierto punto son difíciles de reconocer. A los virus podríamos definirlos como entidades biológicas y patogénicas muy pequeñas de naturaleza química muy simple.

Los virus son patógenos obligados que se multiplican solamente dentro de las células del huésped que infectan. Estos microorganismos infectan a sus huéspedes generalmente en forma sistémica, por consiguiente, están presentes en todos los tejidos del huésped infectado. Ambos pueden diseminarse a otras plantas sanas, según la forma de transmisión y/o de la dinámica de sus vectores.

Las enfermedades de las plantas que ahora se conocen causadas por virus se describieron desde el siglo XVI. Smith (1935) sugiere que el primer informe de una enfermedad provocada por un virus, la variegación de tulipán, fue reportado en 1576. Sin embargo, el concepto de virus fue desarrollado con los estudios sobre la naturaleza de la enfermedad del mosaico del tabaco. La mayoría de los revisores atribuyen el descubrimiento a Martínus Beijerinck, quien aprecia que había detectado un nuevo tipo de agente infeccioso, basado en la observación de que la infectividad en la savia tabaco se conservaba incluso después de pasar por un

filtro de porcelana de retención de bacterias. Beijerinck estudió el método de transmisión de la enfermedad, la estabilidad del agente, y su relación con los tejidos de la planta huésped (Zaitlin 2000)

En los inicios del estudio de los virus fitopatógenos en el siglo XX, la transmisión de virus por insectos fue muy apreciada. Se sabía desde 1900 que la fiebre amarilla puede ser transmitida por los mosquitos, pero antes, en 1883, las enfermedades del arroz enano habían demostrado ser transmitidas por un saltahoja. En la década de 1920, se encontró que los virus también pueden transmitirse a través de la semilla de la planta, aunque esto no es común. Estudios de laboratorio de Andrew Maule (1996) han descubierto las contribuciones tanto de los virus y el huésped a este fenómeno. Además, se descubrió a principios del siglo XX que ciertos virus se transmiten a través del suelo, pero los vectores virales, tanto hongos y nematodos, no fueron descubiertos hasta 1958. En los años después del descubrimiento del concepto de virus, un número de otras enfermedades de las plantas se atribuyeron a estos, en base a su facilidad de transmisión mecánica o injerto, y el hecho de que no podrían ser identificados agentes específicos en examen microscópico (Zaitlin 2000).

II. OBJETIVO.

Determinar si existe relación entre el engrosamiento del cladodios del nopal y la infección por virus transmitida por vectores e identificar el vector del agente patogénico causante del engrosamiento del cladodio del nopal

III. REVISIÓN DE LITERATURA

En nuestro país, los daños ocasionados por enfermedades en el nopal, han sido mencionados desde 1958 por Lozano, quien señala que la pudrición negra (*Fusarium* sp), causa graves daños en las nopaleras de San Luis Potosí. Uno de los trabajos más sobresalientes sobre este aspecto fue realizado por García (1967); en dicho trabajo, se consigna por primera vez la presencia del hinchamiento excesivo de cladodios, la presencia de mosaicos y la proliferación excesiva de yemas. El engrosamiento de cladodios fue retomado posteriormente por Pimienta (1974), Osorio (1989) y Osorio *et al.* (1997).

3.1 Engrosamiento de Cladodios o Chatilla (agente causal desconocido)

Esta enfermedad es considerada como uno de los principales problemas sanitarios en todas las zonas nopaleras del país, debido a su amplia distribución e incidencia. Aunque en este momento no existen estudios que demuestren su distribución actual se presume que tiene una presencia nacional, ya que puede dañar plantas silvestres y plantaciones cultivadas para fruta, verdura y forraje (CITA Gallegos y Méndez, 2000). Inicialmente, se supuso que su agente causal era un virus, pero los diversos estudios realizados hasta el momento no han generado resultados concluyentes. Los síntomas de la enfermedad se manifiestan en una reducción del crecimiento de los brotes y de la planta en general, acompañado por una disminución en la producción. Estudios realizados a nivel laboratorio demostraron que tiene una alta capacidad infectiva, dado que ha sido posible transmitir los síntomas de plantas enfermas a plantas sanas. Asimismo, no

ha sido posible la remisión de los síntomas con la aplicación de tetraciclinas (Pimienta, 1974; Osorio, 1989; Osorio *et al.*, 1997, Gallegos y Méndez, 2000)

3.2 Insectos asociados al cultivo del nopal.

En todas las aéreas productoras el nopal es dañado por muchas plagas, interfiriendo en la producción de fruta. Dentro de estos organismos, los insectos tienen un papel importante debido al número de especies involucradas y el daño que pueden causar.

Cuadro 1. Desarrollo fenológico de nopal tuna, y presencia de plagas (realizado con Información del CESAVEM y datos obtenidos por el autor de la presente tesis).

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Desarrollo Fenológico	QUIESCENCIA												
	BROTACIÓN FLORAL												
	CRECIMIENTO DE YEMAS FLORALES												
	FLORACION												
	FRUCTIFICACIÓN												
	MADUREZ DEL FRUTO												
Plagas y enfermedades	Cochinilla o grana <i>Dactylopius indicus</i> (Green)												
	Chinche gris <i>Chilinodea tabulata</i> (Bum)												
	Trips <i>Neocydatotrips opuntiae</i> (hood)												
	Acaro <i>Aceria cactorum</i> (Keifer)												
	Chinche roja <i>Hesperolabops gelastops</i> (Kirk)												
	Engrosamiento de cladodio (Fitoplasma)												

Entre las principales plagas del cultivo del nopal en el Estado de México se encuentran:

3.2.1 Picudo grande del nopal (*Metamasius spinolae* Gyllenhal): Es considerado como el enemigo más importante del nopal en México, se tienen registros de su presencia desde Chihuahua, Tamaulipas, Michoacán y Veracruz; sin embargo, se encuentra con mayor abundancia en el centro del país y el altiplano. Ataca a un gran número de especies y formas de nopal, tanto silvestre como cultivado (Méndez, 1994).

Los adultos de *Cactophagus spinolae* aparecen en el mes de mayo. Las hembras depositan sus huevecillos en las partes bajas de las plantas y en los sitios protegidos de las pencas; las larvas curculioniformes miden de 25 a 31 mm de largo, son blancas, algo curvas y la cabeza es de color café; al terminar su desarrollo larvario construye una celdilla con fibras masticadas para convertirse en pupa y así pasar el invierno (Borrego, 1986).

Los adultos se alimentan comúnmente de los bordes de las pencas tiernas y las larvas de los tejidos donde hacen galerías en la parte interna de los ejes principales; ciertas áreas de las partes afectadas presentan acumulación de secreciones de consistencia gomosa (Borrego, 1986).

En estado adulto se puede controlar en forma mecánica; se captura y se destruye a mano ya que es poco activo y camina sobre las pencas, sobre todo en los meses de mayo y septiembre (Borrego 1986).



Figura 1. *Metamasius spinolae* Gyllenhal <http://www.padil.gov.au>

3.2.2 Picudo de las espinas (*Cylindrocoptorus biradiatus* Champion): Se encuentra en todas las nopaleras del valle de México, en la región de Teotihuacán y Otumba es considerada como una de las plagas más perjudiciales del nopal (Méndez, 1994).

Los adultos emergen en los meses de abril y mayo; las hembras depositan sus huevecillos en la base de las espinas, y entre los meses de junio y julio emergen las larvas. En el mes de noviembre construyen su celdilla en la misma zona afectada y se convierten en pupa para invernar (Borrego, 1986).

Los daños más severos son en las areolas donde se introduce la larva para alimentarse de los tejidos y producir un área amarillenta y blanda que alcanza

hasta 2 cm de diámetro, posteriormente esta parte toma una coloración café claro y después café oscuro que se endurece formando una costra. Este daño es de importancia al considerar que en algunos casos se pueden encontrar hasta 30 ó 40 heridas en una sola penca. No mata a la planta, pero impide en los cladodios atacados el desarrollo de frutos y brotes vegetativos, lo que constituye para el agricultor una pérdida considerable. Como control cultural se recomienda poda y destrucción de las pencas más atacadas.

3.2.3 Gusano blanco del nopal (*Lanifera cyclades* Druce): Este insecto está ampliamente distribuido en las zonas nopaleras del país y en algunas regiones de Texas y Nuevo México. Se encuentra asociado a una gran cantidad de especies de nopal (Méndez, 1994).

La palomilla deposita sus huevecillos en grupos de 30 a 50 sobre las pencas y cuando quedan de manera regular están sobrepuestas como las tejas de un tejado, el color gris traslucido indica que en pocos días ocurrirá la eclosión y emergerán las larvas que forman colonias sobre las pencas y se protegen con una malla de seda. Las larvas expulsan sus excrementos a través de un agujero, por lo que al caer forman montoncitos de regular tamaño que los agricultores denominan montoncitos de arroz; construyen un cocón de seda y se transforman en una pupa de color oscuro de 230 mm de longitud, de ella en los meses de Julio a Octubre, emerge una palomilla que mide de 3.5 a 4.5 cm de expansión alar, alas anteriores de color amarillo con unas líneas negras que atraviesan las alas y una mancha circular con centro claro; las alas posteriores son de color blanco con rayas

transversales oscuras; en ambos pares de alas existen flecos del mismo color que las alas (García, 2000).

Como método de control es conveniente considerar que las especies más susceptibles son *Opuntia megacantha*, *O. streptacantha* y *O. tomentosa*; tratar en lo posible de no sembrar estas variedades.

3.2.4 Gusano cebra *Melitara nephelepasa* (Dyar) (Lepidoptera: Phycitidae) : Se encuentra en todo el Valle de México, excepto en la región de Milpa Alta, se encuentra también en Tehuacán, Pue., Cuernavaca, Morelos; Aguascalientes y San Luis Potosí (Méndez, 1994).

La larva ataca al nopal joven o las pencas tiernas durante el mes de enero; al terminar su etapa larvaria escapa y penetra en el suelo, donde construye un cocón de seda para transformarse en pupa. En el campo se presentan dos generaciones al año, siendo la primera la más perjudicial porque sus enemigos naturales no están activos (Borrego, 1986).

Dos parásitos de *Olycella* se encuentran en la región del valle de México, atacando severamente a las larvas y reduciéndolas en un alto porcentaje antes de llegar al estado pupal: *Phorocera texana* (Tachinidae) que ataca a las larvas maduras y *Apanteles mimoristae* (Braconidae) que generalmente ataca a las larvas jóvenes. Además se sabe que hay una avispa del género Bracon y una de

la familia Ichneumonidae en el estado de Hidalgo que se encontraron sobre larvas colectadas (García, 1965).



Figura 2. *Melitara nephelepasa* (Dyar) (www.colegiodepostgraduados.edu)

3.2.5 Chinche gris (*Chelinidea tabulata* Burmeister): Se localiza en todas las nopaleras del valle de México, incluso en Milpa Alta (García, 1965).

Al llegar el invierno se reduce notablemente la actividad de los adultos, raras veces se encuentran ninfas jóvenes en los meses de enero o febrero, pero en marzo cuando las temperaturas son más altas, empiezan a copular y ovipositar.

Hay aproximadamente de 4 a 5 generaciones por año y todas las fases están relacionadas con el cultivo de nopal. Las más altas poblaciones se observan en los meses de junio a agosto. Generalmente son de hábitos gregarios en todas las fases ninfales, siendo los adultos un poco menos sociales; se ha observado que por lo general, se alimentan en la noche o en el día pero en las partes sombreadas de la planta, nunca bajo la acción directa de la luz solar. Durante el invierno, los adultos permanecen en las partes protegidas formando grupos. Los excrementos son líquidos de color blanco que al resecarse sobre la planta, producen manchas muy características (Guevara, 1977).

Las ninfas y los adultos al alimentarse, lo hacen succionando la savia con su aparato bucal, lo que da lugar a la formación de una mancha circular blanquecina clorótica al rededor del punto de succión; el tamaño de la mismas varían de 2 a 8 mm de diámetro, según se trate de picaduras de ninfas o adultos. Pero el mayor daño se refleja cuando ataca a las pencas en desarrollo, las cuales ya no producen brotes o estos se desprenden antes de llegar a su completo desarrollo, un ataque severo produce tantas manchas cloróticas, que cubre la mayor parte de la superficie del cladodio (Guevara, 1977).

Este insecto muestra preferencia por alimentarse de cladodios tiernos; sin embargo, también, lo hace sobre cladodios de mayor edad e incluso del fruto.



Figura 3. *Chelinidea tabulata* (Burmeister)

3.2.6 Chinche roja del nopal (*Hesperolabops gelastops* Kirk): Por la severidad de sus daños en Zumpango, Edo de México, esta plaga constituye el mayor problema para las nopaleras productoras de tuna; así como en Teotihuacán y Otumba, es un grave problema en nopaleras de tuna blanca *Opuntia amyclaea* principalmente (García, 1965).

Invernan en forma de huevecillo depositado entre la cutícula y la pulpa del nopal, los últimos adultos se observan hasta principios de la segunda quincena de diciembre, mueren y los huevecillos eclosionan en distintas fechas en las localidades del Valle de México, pero en general se realiza a fines de primavera y principios de verano.

Ninfas y adultos se alimentan de las pencas al succionar la savia, produciendo pequeñas pústulas que pronto toman una coloración clorótica y posteriormente se agrandan para convertirse en áreas levantadas de tejidos muertos y de color claro. Unas y otras se juntan para darle al cladodio un aspecto áspero y blanquecino, que puede ocasionar la formación de grietas, propiciando de esta manera el desgajamiento de las ramas debido al peso de las mismas. Las pencas severamente afectadas no realizan la fotosíntesis y no producen nuevos brotes florales o vegetativos (García, 1965).



Figura 4. *Hesperolabops gelastops* Kirk (www.colegiodepostgraduados.edu)

3.2.7 Grana o cochinilla (*Dactylopus indicus* Green): En el Valle de México se localiza en: Otumba, Teotihuacán, Zumpango, D.F y Texcoco.

La hembra a los 36 días de existencia aproximadamente ya posee al aparato reproductor en condiciones de procrear, 4 semanas después de la fecundación

empieza el desove y dura aproximadamente de 10 a 12 días, poniendo en promedio 160 huevecillos cada uno, la ovipostura es escasa durante la noche y más abundante en la tarde. Lo cual evidencia que el ambiente caluroso excita la actividad. Como huevecillo dura aproximadamente 1 hora, 45 minutos como ninfa, una vez nacidas las pequeñas ninfas tanto machos como hembras permanecen agrupados uno o dos días, después se dispersan en busca de grietas o areolas para iniciar su actividad. Los machos jóvenes se aíslan y después de varias semanas, hilan un pequeño cocón blanco y oval, en 15 días y en tiempo caluroso se han transformado en adultos. Estos vuelan libremente pero sin alimentarse ya que carecen de aparato bucal chupador y después de un mes, más o menos, se inmovilizan. Las hembras ápteras, sin embargo continúan su desarrollo sin cambiar la forma de su cuerpo; insertan su aparato bucal semejante a una aguja, que penetra profundamente en el tejido de la planta, aquí empieza la alimentación y permanece en un mismo lugar por el resto de su vida sin mover su aparato bucal del punto donde fue insertado. Las hembras tienden a fijarse en las partes terminales de las pencas para atacar los frutos, causando la caída de estos antes de la maduración cuando la infestación es fuerte.

