

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



**FACTORES QUE DETERMINAN LA ASOCIACIÓN DEL INSECTO
PRODUCTOR DE GRANA FINA (*Dactylopius coccus* Costa) (HOMOPTERA:
DACTYLOPIIDAE) A DIFERENTES ESPECIES DE *OPUNTIA* Y *NOPALEA***

TESIS DE DOCTORADO

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO
DE RECURSOS NATURALES**

**PRESENTA:
M.C. ALDO TOVAR PUENTE**

Linares, N. L., México

Julio de 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES


FACTORES QUE DETERMINAN LA ASOCIACIÓN DEL INSECTO
PRODUCTOR DE GRANA FINA (*Dactylopius coccus* Costa) (HOMOPTERA:
DACTYLOPIIDAE) A DIFERENTES ESPECIES DE *OPUNTIA* Y *NOPALEA*

TESIS DE DOCTORADO
Que para obtener el grado de Doctor en Ciencias

PRESENTA:

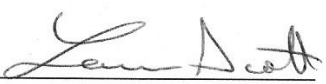
M.C. ALDO TOVAR PUENTE

COMITÉ DE TESIS

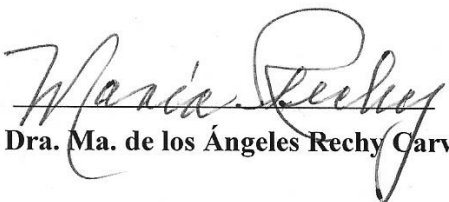

Dra. Marisela Pando Moreno
Directora de Tesis


Dr. Humberto González Rodríguez

Asesor


Dra. Laura Scott Morales

Asesor


Dra. Ma. de los Ángeles Rechy Carvajal

Asesor

Dr. Santiago de Jesús Méndez
Gallegos

Asesor Externo

Linares, N. L., México

Julio de 2008

RECONOCIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo y las facilidades prestadas para la obtención de Beca-crédito para realizar mis estudios Doctorales en esta Facultad.

Al Instituto Tecnológico de Linares, por otorgarme la oportunidad y las facilidades necesarias para realizar mis estudios de Postgrado.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L., por permitirme realizar bajo su tutela mis estudios Doctorales.

Agradezco muy especialmente a la Dra. Marisela Pando Moreno, Directora de tesis de esta investigación, primero por aceptar dirigir este humilde trabajo, por su amistad y paciencia en todos los altibajos que se presentaron durante el desarrollo de este estudio, además de sus inmejorables comentarios y revisiones como directora de tesis. Gracias a esto se llevó a buen término este trabajo de investigación. ¡Gracias por siempre Doctora!

Agradezco al Dr. Humberto González Rodríguez, la invaluable ayuda proporcionada en el desarrollo de prácticas de Laboratorio, del análisis estadístico de los datos recopilados en éste trabajo, además por su comprensión y amistad dentro y fuera de períodos de trabajo durante éste programa de Doctorado, esperando que esta amistad perdure siempre.

A la Dra. Laura Scott Morales, coasesora de tesis, por las facilidades prestadas, para realizar las observaciones requeridas en el microscopio a su cargo, las acertadas observaciones y sugerencias a esta investigación y además de la motivación otorgada en los momentos críticos de mis estudios Doctorales, ¡Gracias!

A la Dra. Ma. de los Ángeles Rechy Carvajal, coasesora de tesis, por sus comentarios a esta investigación y permitirme utilizar el equipo de laboratorio a su cargo, agradezco sus atinados comentarios y sugerencias así como su amena charla que mitigó en mucho las penurias sufridas en el transcurso de esta investigación.

Al Dr. Santiago de Jesús Méndez Gallegos, profesor investigador del CREZAS-CP, por acceder a fungir como examinador externo y todas las facilidades otorgadas para hacerme de bibliografía única sobre el tema, como experto que es en este tópico, además le agradezco esos grandes consejos para desarrollar este trabajo y principalmente por tener la deferencia de su amistad.

Un gran agradecimiento al Ing. Miguel Angel Macías Pérez, Director del Instituto Tecnológico de Linares en el período de mis estudios Doctorales, que me permitió sin traba alguna las facilidades necesarias para realizar estos estudios, además de esos grandes consejos y la gran deferencia de considerarme su amigo.

Al Ing. Joaquín Ortega al proporcionar la simiente o pie de cría para llevar a buen fin este trabajo.