Los daños se localizan en la parte basal de las espigas, con apariencia de pequeñas bolitas de algodón que al ser presionadas, expelen un líquido rojo púrpura, los ataques severos de esta plaga pueden causar la caída del fruto, debilitamiento de las plantas y finalmente la muerte (García, 1965).

Existen dos especies de enemigos naturales, que atacan a la cochinilla, *Chilocorus cacti* Linné, que en su estado larvario se alimenta de las hembras de *Dactylopius indicus* y el otro es *Leactilia cocidívora* (Pyralidae), *Hiperaspis trifulcata* (Coccinelidae) y *Hemerobius* sp (Hemerobiidae) este ataca ninfas de primer instar.

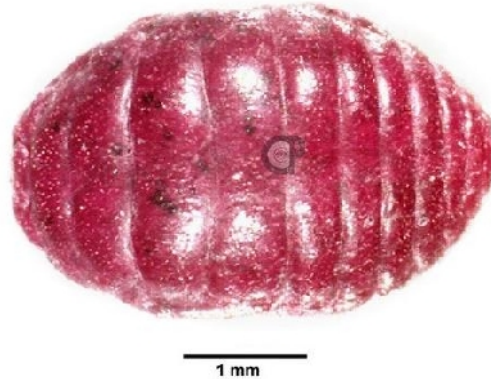


Figura 5 *Dactylopius opuntiae* Cockerell. (colegio de postgraduados.edu)

3.2.8 Trips del nopal (*Neohydatothrips opuntiae* Hood): Se encuentran en todas las áreas productoras de fruto del valle de México. En el área de Teotihuacán es uno de los mayores problemas.

Los trips invernan en forma de huevecillo y raras veces como adulto entre las gloquidas de las areolas, o en las grietas de la superficie de la planta. Al iniciarse los primeros brotes, emergen las ninfas que se dirigen a estos para alimentarse de ellos. Aproximadamente en el mes de febrero se presentan severos ataques de trips en toda la región nopalera de Otumba, Méx., en la región de Teotihuacán los ataques comienzan en la segunda quincena de Enero. El ciclo se lleva acabo aproximadamente en cuatro semanas, el máximo nivel de población de una temporada, se alcanza generalmente en la época seca y calurosa. El invierno cesa

la reproducción y solo se pueden encontrar algunos adultos escondidos en las grietas o en la base de las brácteas. La migración se realiza en hileras, razón por la cual forman fajas plateadas sobre las pencas, debido a las raspaduras al alimentarse (García, 1965).

Los trips son también vectores de enfermedades vírales, son los responsables de la pérdida directa de brotes y una baja en el precio del producto por la mala presentación y deformación de la tuna al madurar.

Estos insectos deben controlarse en el momento de iniciarse la brotación, ya que en muchos casos por ser insectos pequeños, el agricultor confunde el daño con el de las heladas.

3.2.9 Palomilla de las cactáceas (*Cactoblastis cactorum* Berg.): Se encuentra en Argentina, Paraguay, Uruguay y Brasil (Longo et al, 1997).

Las larvas que nacen se entierran en el cladodio, donde permanecen en forma gregaria, alimentándose alrededor de dos meses en verano y cuatro en invierno. Las larvas pasan por seis instares de crecimiento antes de pupar. Las larvas maduras salen de los cladodios de los que se alimentaban y tejen capullos de seda en áreas protegidas, principalmente debajo de las pencas secas o en putrefacción que se encuentran tiradas en el suelo y las palomillas emergen después de aproximadamente 60 a 70 días. En la mayoría de los países donde *C.*

cactorum se introdujo pasa por dos (rara vez tres) generaciones bien definidas por año.

Los cladodios infestados se desecan y permanecen secos y huecos como conchas en las plantas, o en el suelo debajo de éstas. La aparición de una masa de huevecillos en los cladodios en determinadas épocas del año es otro claro signo de infestación.

Las infestaciones de pencas con larvas de *C. cactorum* pueden ser confundidas con otras infestaciones causadas por lepidópteros nativos gregarios (las larvas son gregarias solamente en los primeros estadios) y cactófagos, incluyendo *Olycella* spp. (Pyralidae), *Melitaria* spp. (Phycitidae) y *Megastes* spp. (Phyraustidae). La mayoría de estas especies forman colonias más pequeñas que *C. cactorum*, y el daño que causan es de menor grado. La longitud de la masa de huevecillos, la identificación larval y del adulto sigue siendo el mejor medio para distinguir a *C. cactorum* de especies nativas similares.

El control legal es el más importante para México pues la invasión de *C. cactorum* se considera como una verdadera amenaza para las poblaciones de nopal en México y Norteamérica. México tiene más de 57 especies de *Opuntia*, algunas de las cuales se encuentran en poblaciones restringidas (p. ej. *O. bravoana* y *O. excelsa*).

En Sudamérica, las larvas de *C. cactorum* son atacadas por diversos parasitoides, de los cuales *Apanteles alexanderi* (Braconidae) es el más importante. Otros cinco parasitoides de Sudamérica han sido registrados por Zimmermann *et al.* (1979).



Figura 6. *Cactoblastis cactorum* Berg (<http://en.wikipedia.org>)

3.3 Importancia de las Enfermedades Virales

Una enfermedad viral es considerada importante cuando reúne las siguientes características: a) ocasiona reducción en los rendimientos; b) tiene amplia distribución; c) tiene rápida diseminación; y d) es difícil de controlar (*Barrera C. 1997*).

a) Reducción del rendimiento. La agricultura es una actividad económica y los virus pueden llegar a ocasionar reducciones significativas en los rendimientos. Entre los virus de papa que causan reducciones significativas en el rendimiento tenemos al PLRV, PVY, PVX, etc. Si el virus ocasiona una reducción mínima en los rendimientos, su importancia será limitada, como es el caso de PVT.

b) Distribución. Una enfermedad es más importante si tiene una distribución más amplia, o tiene distribución mundial. Hay otras enfermedades que generalmente se encuentran restringidas; su importancia es por lo tanto limitada.

c) Diseminación. Si dentro de una campaña agrícola, un determinado virus se disemina rápidamente (altos porcentajes de plantas infectadas), será considerado importante y viceversa. La diseminación tiene relación directa con la forma de transmisión y la dinámica de sus vectores.

d) Control. A diferencia de los insectos y otras enfermedades que se controlan con plaguicidas, no hay producto químico alguno que controle a los virus. Por consiguiente, la prevención constituye el único método efectivo de control; esto significa que el manejo de los materiales libres de virus demanda gastos económicos significativos.

La etiología del virus se atribuye a algunas enfermedades transmisibles por injerto, por otro lado, los virus crípticos no son transmisibles por esta vía. La transmisión por injerto no es necesariamente una prueba de una etiología viral (Zaitlin 2000); los virus crípticos están asociados con infecciones latentes de sus anfitriones y tienen algunas características peculiares que los distinguen de otros virus de plantas; es decir, no son transmisibles por injerto o mecánicamente y no se conocen vectores naturales. La transmisión por polen/semilla es la única forma comprobada de la dispersión del virus. Además, parece que no hay movimiento de

célula a célula o transporte del virus dentro de la planta, excepto cuando la división celular se lleva a cabo (Sabanadzovic 2008)

3.4 Enfermedades causadas por virus en cactáceas

Chessin y Lesemann (1971), mencionan cinco virus que se presentan en forma natural en cactáceas, estos son el virus Opuntia Sammons (SOV), virus X de los cactus (CVX), virus cactus 2 (CV2), virus en zygocactus (ZV), virus cactus del saguaro (SCV).

3.4.1 Virus cactus 2 (CV2)

Este virus reportado en cactáceas cultivadas en la República Federal Alemana; por Brandes y Wetter (1959).

Rango de hospederos naturales y síntomas

Cactus cultivado (asintomáticos).

Transmisión: El virus se transmite por inoculación mecánica.

Distribución geográfica: Encontrado en Alemania, pero sin evidencias de diseminación.

Especies indicadoras: *Chenopodium quinoa*; infección sistémica con síntomas ligeros.

Conservación y propagación del hospedante: *Chenopodium quinoa*.

Hospedantes probados: *Chenopodium quinoa*.

Propiedades físicas y químicas

Morfología de la partícula: Es virus filamentosos; no envueltos de varilla flexible; con una longitud de 650 nm.

Taxonomía y relación

Carlavirus.

Virus relacionados serologicamente: Virus S de la papa, virus M de la papa, virus B del crisantemo, mosaico de la nervadura del trébol rojo, virus latente del clavel. (Brunt *et al.*, 1996).

3.4.2 Virus X de los cactus (CVX)

Este virus fue reportado por primera vez en cactus en Alemania por Amelunxen (1958). Tiene como sinónimo, virus cactus Barrel (Attathom *et al.* 1978; Milne, 1988).

Rango de hospedantes naturales y síntomas

Opuntia vulgaris, *Austrocyllindropuntia cylindrica*, *Pereskia saccharosa*, *Schlumbergera bridgessi*, *Epiphyllum* spp., *Cereus* spp., *Echinopsis* spp., *Zigocactus* spp., *Ferocactus acanthodes* y *Echinocereus procumbens*, los cuales son usualmente asintomáticos.

El virus es transmitido por inoculación mecánica, por injerto, por contacto entre plantas, no se transmite por semilla.

Distribución geográfica: Esta distribuido probablemente a nivel mundial en cactus cultivados y se encuentra diseminado en los E.U.A.

Rango de hospedantes experimental: Varias familias de plantas son susceptibles, cuando son infectadas experimentalmente en su mayoría presentan lesiones locales necróticas y moteado.

Especies indicadoras y síntomas:

Amaranthus caudatus; lesiones locales necróticas, pocas veces sistémicas.

Gomphrena globosa, *Chenopodium amaranticolor*; lesiones locales necróticas y no sistémico. *Chenopodium quinoa*; moteado sistémico.

Diagnóstico de especies hospederas inmunes: *Nicotiana tabacum*, *Phaseolus* spp., *Cucumis sativus*.

Conservación y propagación del hospedero: *Chenopodium quinoa*.

Plantas inoculadas con presencia de lesiones locales (L) o síntoma sistémicos (S):
Gomphrena globosa (L); *Chenopodium quinoa* (S).

Especies hospederas inmunes: *Chenopodium álbum*, *Chenopodium amaranticolor*, *Cucumis sativus*, *Nicotiana tabacum* y *Phaseolus vulgaris*.

Propiedades físicas y químicas

Propiedades de la partícula en savia: Punto de inactivación térmica 82 °C, longevidad in vitro de 28 días y punto de dilución de $\log 10^{-5}$. La savia infectiva no cambia con el tratamiento dietil ether.

Método de purificación: El método de Koenig y Lesemann, (1983).

Morfología de la partícula: Son viriones filamentosos: desnudos, usualmente flexibles, con una longitud de 520 nm, 13 nm de ancho.

Propiedades físicas: Un solo componente de sedimentación en la preparación de la purificación, con un coeficiente de sedimentación de 120S.

Propiedades bioquímicas: El virion contiene 5% de ácido nucleico y 95% de proteína. El genoma está constituido de RNA de una sola partícula lineal, el tamaño total del genoma es de 6.5 kb. El genoma es unipartita. El virus conserva la infectividad después de ser desproteinizado con fenol o detergente.

Citopatología: El virion se encuentra en todos los órganos de la planta hospedera y a nivel celular en el citoplasma o en las vacuolas. Presenta inclusiones citoplasmáticas en células infectadas.

Taxonomía y relación

Pertenece a la familia de los Potexvirus.

Virus relacionados serológicamente: Zygodactylus X potexvirus

Referencias: Brunt *et al.* 1996.

3.4.3 Virus Opuntia Sammons'(SOV)

Se reportó por primera vez en *Opuntia engelmannii* en Arizona, E.U.A. por Sammons y Chessin, (1961).

Rango de hospedantes naturales y síntomas

Opuntia engelmannii y alguna otras especies de *Opuntia*, presentan síntomas ligeros.

Transmisión: El virus se transmite por inoculación mecánica.

Distribución geográfica: Esta diseminado en los E.U.A.

Diagnóstico de especies indicadoras y síntomas; *Chenopodium quinoa*, *C. murale* y *C. amaranticolor*, presentan sólo lesiones locales.

Conservación y propagación del virus: En *Chenopodium quinoa*, *C. murale* y *C. amaranticolor*.

Plantas inoculadas con presencia de lesiones locales (L) o síntoma sistémicos (S): *Chenopodium quinoa* (L); *C. murale* (L); y *C. amaranticolor* (L).

Especies indicadoras: *Chenopodium amaranticolor*, *Chenopodium murale*, *Chenopodium quinoa* y *Opuntia engelmannii*.

Propiedades físicas y bioquímicas

Método de purificación: Wetter (1967), clarificó con cloroformo-butanol (1:1 v/v), precipita con 4% polyethylenglicol y 4% de NaCl, se resuspende y somete a varios ciclos de centrifugación diferencial.

Morfología de la partícula: Los viriones son en forma de varilla, desnudos, usualmente rectos con una longitud de 317 nm y 18 nm de ancho.

Propiedades físicas: Con solo un componente de sedimentación en la preparación de la purificación, el coeficiente de sedimentación es de 196 S.

Taxonomía y relación

El virus pertenece a la familia de los Tobamovirus.

Virus relacionados serológicamente: Mancha de anular del *Odontoglossum*, mosaico del tomate, mosaico del tabaco, mosaico de la costilla del césped, virus mosaico suave del tabaco, moteado suave del pimiento, virus mosaico moteado verde de la calabaza.(Brunt *et al.*, 1996).

3.4.4 Virus saguaro cactus (SCV)

Reportado por primera vez en *Carnegiea gigantea* en Arizona, E.U.A. por Milbrath y Nelson, (1972).

Rango de hospedantes naturales y síntomas.

Carnegiea gigantea, *Chamaecereus sylvestrii*; son asintomáticas. La transmisión del virus es por inoculación mecánica.

Distribución geográfica: Se encontró en Arizona, E.U.A. y en Alemania, pero sin evidencias de diseminación.

Diagnóstico de especies indicadoras y síntomas:

Chenopodium capitatum; mosaico en nervadura y necrosis.

Chenopodium amaranticolor, *C. quinoa*; lesiones locales, sin síntomas sistémicos.

Gomphrena globosa; lesiones locales y manchas sistémicas.

Conservación y propagación del virus: *Chenopodium capitatum*.

Plantas inoculadas con presencia de lesiones locales (L) o síntoma sistémicos (S):

Chenopodium amaranticolor (L); *C. quinoa* (L).

Especies indicadoras: *Carnegiea gigantea*, *Chamaecereus sylvestrii*, *Chenopodium amaranticolor*, *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium capitatum* y *Gomphrena globosa*.

Propiedades físicas y bioquímicas

Propiedades de la partícula en savia: El punto de inactividad térmica es de 55-65°C, la longevidad in vitro es de 34 días y un punto de dilución de \log_{10}^{-4} .

Método de purificación: Se utiliza el método descrito por Nelson y Tremaine, (1975).

Morfología de la partícula: Los viriones son isométricos, desnudos y de 32 nm de diámetro.

Propiedades físicas: Tiene un componente de sedimentación en la preparación de la purificación, 32 nm de diámetro, coeficiente sedimentación de 118 S.

Propiedades bioquímicas:

El virion contiene 17% de ácido nucleico y 83% de proteína. El genoma consiste de RNA, de una sola partícula lineal. El tamaño total del genoma es de 4.2 kb y es unipartita.

Citopatología: Los viriones se encuentra en las yemas, flores y frutos de los cactus.

Taxonomía y relación

Posiblemente relacionado con Carmovirus y Tombusviridae (Brunt *et al.* 1996).

3.4.5 Virus *Zygocactus Montana X*

Reportado por primera vez en *Zygocactus truncatus* en Missoula, Montana, E.U.A. por Chessin y Giri (1975).

Rango de hospedantes naturales y síntomas

Zygocactus truncatus; enrojecimiento de la superficie (hoja).

Transmisión: La transmisión del virus es por inoculación mecánica.

Distribución geográfica: Encontrado, aunque no existen, evidencias de diseminación en los E.U.A.

Rango de hospedantes (experimental): Pocas familias susceptibles. En las plantas infectadas experimentalmente, la mayoría presentó mosaico sistémico, moteado, manchas anilladas o necrosis.

Diagnóstico de especies indicadoras susceptibles y síntomas:

Atriplex hastata; moteado sistémico en las hojas.

Chenopodium quinoa; lesiones locales necróticas y mosaico sistémico.

Chenopodium polyspermum; hojas con moteado sistémico.

Chenopodium album, *C giganteum*, *C. urbicum*; clorosis o lesiones locales necróticas.

Hablitzia tamnoides; lesiones locales cloróticas, manchas verdes sistémicas.

Especies hospederas inmunes: *Amaranthus tricolor*, *Chenopodium capitatum*, *C hybridum*, *C. foliosum*, *Datura stramonium*, *Gomphrena globosa*, *Nicotiana tabacum*, *N rustica*, *N. sylvestris* y *Phaceolus vulgaris*.

Conservación y propagación del virus: En *Chenopodium quinoa*.

Plantas inoculadas con presencia de lesiones locales (L) o síntoma sistémicos (S):

Chenopodium quinoa.

Especies indicadoras: *Amaranthus caudatus*, *Atriplex hastata*, *Chenopodium album*, *Chenopodium giganteum*, *Chenopodium polyspermum*, *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium urbicum*, *Hablitzia tammoides* y *Zigocactus truncatus*.

Especies hospederas no susceptibles: *Amaranthus tricolor*, *Chenopodium capitatum*, *Chenopodium foliosum*, *Chenopodium hybridum*, *Datura stramonium*, *Gomphrena globosa*, *Nicotiana glutinosa*, *Nicotiana rustica*, *Nicotiana sylvestris*, *Nicotiana tabacum* y *Phaseolus vulgaris*.

Propiedades físicas y bioquímicas

Propiedades de la partícula en savia: El punto de inactivación térmica; de 75-80 C; longevidad in vitro de 6-7 días; punto de dilución de $\log 10^{(-5 \text{ a } -6)}$

Método de purificación: Centrifugación con ciclos diferenciales y densidad de gradientes en CsCl a 10 000 rpm de 12- 18 horas.

Morfología de la partícula: Son viriones filamentosos, desnudos y usualmente flexibles, de un tamaño de 519 nm.

Propiedades físicas: Dos componentes de sedimentación en la preparación de purificación; coeficiente de purificación con constante de 120-130 S.

Taxonomía y relación

Posiblemente esté relacionado con los Potexvirus.

Virus relacionados serológicamente: Virus X papa, cactus X y virus mosaico blanco del trébol (Brunt *et al.* 1996).

3.4.6 Virus zigocactus (ZV)

Fue reportado por primera vez en *Zygocactus x Schlumbergera*, en Europa por Casper y Brandes (1969).

Rango de hospedantes naturales y síntomas

Zygocactus x Schlumbergera con síntomas muy ligeros.

Transmisión: El virus se transmite por inoculación mecánica.

Distribución geográfica: Esta diseminado en la región de Eurasia.

Diagnóstico de especies indicadoras y síntomas:

Chenopodium quinoa: rizado de hojas con un daño sistémico tenue.

Nicotiana glutinosa; puntos sistémicos de color verde fuego en las hojas.

N. clavelandii y *Solanum demissum*; infección sistémica con síntomas ligeros.

Conservación y propagación del virus: *Nicotiana glutinosa* y *N. clavelandii*.

Plantas inoculadas con presencia de lesiones locales (L) o síntoma sistémicos (S):

Nicotiana glutinosa (S).

Especies indicadoras: *Chenopodium quinoa*, *Nicotiana clavelandii*, *Nicotiana glutinosa*, *Solanum demissum*, y *Zygocactus x Schlumbergera*.

Propiedades físicas y bioquímicas

Propiedades de la partícula en savia: Punto de inactivación térmica de 72-74 C.

Morfología de la partícula: Son viriones filamentosos, desnudos y usualmente flexibles, con una longitud de 580 nm.

Taxonomía y relación

Posiblemente esté relacionado con los Potexvirus

Virus relacionados serológicamente: Cactus X, virus X de la papa, virus aucuba y zigocactus X virus (Brunt *et al.* 1996).

3.4.7 Virus marchitez manchada del tomate (TSWV)

El TSWV se detectó en *Schlumbergera truncata* (cactus de acción de gracias) durante una inspección de ornamentales en invernaderos de Pennsylvania, contra virus marchitez manchada del tomate (TSWV), el impatiens (TSWV-I) y el de la deformación de la lechuga (TSWV-L). Las muestras a la hora de colectarlas no presentaron daños de trips. Pero mencionan que las flores de esta planta al oeste de esta ciudad tuvieron trips anteriormente. El TSWV en *S. truncata* se determina serológicamente por ELISA usando un antisuero policlonal de TSWV-I (Agdia, Elkhart, IN) y TSWV-L del Departamento de agricultura de Pennsylvania, Harrisburg (Albouy y Deveger, 1998).

La savia de las muestras infectadas con TSWV se usó para inocular a *Chenopodium quinoa* y *Lycopersicon esculentum*. La infección por TSWV se verificó por ELISA. Las plantas de *Schlumbergera truncata* infectada con cualquiera de los dos TSWV presentaron un rango de síntomas que incluyen

lesiones cloróticas hundidas, manchas verde oscuro, clorosis, necrosis y deformación. El patrón de anillos característico asociado con el TSWV en varias plantas hospedadoras no se observó (Albouy y Deveger, 1998).

El papel de *S. truncata* posiblemente sea el de reservorio de TSWV, ya que este hospedero es asintomático a la infección de este virus, es importante considerarlo en las estrategias de manejo (Albouy y Devegne, 1998).

3.5 Luteovirus

Los Luteovirus son un gran grupo de virus de plantas con genoma de RNA positivo monopartita envasada en pequeños viriones isométricos. Son transmitidos de persistentemente de forma circulativa por varias especies de áfidos y generalmente se limita a los tejidos del floema del huésped. RNA del Luteovirus y viriones no pueden ser transmitidos por inoculación mecánica. Lo que impide muchas aplicaciones interesantes de este método; podrían ser introducidos en plantas después de la manipulación *in vitro* y la clonación en *E. coli* y *Agrobacterium tumefaciens*. (Leiser, et al. 1992, Zaitlin 2000). Los síntomas inducidos por Luteovirus son a menudo difíciles de distinguir de los síntomas causados por otros patógenos, deficiencias nutricionales, o el frío (Miller 1997).

Las especies del género Luteovirus se encuentran en todo el mundo e infectan una amplia variedad de plantas mono y dicotiledóneas, en las que se replican casi exclusivamente en el tejido del floema.

De acuerdo con otros Luteovirus confinados al floema, se ha sugerido que áfidos son los responsables de la propagación de la infección. La especificidad relativa de Luteovirus con respecto al insecto vector y el grupo de plantas es la norma, aunque existen excepciones (Miller y Rasochová, 1997) que puede indicar que un áfido polífago también puede ser vector (Lehrer 2007)

El genoma de umbravirus carece de un gen CP y por tanto es totalmente dependiente de la asociación con un Luteovirus para la encapsidación y transmisión por áfidos (Tepfer 2002).

3.6 Ensayos con virus

Una contribución monumental a la virología vegetal fue el desarrollo de un bioensayo para TMV por FO Holmes en 1927 (Scholthof 1999). La capacidad para cuantificar el virus en la hoja de extractos facilitó muchos estudios posteriores sobre las propiedades del agente infeccioso. La cuantificación es esencial para los estudios. Holmes observó que los extractos que contienen TMV producían lesiones necróticas locales en *Nicotiana glutinosa* [gen N de *N. glutinosa*]. Aunque este ensayo no es muy sensible - toma muchas partículas del virus para producir una lesión - puede ser utilizado para revelar el contenido relativo de virus de las soluciones de prueba. Posteriormente, los huéspedes de lesiones locales se han encontrado para muchos otros virus, y algunos huéspedes como especies de *Chenopodium* dan una reacción necrótica a muchos virus no relacionados. El ensayo de lesión local es el único ensayo para virus que da una medida del

contenido de virus viables. Otras pruebas más modernas como la serología y PCR no pueden discriminar la viabilidad del virus.

IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Colecta de Material Biológico.

Durante el período de primavera – otoño de 2011 se realizó la colecta en el Estado de México (Figura 1) de las diferentes especies de insectos realizándola de manera dirigida a plantas con síntomas atribuibles a virus.

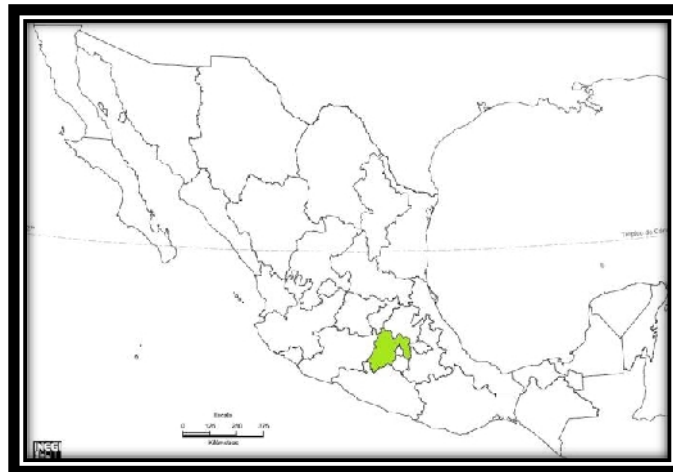


Figura. 7 Ubicación del Estado de México dentro de la República Mexicana.

Esta actividad se realizó en huertos comerciales de nopal de la región del valle de Teotihuacán, en los municipios de Nopaltepec, Temascalapa, Teotihuacán, San Martín de Las Pirámides, Otumba, y Axapusco.

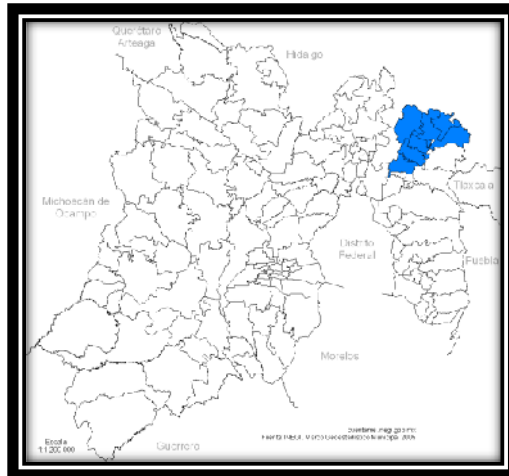


Figura. 8. Localización de la zona de muestreo en el Valle de Teotihuacán, principal área de producción de nopal del Estado de México.

De cada uno de los municipios mencionados de la región nopalera (Figura 3) se eligieron 2 puntos de muestreo en donde se colectaron 3 cladodios con síntomas de engrosamiento, las muestras se trasladaron al invernadero del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo para la realización de las diferentes pruebas



Figura. 9. Detalle de los municipios que conforman la zona de producción de Nopal en el Valle de Teotihuacán.

4.2 Pruebas de susceptibilidad en Hospedantes diferenciales.

Porciones de 1 cm³ de cladodios con síntoma de la enfermedad fueron maceradas en solución amortiguadora 0.02 M de fosfatos. Se inoculó mecánicamente un conjunto de plantas indicadoras utilizando como fuente de inóculo los cladodios con síntomas. El macerado de cladodios fue frotado sobre la superficie foliar de diferentes especies de plántulas sanas, previamente espolvoreadas con carborundum 600 mallas, utilizando un isopo de algodón. Las hojas inoculadas fueron lavadas brevemente con agua antes de ser inoculadas y las plantas colocadas en invernadero a una temperatura de 25-30°C, con una humedad relativa de 70 ± 5% 12 horas-luz, durante 15 días para registrar la aparición de síntomas.

Las plántulas de las especies inoculadas fueron: tabaco (*Nicotiana tabacum* cv. *Xanthi* L., *N. rustica* L., *N. glutinosa* L., *N. occidentalis* Wheeler, *N. benthamiana* L.); chile (*Capsicum annuum* cv. Ancho); toloache (*Datura stramonium*); tomate (*Solanum lycopersicum* Mill); bledos (*Chenopodium quinoa* Willd., *C. amaranticolor*). Se inocularon tres juegos de plantas indicadoras de acuerdo al protocolo propuesto por Dijkstra y De Jager (1998). En cada inoculación se tuvieron testigos no infectados en los que solo se realizó la inoculación con carborundum y buffer.

4.3 Pruebas de transmisión con insectos vectores.







Se utilizaron individuos de las especies colectados del Valle de Teotihuacán que de acuerdo a su tipo de alimentación se consideraron como posibles transmisores de virus, a los que se sometió a un ayuno de 1 día, para después colocarlos, con ayuda de un pincel a plantas de *N* tabaco (*Nicotiana tabacum* cv. *Xanthi* L., *N. rustica* L., *N. glutinosa* L., *N. occidentalis* Wheeler, *N. benthamiana* L.); chile (*Capsicum annuum* cv. Ancho); toloache (*Datura stramonium*); tomate (*Solanum lycopersicum* Mill); bledos (*Chenopodium quinoa* Willd., *C. amaranticolor*). Se proporcionó un periodo de alimentación-adquisición de 5 minutos.





V. RESULTADOS

5.1 Pruebas de susceptibilidad en Hospedantes diferenciales.

Las especies de las plántulas sanas producidas en el invernadero e inoculadas mecánicamente con los macerados de cladodios, no mostraron síntomas a los 3, 8 o 15 días después de la inoculación. Los síntomas esperados incluían mosaicos, manchas anulares, deformación de hojas y lesiones locales cloróticas o necróticas, síntomas que se asocian a los causados por virus fitopatógenos, en la mayoría de los casos en las distintas especies de hospedantes utilizadas.

CUADRO 2. Síntomas en plantas indicadoras y diferenciales Inoculadas mecánicamente

Hospedantes	Síntoma Presentado
<i>Nicotiana glutinosa</i>	 SS
<i>N. rustica</i>	 SS
<i>N. tabacum var. xanthi</i>	 SS
<i>N. benthamiana L</i>	 SS
<i>N. occidentalis</i>	 SS
<i>Chenopodium quinoa Willd</i>	 SS

<i>C. amaranticolor</i>		SS
<i>Capsicum annuum L. Ancho</i>		SS
<i>Datura stramonium L.</i>		SS
<i>Solanum lycopersicon</i>		SS

SS: Sin síntomas atribuibles a virus fitopatógenos

5.2 Pruebas de transmisión con insectos vectores

En esta prueba de transmisión con insectos vectores no se presentaron síntomas visibles que indicaran la presencia de virus en las plantas que estuvieron en

contacto con los insectos considerados como posibles vectores, no se observó una inoculación por parte de estos, y después de 3 a 5 días se observó la muerte de los insectos usados en el ensayo.

Cuadro 3. Insectos colectados y usados como posibles vectores.





<i>Chelinidea tabulata</i>		
	Ninfa	Adulto
<i>Hesperolabops gelastops</i> (Kirk)		
	Ninfa	Adulto



Figura 10. Desarrollo de especies de plantas indicadoras y diferenciales en condiciones de invernadero.

VI. DISCUSIÓN

El resultado de la transmisión por insectos vectores confirma lo indicado por Mann (1969), Moran (1980) y Ueckert (1997) que mencionan que los insectos asociados al nopal, se alimentan solo de plantas de la familia *Cactaceae* por su estrecha relación; por otra parte, indican que otros insectos que se alimentan de varios tipos de plantas raramente atacan cactáceas.

Todo esto explica de alguna manera el hecho de que al poner en contacto insectos que son plaga en el nopal con plantas que no pertenecían a la familia *cactaceae*, estos no se alimentaron y por lo tanto no transmitieron el virus, sin embargo este resultado no confirma el hecho de que estos insectos no sean los transmisores de un posible virus ya que en este estudio no se probaron cactáceas como plantas indicadoras debido a que los síntomas requieren de mucho más tiempo para expresarse.

En el mismo sentido se tiene el resultado de las plantas indicadoras (una planta indicadora sirve para evidenciar la presencia o ausencia de virus, a diferencia de las diferenciales que sirven para discriminar de entre varios tipos de virus, esto una vez que se tiene la certeza de que se está trabajando con un virus), en donde aunque no se tuvieron resultados que indicaran la presencia de virus, no se puede afirmar que no se trate de virus, solo puede decirse que no se trata de un virus que pueda transmitirse mecánicamente o que no expresa síntomas en las especies utilizadas en la prueba.

Este resultado coincide con lo obtenido por García (1967) y Felker (2009) que ya habían realizado estudios de transmisión mecánica en donde no se observó respuesta alguna en especies indicadoras inoculadas. Sin embargo, es posible para comprobar lo anteriormente expuesto, utilizar otros métodos no contemplados en este estudio, tales como inclusiones virales, serología y pruebas moleculares para detectar el ácido nucléico viral.

VII. CONCLUSIONES

No se encontraron síntomas en las plantas indicadoras que relacionen al engrosamiento de cladodios de nopal como una infección de índole viral transmitida por sabia de cladodio con síntomas de engrosamiento, ni tampoco por transmisión por insectos.

VII. BIBLIOGRAFIA

Albouy J., Devergne J.C. 1998 Virus diseases of ornamentals. Paris: Editions INRA;

Ameluxen, F. 1958. The virus Eiweibspindeln of cacti. Representation, electron microscopic and biochemical analysis of the virus. Protoplasma 49:140-178.

Attothom, S., Weathers, L. G., and Gumpf, D. J. 1978. Occurrence and distribution of a virus induced disease of barrel cactus in California. Plant Dis. Repr. 62:228-231.

Barrera, C. 1997. Características generales de los virus y la importancia de las enfermedades que causan. En Producción de Tubérculos-semillas de Papa Manual de Capacitación Fasc. 3.1. Centro Internacional de la Papa (CIP)

Borrego, E. F. N., Burgos, V. 1986. El Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coahuila, México. 202 p.

Brandes, J., and Wetter, C. 1959. Cactus virus 2. Virology 8:99

Brunt, A. K., Crabtree, M. Dallwitz, Gibbs, A. and Watson, L. 1996. Virus of plants: descriptions and lists from the VIDE database. CAB International. Australia, pp: 282- 285, 860-861, 1418-1420.

Canales, C. R. 1983. Etiología, evaluación de daños y control de la pudrición negra del nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) en la Sierra de Arteaga, Coah. Tesis de Licenciatura. Departamento de Parasitología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. 90 p.

Chessin, M., Lesemann D. 1972. Distribution of cactus viruses in wild plants. *Phytopathology* 62:97-99.

Dijkstra, J., De Jager, C. P. 1998. *Practical Plant Virology. Protocols and Exercises*. Springer, Berlin. 459 p.

Felker P., Bunch R. 2009. Progreso en la identificación del agente causal de "engrosamiento del cladodio o macho" In. *VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal"*. UANL. Escobedo, Nuevo León, México

Gallegos, V. C., Méndez, G. S. de J. 2000. La tuna: criterios y técnicas para su producción comercial. Universidad Autónoma Chapingo – Colegio de Postgraduados - Fundación Produce Zacatecas, A. C. Chapingo, Méx. 164.

García, M., T. 1965. Principales plagas del nopal en el Valle de México. *Fitófilo* 18(47): 15-28.

García, E., R. 1967. Estudio sobre posibles enfermedades virosas del nopal. Gen. *Opuntia*. Universidad Nacional Autónoma de México. 33pp.

García, B.A. 2000. Principales plagas insectiles del nopal tunero en el Estado de México. Tesis de Licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 1-209 p.

Guevara, R. J. A. 1977. Biología de *Chelinidea tabulata* Burm. (Hemiptera: coreidae), chinche gris del nopal y evaluación preliminar de insecticidas para su control. ENA Chapingo.

Gutierrez, L., (1992). Plagas y enfermedades del nopal en Mexico. Reporte de Investigacion 10 CIESTAAM, Universidad Autonoma de Chapingo, Chapingo, Mexico. 53 pp.

Khan, J. A., Dijkstra, J. 2002. Plant viruses as Molecular Pathogens. The Haworth Press, Inc. 537pp.

Koenig, R., Lesemann, D.-E. (1983). *Descr. Pl. Viruses* No. 265.

Leiser, R. M. (1992). Agroinfection as an alternative to insects for infecting plants with beet western yellows luteovirus Proc. Natl. Acad. Sci. USA 89, 9136-9140

Lehrer, A. T., Schenck S., Yan S.-L. and Komor E. (2007) Movement of aphid-transmitted Sugarcane yellow leaf virus (ScYLV) within and between sugarcane plants Plant Pathology 56, 711–717

Lozano, G., M. 1958. Contribución al Estudio e Industrialización del Nopal (*Opuntia* spp.). Tesis Ing. Agrónomo. Escuela Superior de Agricultura Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

Maule, A.J., Wang, D. W. 1996. Seed transmission of plant viruses: a lesson in biological complexity. *Trends Microbiol.* 4:145–58

Mena, C.J. 2004. Manejo Integrado de las Plagas del nopal: una propuesta para tomar mejores decisiones de control. En: Esparza, F. G., Valdéz, C. R. D., y Méndez, G. S. de J. 2004. El Nopal tópicos de actualidad. Universidad Autónoma Chapingo, México. 303 pp.

Méndez, G. S. de J. 1994. Principales plagas del nopal. *In:* G. Esparza F. y S. de J. Méndez G. (eds). Memorias de la Reunión sobre Aportaciones Técnicas y

Experiencias de la Producción de Tuna en Zacatecas. Morelos, Zacatecas. pp: 49-57.

Miller, W. A., Rasochová L. 1997. Barley yellow dwarf viruses. *Annu. Rev. Phytopathol.* 35:167–90

Milne, R.G. (1988). In: *The Plant Viruses*, Vol. 4; *The Filamentous Viruses*, p.6; ed Milne, R.G., Plenum, New York.

Osorio, A. F. 1989. Estudio sobre el engrosamiento del cladodio del nopal (*Opuntia* sp). Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Fitopatología. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 76 p

Osorio, A. F., A. Soto E. 1994. Enfermedades del nopal tunero. *In: Memorias sobre Aportaciones Técnicas y Experiencias de la Producción de Tuna en el Estado de Zacatecas*. Esparza F.,G y S. de J. Méndez G. (eds.). CECCAM, Morelos, Zacatecas. pp. 46-48

Pimienta, B., E. 1974. Estudios de las causas que producen engrosamiento de cladodios de nopal (*Opuntia* spp) en la zona de Chapingo. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Fitopatología. Colegio de Postgraduados. 67 p.

Pimienta, B: E: 1990. El nopal Tunero. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 246 p

Sabanadzovic S., Abou Ghanem-Sabanadzovic N. (2008) Molecular characterization and detection of a tripartite cryptic virus from rose. *Journal of Plant Pathology*, 90 (2), 287-293

Sammons', I. M., Chessin, M. 1961. Cactus virus in the United States. *Nature* 191:517- 518.

Scholthof, K-BG, Shaw JG, Zaitlin M. 1999. Tobacco Mosaic Virus: One Hundred Years of Contributions to Virology. St. Paul: Am. Phytopathol. Soc. Press. 256 pp.

Smith, K. M. 1935. *Plant Viruses*. Methuen: London. 107 pp

Tepfer, M. 2002. Risk assessment of virus-resistant transgenic plants. *Annu. Rev. Phytopathol.* 40:467–91

Van Den Heuvel, J. F. J. M, 1997. The N-Terminal Region of the Luteovirus Readthrough Domain Determines Virus Binding to *Buchnera* GroEL and Is Essential for Virus Persistence in the Aphid. *J. Virol.* Vol. 71 No. 10. 7258–7265

Wetter, C., Paul, H. L., 1967. Serologische und physikalische Eigenschaften von Sammons' Opuntia Virus. *Journal of Phytopathology.* 60:1 92–95

Zaitlin, M., Palukaitis P.(2000). Advances in understanding plant viruses and virus diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.* 38:117–43

Zimmermann, H.G., H.E. Erb y R.E. McFadyen. Annotated list of some cactus feeding insects of South America. *Acta Zoologica Lilloana* 32:2.101-112,1979.

http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=3

51

CAPITULO III. REGULADORES DE CRECIMIENTO ASOCIADOS AL ENGROSAMIENTO DE CLADODIOS DEL NOPAL

I. INTRODUCCIÓN.

Las plantas en la naturaleza se ven amenazadas constantemente ya sea por una gran variedad de microorganismos patógenos o por diferentes condiciones abióticas que provocan estados de estrés. En muchos casos, sus mecanismos de protección implican un sistema de defensa inducible. La capacidad de las plantas para invocar tales reacciones de defensa se presume que está mediada por un proceso de reconocimiento inicial que implica la detección de ciertas moléculas de señales únicas por moléculas tipo receptor en las plantas, lo que resulta en una cascada de eventos bioquímicos que conduce a la expresión de la resistencia y susceptibilidad. Estas interacciones generan señales que activan genes nucleares involucrados en las respuestas de las plantas (Chatterjee 2008).

Había interés en la década de 1950, que continúa a este día con la tecnología moderna, para determinar la causa de diferentes síntomas en plantas. Todavía no existen muchas respuestas, aunque algunos de los componentes han sido identificados como determinantes. Los primeros trabajos se enfocaron en la medición de la respiración, fotosíntesis y reguladores de crecimiento, donde las plantas se comparaban con plantas sin síntomas. Como era de esperar, en la mayoría de los casos, las plantas tenían estos procesos afectados, ya sea positiva o negativamente, pero estos estudios descriptivos no esclarecen las bases de la sintomatología. Los estudios más recientes, utilizando la genética inversa de los

genomas, pueden asignar funciones a los genes en la sintomatología, pero los elementos vegetales que son perturbados aún se desconocen (Zaitlin 2000).

En plantas de nopal que presentan síntomas de engrosamiento de cladodios, las alteraciones en la fisiología y sus componentes bioquímicos asociados inducidos son poco conocidos, por tal motivo la presente investigación tuvo como objetivos los siguientes:

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Conocer cuáles reguladores de crecimiento se encuentran alterados en plantas con síntomas de engrosamiento de cladodios de nopal a través de técnicas de análisis fitoquímico.

2.2 Objetivos específicos

- Desarrollar un método de extracción de reguladores de crecimiento vegetal en muestras de tejido provenientes de cladodios de nopal tunero para su análisis.
- Efectuar análisis por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (CLAR) en los extractos crudos de nopal para detectar reguladores de crecimiento y poder realizar el análisis de estos.

- Contrastar los resultados de la cuantificación de reguladores del crecimiento vegetal en nopales con síntomas y sin síntomas de engrosamiento para determinar los cambios que tienen lugar en estos y saber cómo es que afectan a las plantas.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Reguladores de crecimiento vegetal (RCV)

Las hormonas vegetales son un grupo de sustancias orgánicas de origen natural que influyen en los procesos fisiológicos en concentraciones bajas. El papel principal en la integración de los fenómenos del desarrollo de las plantas lo desempeñan las hormonas de crecimiento o mejor conocidos como reguladores de crecimiento vegetal; por lo tanto, es importante conocer sus mecanismos de acción. Los RCV están agrupados en siete clases: auxinas, giberelinas, citocininas, brasinoesteroides, etileno, ácido abscísico y jasmonatos. Generalmente cada uno de los reguladores influye en fenómenos del desarrollo, mientras que los efectos biológicos que observamos por lo general resultan de la acción conjunta de diferentes reguladores de crecimiento (Davies, 2010 y Barba-Álvarez, 2001).

Hasta hace pocos años se tenía la creencia de que la mayoría de los fenómenos relacionados con el desarrollo de los vegetales podían ser explicados sobre la base de simples cambios en las concentraciones y tipos de estos compuestos

presentes en un tejido. Actualmente se sabe que el papel de la concentración de estos compuestos en un tejido, aunque importante, no es tan determinante como llegó a suponerse, pues hay otro tipo de consideraciones a tomar para explicar el proceso del desarrollo en las plantas (Davies, 1995).

Las hormonas regulan muchos procesos fisiológicos en plantas superiores, tales como crecimiento y alargamiento celular, diferenciación y especialización de tejidos y la inducción de síntesis de proteínas. Las hormonas de las plantas pueden ser divididas en 5 clases principales: auxinas, citocininas, giberelinas, gas etileno y ácido abscísico, aunque recientemente se han encontrado sustancias que ejercen acción parecida como los brasinoesteroides, poliaminas, jasmonatos y ácido salicílico (Darnell *et al.* 1990; Davis, 1995).

La palabra hormona significa “mensajero”, un mensajero químico que ejerce acción a una distancia. El término fue usado primero por Starling en 1906, en relación con animales y apareció en la literatura botánica en 1910 (Gardner *et al.*, 1985). Los fitoreguladores son aquellos compuestos que en cantidades bajas estimulan, inhiben o modifican los procesos fisiológicos de las plantas. Bidwell (1979) define a las hormonas vegetales o fitohormonas como reguladores vegetales (auxinas, citocininas, giberelinas e inhibidores de crecimiento y etileno), que son transportados del lugar donde son producidos en la planta, al lugar donde ejercen su acción y que entonces sirven como portadores de información. Frecuentemente los procesos del desarrollo están afectados en rutas contrarias por dos a más hormonas. Actualmente se sabe que estos compuestos actúan no

solamente sobre el crecimiento sino también sobre muchos otros fenómenos del desarrollo, por tanto sería más apropiado llamarlos “reguladores del desarrollo”.

3.2 Auxinas

Gaspar *et al.* (1996) y Pérez-Molphe *et al.* (1999) señalan que las auxinas son un grupo de compuestos derivados comúnmente del triptófano, sintetizados por lo general en los ápices de las plantas, y que están implicados en varios eventos relacionados con el crecimiento y diferenciación celular, la acidificación de la pared celular, el inicio de la división celular, la formación de tejidos no diferenciados, la diferenciación del tejido vascular y la formación de órganos. Se sabe que participan en la regulación de algunos procesos que ocurren en los tejidos vegetales como el crecimiento celular, estimulación del crecimiento del tallo, la acidificación de la pared celular, el inicio de la división celular, la formación de tejidos no diferenciados (tejido calloso), la diferenciación del tejido vascular y la formación de órganos (raíces, flores y frutos). En las plantas, las auxinas tienen que ver con la dominancia apical, afectan la senescencia y abscisión de las hojas y coordinan algunas respuestas trópicas. La auxina natural más común es el ácido indol-3-acético (AIA), pero dependiendo de la especie, edad de la planta, estación del año y condiciones de crecimiento pueden aparecer otras auxinas naturales en los tejidos, como por ejemplo el ácido 4cloroindol-3-acético, el ácido indol-3-acrílico o el ácido indolbutírico (AIB). Estos mismos autores señalan que algunos precursores de las rutas biosintéticas de las auxinas pueden tener actividad propia como auxinas y sustituir así al AIA.

Muchas plantas superiores crecen más por alargamiento celular que por proliferación celular, el tamaño y forma de la planta está determinada primariamente por la cantidad y dirección de ese alargamiento. El nombre auxina significa en griego “crecer” y es dado a un grupo de compuestos que estimulan la elongación (Mc. Dougall y Hillman, 1978).

El AIA es la forma predominante, sin embargo, evidencias recientes sugieren que existen otras auxinas indólicas naturales en las plantas. Aunque las auxinas se encuentran en toda la planta, las más altas concentraciones se localizan en las regiones meristemáticas en crecimiento activo, Se les encuentra tanto como molécula libre o en formas conjugadas inactivas. Cuando están conjugadas, las auxinas se encuentran metabólicamente unidas a otros compuestos de bajo peso molecular. Este proceso parece ser reversible. La concentración de auxinas libres en las plantas varía de 1 a 100 mg/kg de peso fresco (Barker y Tagu, 1998).

El AIA fue aislado por primera vez por Kogl y Kosterman en 1934. Llamado originalmente "heteroauxina", también fue aislado de medios de cultivo de levadura y del hongo *Rhizopus suinus* (Leopold, 1987).

Antoszewsk (1973) establece que las condiciones para la actividad de los reguladores de desarrollo en el organismo vivo son:

a) Debe existir el emisor del regulador y el sistema que lo suministra. Frecuentemente el regulador es producido por el emisor a partir de precursores suministrados por otros órganos. El emisor produce el regulador de crecimiento, el cual se transporta a otras partes de la planta. En el caso de las auxinas, se puede considerar como emisor, la parte apical del brote con el meristemo, entrenudos inmaduros y hojas jóvenes.

b) Debe existir el sistema que controla el límite superior e inferior de concentraciones. El límite inferior es controlado frecuentemente por el mismo emisor.

El límite superior está dado por los sistemas enzimáticos que desintegran el regulador (por ejemplo: oxidasa de ácido indol 3-acético), conjugándolo con otras sustancias de una manera reversible o irreversible.

c) En el organismo debe existir el sistema que hace posible el transporte del regulador, desde el emisor hasta el lugar donde desempeña su acción. Conocido como canal de información, sistema de translocación ó sistema translocador.

d) La parte de la planta, en la cual el regulador despliega su acción, debe disponer del sistema para recibir la información y descifrarla, así como un receptor de información. El conocimiento sobre receptores de hormonas es muy escaso. Por lo general, las funciones fisiológicas del organismo se regulan por la transmisión de alimentación e información. Se debe recordar que cada proceso- fisiológico

aunque localizado en una parte de la planta, depende de lo que ocurre en otras partes de ésta.

Algunos progresos se han dado en la última década en respuesta a esos postulados. Las evidencias acumuladas indican que las auxinas son transportadas dentro de las raíces, desde la base hasta el ápice de la raíz, esto es una dirección acropétala y el transporte está polarizado, el cual es dependiente de la energía metabólica y es favorecido por la luz y por la temperatura.

Rayle y Cleland (1992), señalan que las auxinas se generan principalmente en las partes jóvenes de las plantas: ápices, frutos y hojas en desarrollo. Las auxinas estimulan el crecimiento por elongación del tallo, participan en la inhibición correlativa, de las yemas axilares, estimulan la acción del *cambium* y diferenciación del xilema y promueven la formación de raíces.

La propiedad más importante de las auxinas es su transporte, basípetala en el tallo y la raíz. Otra propiedad importante de las auxinas es que el tejido en donde se encuentran en alta concentración, se convierte en el punto de atracción de nutrientes. En las plantas se encuentran muchos derivados del indol, entre ellos, el triptófano es uno de los precursores principales del ácido indol -3- acético (AIA).

El metabolismo de AIA de las plantas ha sido objeto de mucho interés en los últimos años, desde que se encontraron los ácidos libres en las plantas, aunque también existen formas conjugadas (Folke et al., 1993). También se ha estudiado

la relación existente entre las hormonas y el fenómeno de estrés, destacándose que el contenido y actividad fisiológica de auxinas, giberelinas y citocininas decrece cuando el contenido de agua disponible para las plantas es limitado. Mientras que el contenido de ácido abscísico se incrementó en las hojas cuando el potencial hídrico disminuyó (Sharp y Davies, 1989).

Wightman et al., (1980) estudiaron los factores hormonales como control de la iniciación y desarrollo de raíces laterales de frijol, encontraron que la concentración óptima de AIA de 1×10^{-4} M, promueve la iniciación de raíces laterales (primordios laterales) y todas las auxinas excepto el ácido indol-3 propiónico inhiben la elongación de raíces laterales.

Law y Davies (1990), estudiaron el contenido de AIA en *Sleder pea*, bajo diferentes contenidos de giberelina, realizado con el método de cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS), Los niveles de AIA de brotes de crecimiento fueron similares en las líneas de frijol evaluadas. Las muestras fueron obtenidas de ápices y brotes tiernos.

3.3 Citocininas

Gaspar et al., (1996) y *Pérez-Molphe et al.*, (1999) mencionan que las citocininas generalmente son derivados de la adenina y son sintetizadas en tejidos jóvenes y raíces. Poseen dos propiedades que las hacen muy útiles para el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales; por un lado estimulan, la división celular y por otro rompen la

latencia de las yemas axilares haciéndolas brotar. En las plantas, las citocininas promueven la brotación de yemas axilares, estimulan la expansión de las hojas y retardan la senescencia. Junto con las auxinas, las citocininas regulan la división celular. Debido a lo anterior, el balance entre auxinas y citocininas en las plantas suele ser determinante para el patrón de desarrollo.

Greene (1980) señala que las citocininas se localizan en los ápices de las raíces de donde se transportan hacia la parte aérea y que son el principal grupo de reguladores de crecimiento de las plantas, ya que éstas estimulan la división celular y retardan la senescencia.

Smith (1983) señala que las funciones fisiológicas de un grupo dado de células dependen en la mayoría de los casos, de la influencia de más de una hormona. Por tanto se requiere conocer la información cuantitativa sobre la formación de hormonas y otros factores de crecimiento, bajo ciertas condiciones ecológicas

Las citocininas, son producidas principalmente en las raíces, se transportan por el xilema y floema en forma acropétala y basipétala, estimulando la síntesis de proteína, clorofila y división celular de los meristemos, retardando la senescencia de órganos y en presencia de auxinas estimulan la actividad del *cambium*, neutralizan la inhibición del crecimiento de las yemas axilares causadas por auxinas o ácido abscísico, intervienen en la regulación de muchos otros fenómenos biológicos, razón por la cual las plantas tienen un incremento en su desarrollo (Hirsch et al., 1997).

Los estudios con la longitud del día en plantas de *Sinapia alba*, sugieren la existencia de señales entre ramas y raíces, las cuales están bajo el control del fotoperíodo y afectan la síntesis de citocininas y su liberación desde las raíces (Kinet et al., 1993).

Goicoechea et al., (1997), mencionan que hay una correlación positiva entre el incremento de las citocininas y la tasa de intercambio de CO₂, conductancia estomatal y la transpiración. Estos resultados conducen a la conclusión de que los niveles de esta citocinina están involucrados en el mejoramiento de la fotosíntesis.

3.4 Giberelinas

El estudio de las giberelinas comenzó a partir de 1926, cuando Kurósawa, en Japón, analizó una enfermedad común en los arrozales llamada “Bakanae” (gigantismo). La enfermedad es causada por *Gibberella fujikuroi* Saw, hongo ascomiceto denominado *Fusarium moniliforme* Sheld, en su forma asexual. Las plantas atacadas se caracterizan por el tamaño desmesurado que alcanzan sus cañas, las que raramente florecen y fructifican. Con filtrados de cultivos del hongo, libres de micelio o esporas, Kurosawa pudo reproducir la enfermedad y llegó a la conclusión de que el fenómeno era causado por una sustancia activa sintetizada por el microorganismo parásito.

En el año 1939, Yabuta y Hayashi (Barlow, 1987) lograron aislar el producto activo, al que denominaron “giberelina A”. Sólo en 1954, Curtis y Cross, en Inglaterra, determinaron la composición química del producto y lo llamaron ácido giberélico, conocido también como ácido giberélico (GA₃). Poco después, Radley en 1956 demostró la presencia de principios activos semejantes en plantas superiores. Más tarde fueron identificadas también en las gimnospermas, pteridofitas, algas, hongos y bacterias (Takahashi, 1986).

Radmacher (1994) y Danneberg *et al.* (1992) señalan que las giberelinas: se producen en las partes jóvenes de las plantas; las fuentes más ricas y abundantes de esta hormona son las raíces y los frutos jóvenes, especialmente sus semillas; estos compuestos estimulan el crecimiento por alargamiento de los tallos de numerosas plantas; que la presencia de auxinas estimula la actividad del cambium; en plantas herbáceas de día largo, la producción de giberelinas es estimulada por la longitud del día, lo cual favorece la inducción floral, estas se transportan fácilmente en forma basipétala como acropétala; la giberelina más común es GA₃; que participa en la floración y amarre de frutos, con lo cual se incrementa la producción. La concentración de giberelinas en la maduración de hojas de plantas frondosas de naranja fue consistentemente alta en comparación con plantas con poco follaje, mientras que el ABA en el fruto decreció durante el desarrollo del mismo (Sager y Erner, 1991).

Las giberelinas GA₁, GA₄, GA₉, y GA₂₀ fueron identificadas en extractos *de hojas de begonia* (*Begonia evansiana*), las cuales fueron purificadas usando fase

reversa y por fase normal, mediante la técnica de HPLC, donde se señala que las giberelinas afectan la floración inicial y el desarrollo (Oden y Ola, 1988). Wightman *et al.* (1980) comprobaron que las concentraciones endógenas de giberelina (GA_3) de 1×10^{-3} a 10^{-5} , promueven el desarrollo de raíces de frijol y mencionan que los entrenudos son regulados por el nivel de giberelina.

Fos *et al.* (2000), cuantificaron la concentración de giberelinas mediante HPLC en ovarios de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y afirman que elevando la concentración de esta hormona, se puede producir partenocarpía en los frutos y actualmente se estudian los genes que están involucrados en este fenómeno.

Uno de los grandes problemas con las hormonas vegetales es el ensayo. Por lo general están presentes en cantidades minúsculas y son muy difíciles de detectar o caracterizar químicamente.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el período de primavera se realizó la colecta en parcelas comerciales de nopal para producción de Tuna blanca de la región del valle de Teotihuacán, en los municipios de Axapusco, Nopaltepec, Otumba, San Martín de Las Pirámides, Temascalapa y Teotihuacán. De cada uno de los municipios se eligieron diferentes muestras de acuerdo a la importancia que representa en cuanto a superficie sembrada de tuna (Cuadro1). Cada submuestra consistió de un disco de 5 cm de

diámetro obtenido de la parte media del cladodio y de la parte media de la planta, haciendo una muestra compuesta de 3 discos de la misma planta con síntomas de engrosamiento y 1 muestra sana por municipio. Las muestras se trasladaron al laboratorio de usos múltiples del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo con la finalidad de deshidratarlas con un equipo liofilizador (LABCONCO).

Cuadro 1. Número de muestras tomadas por municipio para el análisis de contenido de hormonas vegetales.

Municipio	Numero de Muestras con Síntomas	Numero de Muestras sin Síntomas
Nopaltepec	9	1
Temascalapa	12	2
Teotihuacán	12	1
San Martín de Las Pirámides	7	1
Otumba	6	1
Axapusco	3	1

4.1 Obtención de extractos

- 1.- Se liofilizó la muestra de nopal.
- 2.- El tejido liofilizado se conservó en congelador a -10°C
- 3.- Se pesaron 50 mg de tejido y se maceró en un mortero, esto se transfirió a un tubo de 2 mL con tapa y se colocó en un recipiente con hielo.

- 4.- Se prepararon 5 mL de solución de extracción, 2-propanol:agua:HCl concentrado (2:1:0.002, vol:vol:vol).
- 5.- Se añadieron 500 µL de solución de extracción a cada tubo.
- 6.- La muestra se agitó en vortex.
- 7.- Se añadió 1 mL de diclorometano a cada muestra y se agitó por 30 min a 4°C
- 8.- Se colocaron las muestras en una microcentrífuga refrigerada a 4°C y se centrifugaron 5 min a 13 000 g.
- 9.- Se Transfirió alrededor de 900 µL del solvente de la fase baja utilizando pipeta Pasteur a otro vial y se concentró la mezcla (sin llegar a desecar completamente usando una corriente de aire). Se añadieron 0.9 ml de metanol.
- 10.- Se filtró en una membrana de NYLON de 045 µm (Marca Titan 2). Acrodiscos.
- 11.- Se inyectaron 50 µL en el cromatógrafo, de acuerdo a las condiciones citadas por Pan et al. (2010)(Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros de gradiente CLAR fase reversa (Pan et al. 2010)

Tiempo (min)	Gradiente (porcentaje de B por volumen)
0-2	30
2-20	Incremento lineal a 100
20-22	100
22-25	Decremento lineal a 30

CLAR, Cromatografía líquida de alta resolución.

Fase móvil A: agua destilada con de acido fórmico 0.1%; Fase móvil B: metanol con 0.1% de ácido fórmico.

Con los resultados obtenidos en el cromatógrafo se procedió a realizar la prueba de chi cuadrada para corroborar que existiera una diferencia estadística entre la concentración de los diferentes reguladores de crecimiento presentes en plantas con síntomas y plantas sin síntomas de ECN

V. RESULTADOS

En el cuadro 3 se muestran los resultados del tiempo de retención de las hormonas utilizadas como estándares internos, a partir de los cuales se compararon los resultados de las muestras analizadas.

Cuadro 3. Tiempos de retención de los estándares internos.

Estándar	Tiempo de retención (min)
Zeatina	7.1
AG3	10.8
BAP	12.6
AIA	14.2
AIB	17.3

AG3: Acido Giberelico, BAP: Bencilaminopurina, AIA: Ácido Indolacetico, AIB: Ácido Indolbutírico.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los diferentes cromatogramas, es evidente la diferencia entre una muestra con engrosamiento (Figura 1) y una muestra de planta sin engrosamiento (Figura 2), en la que se aprecia que las plantas con engrosamiento carecen de ácido giberélico y ácido indolbutírico, esto se presentó de manera generalizada para todas las muestras analizadas con ECN, lo que muestra una deficiencia en cuanto a contenido hormonal. Algunas muestras con ECN provenientes de Teotihuacán y Temascalapa presentaron además AIB.

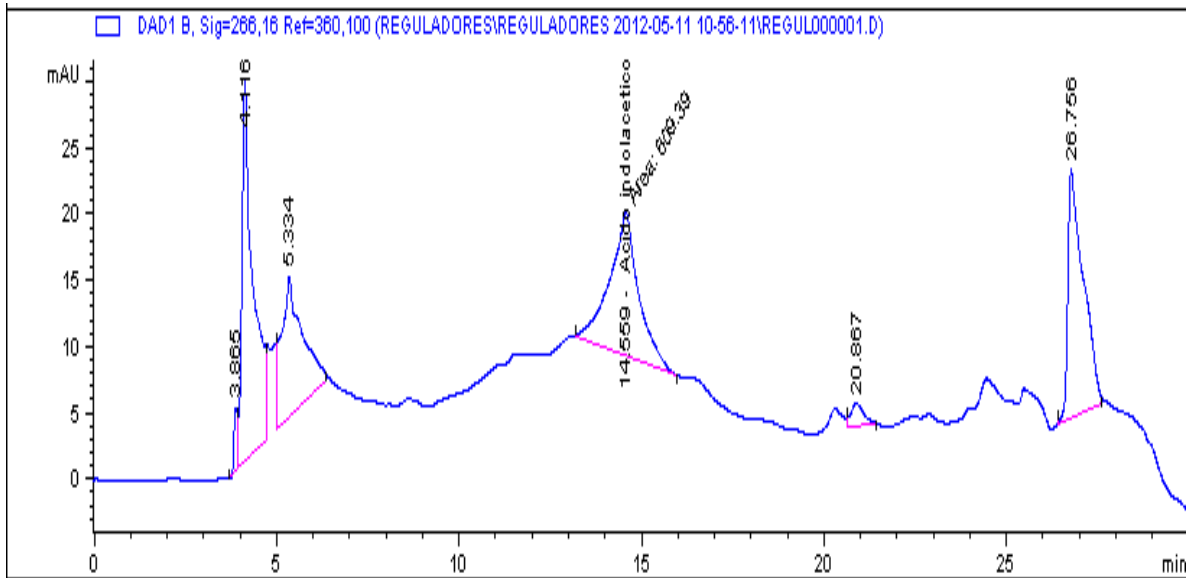


Figura 1. Cromatograma de planta con síntoma de engrosamiento, muestra 1.

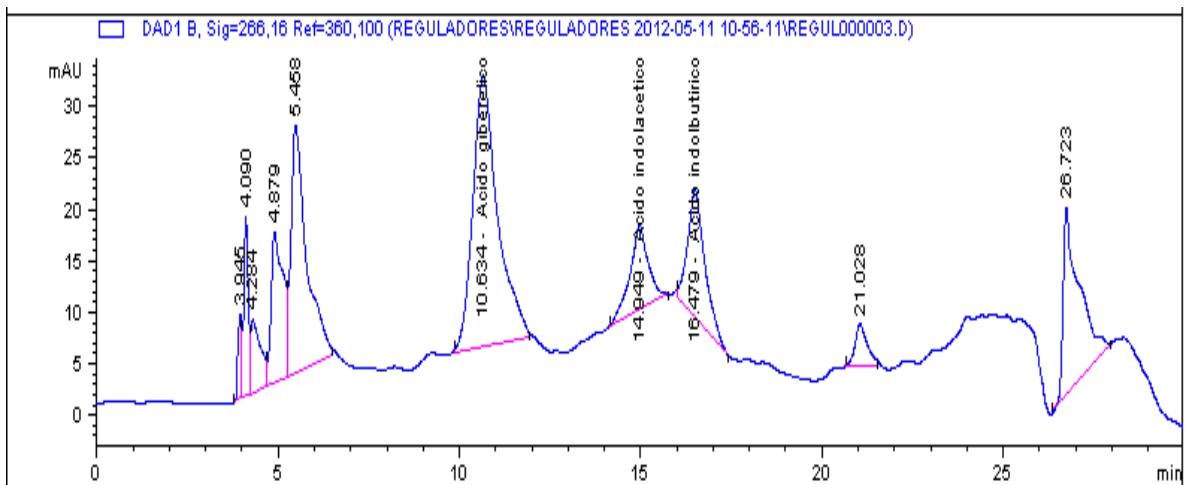


Figura 2. Cromatograma de planta sin síntomas de engrosamiento, muestra sana 1.

Prueba de X^2 para determinar asociación estadística.

Con base en los datos que se obtuvieron, se desarrollan una serie pruebas de X^2 , las cuales evalúan el nivel de asociación estadística, la prueba plantea como hipótesis el hecho de que las variables están asociadas o son dependientes cuando el valor de X^2 calculada es menor o igual al de X^2 tabulada (tabla de X^2).

Para esta prueba se tomó como valores observados los obtenidos en plantas con síntomas de ECN y como Esperados los de plantas sin síntomas.

Cuadro 4. Ejemplo de la obtención de X^2 calculada en una muestra de nopal del municipio de Axapusco, Edo. de México.

Regulador de Crecimiento	VALORES		(O-E)	(O-E) ²	$\frac{(O-E)^2}{E}$
	Con síntoma ECN (Observados)	Sin síntoma ECN (Esperados)			
Zeatina	0	0	0	0	----
AG3	0	212.82527	-212.82527	45294.5956	212.82527
AIA	2012.49415	657.80181	1354.69234	1835191.34	2789.8849
AIB	0	71658.7	-71658.7	5134969286	71658.7
BAP	0	0	0	0	----
TOTAL (X^2 cal)					74661.4102

La toma de decisión se realizó usando la tabla de distribución probabilística de X^2 con un $\alpha=0.05$ (coeficiente de significancia) y dado que se tuvieron cinco categorías de hormonas en estudio, los grados de libertad (g.l.) $n-1 = 5-1 = 4$ g. l., teniendo una x^2 de tablas igual a 9.487, por lo tanto no existe asociación estadística entre los datos obtenidos de concentración de hormonas entre plantas con ECN y plantas sin ECN dado que $X^2_{\text{tabulada}} < X^2_{\text{calculada}}$.

Dado que en todas las muestras con ECN se obtuvo una X^2 calculada mayor a 9.487, se puede decir que hay diferencia estadística en los datos de concentración de reguladores de crecimiento entre las plantas con ECN y las que no presentan síntomas de ECN y por lo tanto se puede decir que hay una alteración en el contenido de reguladores de crecimiento vegetal asociado con el ECN.

Cuadro 5. Valores de X^2 por muestra en los diferentes municipios del área en estudio.

No. de Muestra	Municipio	X^2 calculada
1	Axapusco	74661.4102
2	Axapusco	72432.5716
3	Axapusco	15034.6681
4	Nopaltepec	161271.054
5	Nopaltepec	160916.766
6	Nopaltepec	200319.643
7	Nopaltepec	154169.302
8	Nopaltepec	160876.445
9	Nopaltepec	160993.681
10	Nopaltepec	160872.8
11	Nopaltepec	161716.828
12	Nopaltepec	160873.299
13	Otumba	151043.22
14	Otumba	152404.294
15	Otumba	151049.925
16	Otumba	151335.573
17	Otumba	151056.51
18	Otumba	150721.16
19	San Martín de Las Pirámides	273733.236
20	San Martín de Las Pirámides	273276.729
21	San Martín de Las Pirámides	273165.612
22	San Martín de Las Pirámides	273502.94
23	San Martín de Las Pirámides	273332.555
24	San Martín de Las Pirámides	273143.41
25	San Martín de Las Pirámides	273161.725
26	Temascalapa	33056.8751
27	Temascalapa	32997.0453
28	Temascalapa	33179.1692
29	Temascalapa	32832.2799
30	Temascalapa	33465.7481
31	Temascalapa	23865.1574
32	Temascalapa	9348.15658
33	Temascalapa	24993.4098

34	Temascalapa	32827.2523
35	Temascalapa	19238.661
36	Temascalapa	18541.7622
37	Temascalapa	32857.3055
38	Teotihuacán	129779.685
39	Teotihuacán	129762.726
40	Teotihuacán	130605.822
41	Teotihuacán	144325.9
42	Teotihuacán	139845.419
43	Teotihuacán	134259.91
44	Teotihuacán	125248.089
45	Teotihuacán	145771.029
46	Teotihuacán	144255.427
47	Teotihuacán	144122.019
48	Teotihuacán	144305.567
49	Teotihuacán	137047.493

Cuadro 6. Concentración hormonal de las muestras analizadas por CLAR en 50 µL inyectados al cromatografo.

No.	Municipio	Concentración Hormonal de Plantas con Síntomas				
		Zeatina (ng)	AG (ng)	AIA (ng)	AIB (ng)	BAP (ng)
1	Axapusco	0	0	2012.49415	0	0
2	Axapusco	0	369.99583	0	0	0
3	Axapusco	0	0	0	39800	0
4	Nopaltepec	0	0	0	334.11698	50.68308
5	Nopaltepec	0	0	1292.15403	0	0
6	Nopaltepec	0	0	7561.34318	0	0
7	Nopaltepec	0	0	913.93574	3397.49858	0
8	Nopaltepec	0	0	1151.61469	0	0
9	Nopaltepec	0	0	1432.14838	0	0
10	Nopaltepec	0	0	1013.85138	0	0
11	Nopaltepec	0	0	117.3225	0	0
12	Nopaltepec	0	0	1128.01005	0	0
13	Otumba	0	0	1473.92599	0	0
14	Otumba	0	0	2176.00997	0	0
15	Otumba	0	0	1479.57417	0	0
16	Otumba	0	0	1681.937	0	0

17	Otumba	0	0	1485.06539	0	0	
18	Otumba	0	0	895.13381	0	0	
19	San Martín de Las Pirámides	0	0	114.81891	0	0	
20	San Martín de Las Pirámides	0	28.10572	414.05627	0	0	
21	San Martín de Las Pirámides	0	0	939.81046	0	0	
22	San Martín de Las Pirámides	0	0	1342.04313	0	0	
23	San Martín de Las Pirámides	0	0	1194.5998	0	0	
24	San Martín de Las Pirámides	0	0	829.08636	0	0	
25	San Martín de Las Pirámides	0	0	927.78784	0	0	
26	Temascalapa	0	0	1342.04313	0	0	
27	Temascalapa	0	0	1278.89581	0	0	
28	Temascalapa	0	0	1449.39371	0	0	
29	Temascalapa	0	0	816.16897	0	0	
30	Temascalapa	0	0	1643.29238	0	0	
31	Temascalapa	0	0	1368.11247	4993.34494	0	
32	Temascalapa	0	0	1340.73603	15600	0	
33	Temascalapa	0	0	1562.11491	4.48E+03	0	
34	Temascalapa	0	0	918.63856	0	0	
35	Temascalapa	0	0	1949.89212	8552.37494	0	
36	Temascalapa	0	0	1078.43288	8196.64007	0	
37	Temascalapa	0	0	1055.31875	0	0	
38	Teotihuacán	0	0	936.1279	7431.43104	0	
39	Teotihuacán	0	0	1332.239	7599.69983	0	
40	Teotihuacán	0	0	1641.63291	7419.61221	0	
41	Teotihuacán	0	0	1082.43664	0	0	
42	Teotihuacán	0	0	921.62255	2221.96736	0	
43	Teotihuacán	0	0	857.40558	5081.93951	0	
44	Teotihuacán	0	0	1103.69679	9885.40927	0	
45	Teotihuacán	0	0	1941.38981	0	0	
46	Teotihuacán	0	0	923.1384	0	0	
47	Teotihuacán	0	69.4439	866.25726	0	0	
48	Teotihuacán	0	0	594.0495	0	0	
49	Teotihuacán	0	0	1234.74742	3750.66139	0	
		Concentración de Hormonas Plantas sin síntomas					
1	Axapusco	0	212.82527	657.80181	71658.7	0	
2	Nopaltepec	0	369.99583	1068.59659	160500	0	

3	Otumba	0	325.08433	926.70433	150395	0
4	San Martín de Las Pirámides	0	605.61831	803.85503	272537	0
5	Temascalapa	0		772.73493	65608.6	0
6	Temascalapa	0	346.27893	889.21831	32480	0
7	Teotihuacán	0	307.75949	821.14956	143935	0

Cuadro 7. Concentración hormonal en 1000 μL de MeOH.

MUESTRAS DE PLANTAS CON ECN						
No. de Muestra	Municipio	Zeatina (ng)	AG (ng)	AIA (ng)	AIB (ng)	BAP (ng)
1	Axapusco	0	0	40249.883	0	0
2	Axapusco	0	7399.9166	0	0	0
3	Axapusco	0	0	0	796884	0
4	Nopaltepec	0	0	0	6682.3396	1013.6616
5	Nopaltepec	0	0	25843.0806	0	0
6	Nopaltepec	0	0	151226.864	0	0
7	Nopaltepec	0	0	18278.7148	67949.9716	0
8	Nopaltepec	0	0	23032.2938	0	0
9	Nopaltepec	0	0	28642.9676	0	0
10	Nopaltepec	0	0	20277.0276	0	0
11	Nopaltepec	0	0	2346.45	0	0
12	Nopaltepec	0	0	22560.201	0	0
13	Otumba	0	0	29478.5198	0	0
14	Otumba	0	0	43520.1994	0	0
15	Otumba	0	0	29591.4834	0	0
16	Otumba	0	0	33638.74	0	0
17	Otumba	0	0	29701.3078	0	0
18	Otumba	0	0	17902.6762	0	0
19	San Martín de Las Pirámides	0	0	2296.3782	0	0
20	San Martín de Las Pirámides	0	562.1144	8281.1254	0	0
21	San Martín de Las Pirámides	0	0	18796.2092	0	0
22	San Martín de Las Pirámides	0	0	26840.8626	0	0
23	San Martín de	0	0	23891.996	0	0

	Las Pirámides					
24	San Martín de Las Pirámides	0	0	16581.727 2	0	0
25	San Martín de Las Pirámides	0	0	18555.756 8	0	0
26	Temascalapa	0	0	26840.862 6	0	0
27	Temascalapa	0	0	25577.916 2	0	0
28	Temascalapa	0	0	28987.874 2	0	0
29	Temascalapa	0	0	16323.379 4	0	0
30	Temascalapa	0	0	32865.847 6	0	0
31	Temascalapa	0	0	27362.249 4	99866.898 8	0
32	Temascalapa	0	0	26814.720 6	312376	0
33	Temascalapa	0	0	31242.298 2	89537.039 8	0
34	Temascalapa	0	0	18372.771 2	0	0
35	Temascalapa	0	0	38997.842 4	171047.49 9	0
36	Temascalapa	0	0	21568.657 6	163932.80 1	0
37	Temascalapa	0	0	21106.375	0	0
38	Teotihuacán	0	0	18722.558	148628.62 1	0
39	Teotihuacán	0	0	26644.78	151993.99 7	0
40	Teotihuacán	0	0	32832.658 2	148392.24 4	0
41	Teotihuacán	0	0	21648.732 8	0	0
42	Teotihuacán	0	0	18432.451	44439.347 2	0
43	Teotihuacán	0	0	17148.111 6	101638.79	0
44	Teotihuacán	0	0	22073.935 8	197708.18 5	0
45	Teotihuacán	0	0	0	0	0
46	Teotihuacán	0	0	18462.768	0	0
47	Teotihuacán	0	1388.878	17325.145 2	0	0
48	Teotihuacán	0	0	11880.99	0	0
49	Teotihuacán	0	0	24694.948 4	75013.227 8	0
MUESTRAS DE PLANTAS SIN ECN						
	Municipio	Zeatina	AG	AIA	AIB	BAP

		(ng)	(ng)	(ng)	(ng)	(ng)
1	Axapusco	0	4256.5054	13156.036 2	1433174	0
1	Nopaltepec	0	7399.9166	21371.931 8	3210960	0
2	Otumba	0	6501.6866	18534.086 6	3007900	0
3	San Martín de Las Pirámides	0	12112.366 2	16077.100 6	5450740	0
4	Temascalapa	0	0	15454.698 6	1312172	0
5	Temascalapa	0	6925.5786	17784.366 2	649600	0
6	Teotihuacán	0	6155.1898	16422.991 2	2878700	0

Cuadro 8. Concentración de reguladores de crecimiento vegetal en peso seco de tejido de cladodios de nopal (ng/mg)

PLANTAS CON SINTOMAS DE ENGROSAMIENTO						
No. de Muestra	Municipio	Zeatina	AG	AIA	AIB	BAP
1	Axapusco	0	0	805	0	0
2	Axapusco	0	148	0	0	0
3	Axapusco	0	0	0	15938	0
4	Nopaltepec	0	0	0	134	20
5	Nopaltepec	0	0	517	0	0
6	Nopaltepec	0	0	3025	0	0
7	Nopaltepec	0	0	366	1359	0
8	Nopaltepec	0	0	461	0	0
9	Nopaltepec	0	0	573	0	0
10	Nopaltepec	0	0	406	0	0
11	Nopaltepec	0	0	47	0	0
12	Nopaltepec	0	0	451	0	0
13	Otumba	0	0	590	0	0
14	Otumba	0	0	870	0	0
15	Otumba	0	0	592	0	0
16	Otumba	0	0	673	0	0
17	Otumba	0	0	594	0	0
18	Otumba	0	0	358	0	0
19	San Martín de Las Pirámides	0	0	46	0	0
20	San Martín de Las Pirámides	0	11	166	0	0

21	San Martín de Las Pirámides	0	0	376	0	0
22	San Martín de Las Pirámides	0	0	537	0	0
23	San Martín de Las Pirámides	0	0	478	0	0
24	San Martín de Las Pirámides	0	0	332	0	0
25	San Martín de Las Pirámides	0	0	371	0	0
26	Temascalapa	0	0	537	0	0
27	Temascalapa	0	0	512	0	0
28	Temascalapa	0	0	580	0	0
29	Temascalapa	0	0	326	0	0
30	Temascalapa	0	0	657	0	0
31	Temascalapa	0	0	547	1997	0
32	Temascalapa	0	0	536	6248	0
33	Temascalapa	0	0	625	1791	0
34	Temascalapa	0	0	367	0	0
35	Temascalapa	0	0	780	3421	0
36	Temascalapa	0	0	431	3279	0
37	Temascalapa	0	0	422	0	0
38	Teotihuacán	0	0	374	2973	0
39	Teotihuacán	0	0	533	3040	0
40	Teotihuacán	0	0	657	2968	0
41	Teotihuacán	0	0	433	0	0
42	Teotihuacán	0	0	369	889	0
43	Teotihuacán	0	0	343	2033	0
44	Teotihuacán	0	0	441	3954	0
45	Teotihuacán	0	0	776	0	0
46	Teotihuacán	0	0	369	0	0
47	Teotihuacán	0	28	347	0	0
48	Teotihuacán	0	0	238	0	0
49	Teotihuacán	0	0	494	1500	0

PLANTAS SIN SINTOMAS

	Municipio					
1	Axapusco	0	85	263	28663	0
1	Nopaltepec	0	148	427	64219	0
2	Otumba	0	130	371	60158	0
3	San Martín de Las Pirámides	0	242	322	109015	0
4	Temascalapa	0	0	309	26243	0
5	Temascalapa	0	138	356	12992	0

6	Teotihuacán	0	123	328	57574	0
---	-------------	---	-----	-----	-------	---

Cuadro 9. Porcentaje de concentración de reguladores de crecimiento vegetal en plantas con engrosamiento respecto de plantas sin síntomas.

No. Muestra	Municipio	Zeatina (%)	AG (%)	AIA(%)	AIB(%)	BAP(%)
1	Axapusco	0.00	0.00	306.00	0.00	0.00
2	Axapusco	0.00	174.00	0.00	0.00	0.00
3	Axapusco	0.00	0.00	0.00	56.00	0.00
4	Nopaltepec	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00
5	Nopaltepec	0.00	0.00	120.92	0.00	0.00
6	Nopaltepec	0.00	0.00	707.60	0.00	0.00
7	Nopaltepec	0.00	0.00	85.53	2.12	0.00
8	Nopaltepec	0.00	0.00	107.77	0.00	0.00
9	Nopaltepec	0.00	0.00	134.02	0.00	0.00
10	Nopaltepec	0.00	0.00	94.88	0.00	0.00
11	Nopaltepec	0.00	0.00	10.98	0.00	0.00
12	Nopaltepec	0.00	0.00	105.56	0.00	0.00
13	Otumba	0.00	0.00	159.05	0.00	0.00
14	Otumba	0.00	0.00	234.81	0.00	0.00
15	Otumba	0.00	0.00	159.66	0.00	0.00
16	Otumba	0.00	0.00	181.50	0.00	0.00
17	Otumba	0.00	0.00	160.25	0.00	0.00
18	Otumba	0.00	0.00	96.59	0.00	0.00
19	San Martín de las pirámides	0.00	0.00	14.28	0.00	0.00
20	San Martín de las pirámides	0.00	4.65	51.51	0.00	0.00
21	San Martín de las pirámides	0.00	0.00	116.91	0.00	0.00
22	San Martín de las pirámides	0.00	0.00	166.95	0.00	0.00
23	San Martín de las pirámides	0.00	0.00	148.61	0.00	0.00
24	San Martín de las pirámides	0.00	0.00	103.14	0.00	0.00
25	San Martín de las pirámides	0.00	0.00	115.42	0.00	0.00
26	Temascalapa	0.00	0.00	173.67	0.00	0.00
27	Temascalapa	0.00	0.00	165.50	0.00	0.00
28	Temascalapa	0.00	0.00	187.57	0.00	0.00
29	Temascalapa	0.00	0.00	105.62	0.00	0.00
30	Temascalapa	0.00	0.00	212.66	0.00	0.00
31	Temascalapa	0.00	0.00	177.05	7.61	0.00
32	Temascalapa	0.00	0.00	173.51	23.81	0.00
33	Temascalapa	0.00	0.00	202.15	6.82	0.00
34	Temascalapa	0.00	0.00	118.88	0.00	0.00
35	Temascalapa	0.00	0.00	252.34	13.04	0.00

36	Temascalapa	0.00	0.00	139.56	12.49	0.00
37	Temascalapa	0.00	0.00	136.57	0.00	0.00
38	Teotihuacán	0.00	0.00	114.00	5.16	0.00
39	Teotihuacán	0.00	0.00	162.24	5.28	0.00
40	Teotihuacán	0.00	0.00	199.92	5.15	0.00
41	Teotihuacán	0.00	0.00	131.82	0.00	0.00
42	Teotihuacán	0.00	0.00	112.24	1.54	0.00
43	Teotihuacán	0.00	0.00	104.42	3.53	0.00
44	Teotihuacán	0.00	0.00	134.41	6.87	0.00
45	Teotihuacán	0.00	0.00	236.25	0.00	0.00
46	Teotihuacán	0.00	0.00	112.42	0.00	0.00
47	Teotihuacán	0.00	22.58	105.49	0.00	0.00
48	Teotihuacán	0.00	0.00	72.34	0.00	0.00
49	Teotihuacán	0.00	0.00	150.37	2.61	0.00

Figura 3. Concentración Acido Giberelico en plantas con ECN y en plantas sin ECN

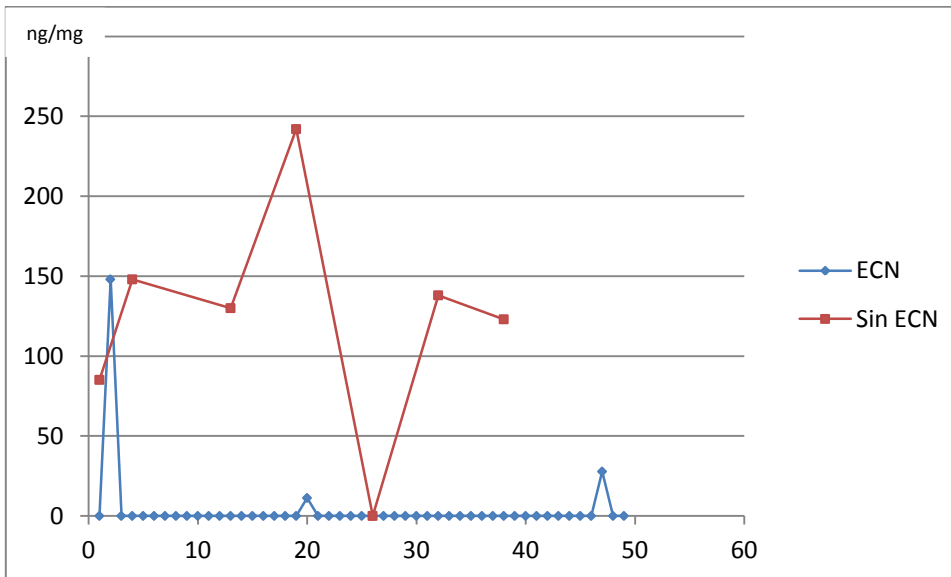


Figura 4. Concentración de ácido indolacético

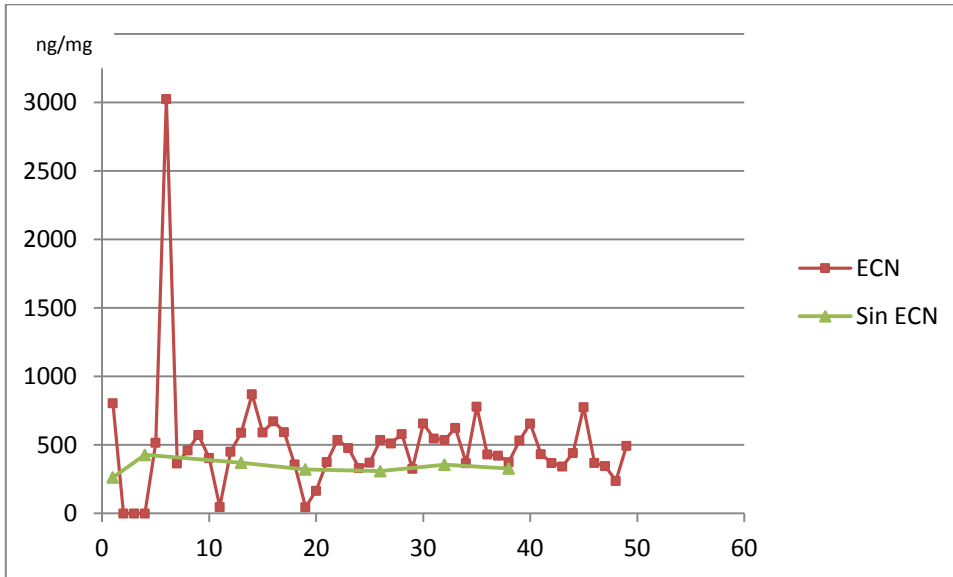


Figura 5. Concentración de ácido Indolbutírico.

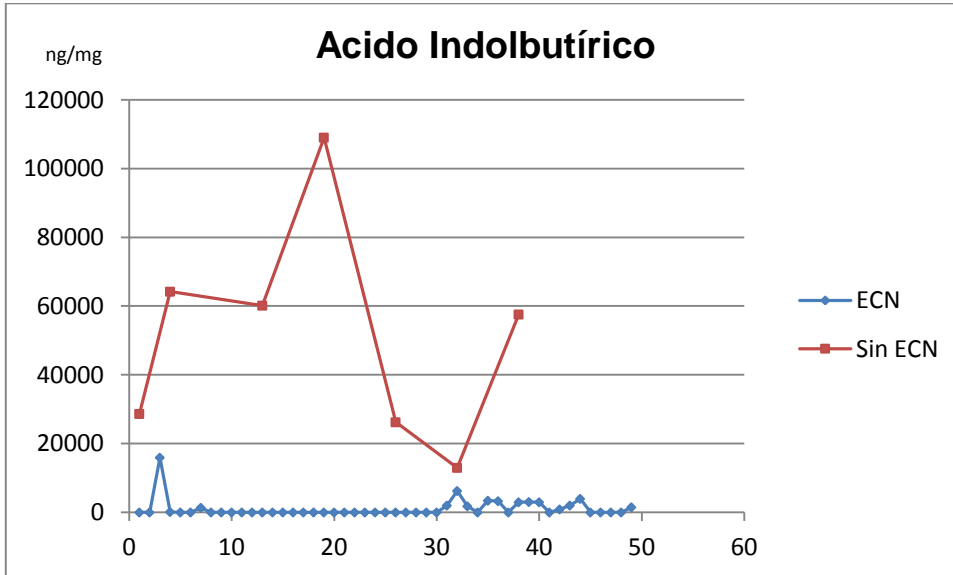


Figura 6. Reguladores de crecimiento encontrados en nopal.

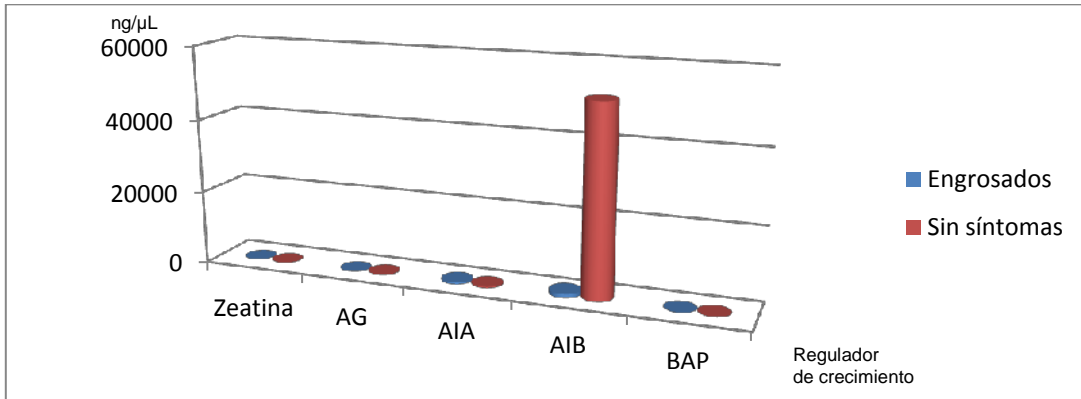
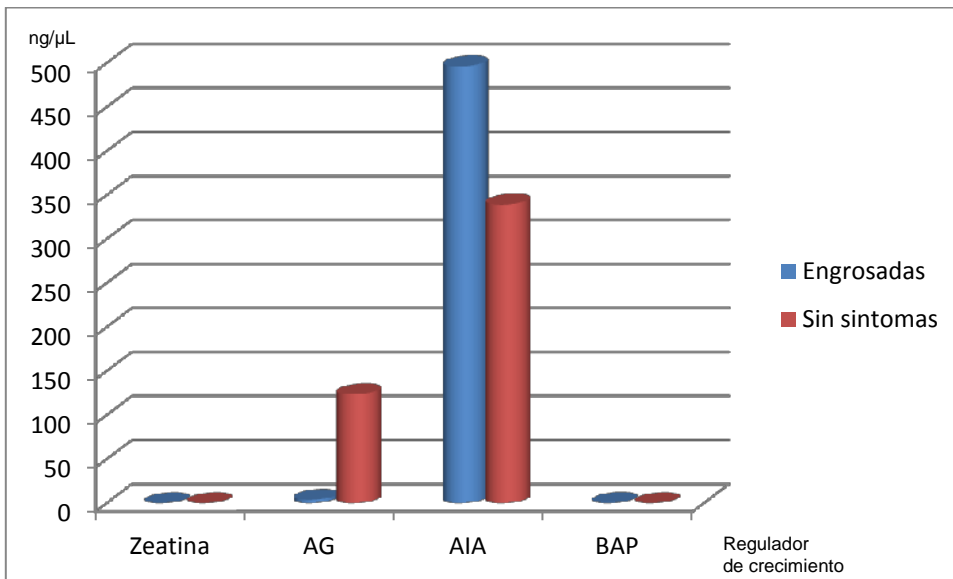


Figura 7. Reguladores presentes en nopal omitiendo AIB para un mejor contraste entre los demás reguladores.



VI. DISCUSION

Radmacher (1994) y Danneberg *et al.* (1992) señalan que las giberelinas estimulan el crecimiento por alargamiento de los tallos de numerosas plantas; que

participa en la floración y amarre de frutos, con lo cual se incrementa la producción, por lo que se infiere que el decremento de este tipo de hormonas observado en plantas con engrosamiento de cladodio está relacionado con la reducción de la elongación de los cladodios y como consecuencia la deformidad en forma de corazón, un menor amarre de frutos y de menor tamaño.

Gaspar *et al.* (1996) y Pérez-Molphe *et al.* (1999) mencionan que las Auxinas participan en el crecimiento celular, estimulación del crecimiento del tallo, el “inicio de la división celular”, la dominancia apical, afectan la senescencia y abscisión de las hojas, estos procesos en plantas con engrosamiento, al parecer, no se llevan a cabo ya que el AIB no se encuentra presente en las plantas con síntomas de engrosamiento, y dado que hay solo la presencia de AIA este desbalance hace que las plantas tengan crecimiento solo por división celular, lo que a su vez concuerda con lo encontrado por Pimienta (1974) que encontró diferencias en tamaño de células y sugirió un metabolismo hormonal alterado, esta teoría se pudo comprobar en este trabajo.

VII. CONCLUSIONES

Los reguladores de crecimiento encontrados con CLAR en Plantas con engrosamiento fueron AIA y AIB.

Solo en tres plantas con engrosamiento de cladodios se presento ácido giberélico a comparación de las muestras de tejido sin síntomas en donde en todas se detecto esta fitohormona.

En ninguna de las muestras analizadas tanto sanas como enfermas, se detectó la presencia de Zeatina. Solo en una muestra (muestra 4 enferma) se detectó BAP.

El método empleado para la extracción de reguladores de crecimiento fue el adecuado ya que en una sola matriz se pudo obtener a los diferentes reguladores tomados en cuenta en el presente estudio y permitió su adecuada detección mediante CLAR

Al realizar las pruebas de X^2 se corroboró que existió una diferencia estadística en el contenido de reguladores de crecimiento entre plantas con ECN y sin ECN por lo que se sugiere que este problema en el nopal está asociado con dichos reguladores.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Altoszewski, R. (1973). Regulación de procesos fisiológicos-consideraciones teóricas. *Wiadomosci Botaniczne*, 18: 37-41.

Barba-Álvarez, B. 2001. Reguladores del crecimiento vegetal. En: *Cultivo de Tejidos vegetales*. Ed. Hurtado, D. V.; Merino, M. E. Trillas, México 48-68.

Barker, S.J., Tagu, D. y Delp, G. (1998). Regulation of root and fungal morphogenesis mycorrhizal simbioses. *Plant physiology*, 116: 1201-1 207.

Bidwell, R.G. (1976). *Plant physiology*. (Ed). R.G. Bidwell. University, Kigston. Ontario Canada. pp. 784.

Chatterjee A., Ghosh S. K. 2008 Alterations in biochemical components in mesta plants infected with yellow vein mosaic disease. *Braz. J. Plant Physiol.*20:4

Danneberg, G., Latus, C., Zimmer, W., Hundershagen, B., Schneider-Poetsch, H. y Bothe, H. (1992). Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on phytohormone balances in maiz (*Zea mays* L.). *Journal Plant Physiology*, 141: 33-39.

Darnell J., Lodish H. y Baltimore, D. (1990). Plant hormones and plant growth and differentiation. In: *Molecular cell biology*. Scientific American Books. pp. 752-762, Second edition. New York.

Davies, P.J. (1995). The plant hormones: Their nature, occurrence, and functions. In: *Plant Hormones*. Davies, P.J. (Ed). *Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. . pp. 1-11.

Davies, P. J. 2010 The Plant Hormones. Their nature, occurrence and functions. En: Davies, P. J. Plant Hormones. Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. Springer Science +Business Media B. V.

Folke, S., Ostin, A., Sundberg, B., Olsson, O. y Sandberg, G. (1993). Conjugation of indole-3-acetic acid (IAA) in wild type and IAA- overproducing transgenic Tobacco plants, and identification of the main conjugates by fast atom bombardment liquid chromatography-mass spectrometry.

Fos, M., Nuez, F. Y García-Martínez, J.L. (2000). The gene pat-2, which induces natural parthenocarpy alters the gibberellin content in unpollinated tomato ovaries, Plant Physiology, 122: 471-479.

Gaspar, T., Kevers, C., Penel, C., Greppin, H., Reid, D.M. y Thorpe, T.A. (1996). Plant hormones and plant growth regulators in plant tissue culture. In vitro cell. Dev. Biol-Plant, 32: 272-289.

Goicoechea, N., Antolín, M.C. y Sánchez-Díaz, M. (1997). Gas exchange related the hormone balance in mycorrhizal or fixing alfalfa subjected to drought. Physiologia Plantarum, 100: 989-997.

Greene, M.E. (1980). Cytokinin production by microorganisms. Botanical Review, 46 (1): 25-74.

Hirsch, A.M., Fang, Y., Asad, S. y Kapulnik, Y. (1997). The role of phytohormones in plant-microbe symbioses. Plant and Soil, 194: 171-184.

Kinet, J.M., Lejeune, P. y Bernier, G. (1993). Shoot-root interactions during floral transition: A possible role for cytokinins. Environmental and Experimental Botany, 33 (4): 459-469.

Law, David M. and Davies, Peter J. 1990 Comparative Indole-3-Acetic Acid Levels in the Slender Pea and Other Pea Phenotypes¹ Plant Physiol. 93: 1539-1543

Leopold, A.C. (1987). Contemplation of hormone as biological regulators hormone action in plant development-a critical appraisal (Hoad, G.V., Lenton, J.R., Jackson, M.B. y Atkin, R. K. eds). Butterworths, London. p. 3

Mc. Dougall, J. y Hillman, J.R. (1978). Analisis of índole-3-acetic acid using GC-MC techniques. In: Isolation of plant growth substances., ed. J.R. Hillman, Cambridge University Press, Londres.

Odén, P. y Ola, M. H. (1988). Detection and identification of giberellins in extracts of begonia leaves by bioassay, radioimmunoassay and gas chromatography mass spectrometry. Physiologia plantarum, 73: 445-450.

Pérez-Molphe, E. M.; Ramírez-Malagón, R.; Núñez-Palenius, H. G. y Ochoa-Alejo N. 1999. Introducción al Cultivo de Tejidos Vegetales. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México.

Pimienta, B., E. 1974. Estudios de las causas que producen engrosamiento de cladodios de nopal (*Opuntia* spp) en la zona de Chapingo. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Fitopatología. Colegio de Postgraduados. 67 p.

Rademacher, W. (1994). Gibberellin formation in microorganisms. Plant Growth Regulation, 15: 303-314.

Rayle, D. L. y Cleland, R.E. (1992). The acid growth theory of auxin- induced cell elongation is alive and well. Plant Physiology, 99: 1271-1274.

Sager, O. y Erner, Y. (1991). Gibberellins and abscisic acid content T during flowering and fruit set of "Shamouti" Orange. *Scientia Horticulturae*, 48: 29-39.

Sharp R.E. y Davies, W.J. (1989). Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water. *Plant under stress*. (eds.) Jones H.G., Flowers T.J. y M.B. Jones. Cambridge. University Press, Cambridge, 71 pp.

Smith, S.E. y Read, D.J. (1983). Mycorrhizal symbiosis. VI. Structure and development of ectomycorrhizal roots. Second Edition. Academic Press, San Diego. pp. 163-232.

Solano, D. A., Álvarez, H. J. G., Rodríguez, J. A. 2008. Distribución espacial de *Brevipalpus phoenicis*, vector de la leprosis de los cítricos en el cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis*) en Yopal, Casanare (Colombia) *Agronomía Colombiana*, vol. 26, núm. 3, 399-410 Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Takahashi, N. (1986). *Chemistry of plants hormones*. Boca Raton, Fla. C.R.C. Press Inc.

Wightman, F., Elnora, A.S. y Kenneth, V.T. (1980). Hormonal factors controlling the initiation and development of lateral roots. *Plant Physiology*, 149: 304-314.