Al Dr. Rigoberto Vázquez Alvarado de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., por proporcionarme el material vegetativo para poder abordar este estudio además de los atinados comentarios al mismo.

Así mismo agradezco al Dr. Clemente Gallegos Vázquez por la identificación de los cultivares utilizados, que desinteresadamente y con gran profesionalismo hizo el favor de identificar hasta género y especie.

A la Dra. Azucena Oranday Cárdenas del departamento de química de la Facultad de Ciencias Biológicas de la U.A.N.L., por su apoyo e invaluable asesoría para realizar las pruebas coloridas cualitativas para detectar algunos metabolitos secundarios en las muestras de nopal analizados para este trabajo.

Agradezco al Dr. Mario Alberto Madrigal Anzaldúa, compañero y amigo por sus valiosas observaciones y comentarios a este trabajo de investigación, su gran ayuda en todo momento del período que duraron mis estudios doctorales, sus valiosos comentarios en materia de estadística, pero principalmente por su amistad.

Agradezco al Ing. Manuel Soto Ramos la gran ayuda prestada al realizar los cortes histológicos de muestras de nopal para su posterior análisis al microscopio así como en la mayoría de los trabajos inherentes a ésta investigación.

Así mismo, agradezco al Tec. Leonel Reséndiz Dávila la ayuda prestada en la observación de muestras al microscopio así como el mostrarme la técnica de fotografía en el mismo.

A todos los profesores de esta Facultad que me impartieron alguna materia en el transcurso de estos estudios Doctorales, por todos los invaluable conocimientos que me brindaron para mi formación profesional, ¡gracias a todos!

Al personal administrativo y técnico de la Facultad por el apoyo brindado en el transcurso de este programa Doctoral.

A mis compañeros y amigos de postgrado con los que compartí alegrías, tristezas y grandes momentos de tensión desde el inicio del Doctorado, a todos gracias y mis mejores deseos para todos.

DEDICATORIA

A mis queridos padres (†) a quienes les debo todo lo que soy, que gracias a sus grandes consejos y enseñanzas he podido llegar hasta aquí, y espero seguir adelante siempre con ánimo y esperanza, recordándolos siempre.

A mi querida compañera, madre de mis hijos, que por ellos va mi vida.

A mis queridos hermanos y hermanas de quienes siempre he tenido el apoyo para seguir adelante a todo lo largo de mi vida, mi corazón con ustedes ¡¡gracias familia!!.

A todos mis grandes amigos, que en los altibajos de la vida siempre han estado conmigo, ¡¡ gracias por su invaluable amistad !!.

Este humilde trabajo lo dedico al sur del estado de Nuevo León, tierra de mis raíces, que en el transcurso de los años siempre ha padecido de grandes carencias para su desarrollo, espero me den la oportunidad de contribuir en algo para mitigar un poco las penurias de tantos años.

Manifiesto que la presente investigación es original y fue desarrollada para obtener el grado de Doctor en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Donde se utiliza información de otros autores, se otorgan los créditos correspondientes.

M. C. Aldo Tovar Puente.

Julio de 2008

ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMEN GENERAL.....	i
ABSTRACT.....	iii
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción general.....	1
1.1. Hipótesis.....	5
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Estructura de la tesis.....	5
1.4. Literatura citada.....	7
CAPÍTULO 2.....	10
2. Taxonomía y biología del insecto.....	10
2.1 Taxonomía.....	10
2.2 Biología de <i>Dactylopius coccus</i>	11
2.3 Descripción morfológica.....	14
2.4 Historia del aprovechamiento de la grana.....	17
2.5 Hospedante de la cochinilla.....	18
2.6 Morfología y anatomía del nopal.....	20
2.7 Literatura citada.....	22
CAPÍTULO 3.....	28
SUSCEPTIBILIDAD DE 15 CULTIVARES DE NOPAL DE LOS GÉNEROS <i>Opuntia</i> y <i>Nopalea</i> A LA INFESTACIÓN DE (<i>Dactylopius coccus</i> COSTA) (HOMOPTERA:DACTYLOPIIDAE)”.....	28
CAPÍTULO 4.....	39
CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DE QUINCE CULTIVARES DE NOPAL DE LOS GÉNEROS <i>Opuntia</i> y <i>Nopalea</i>	40

CAPÍTULO 5.....	56
DENSIDAD DE CRISTALES DE OXALATO DE CALCIO EN QUINCE CULTIVARES DE NOPAL DENSITY OF CALCIUM OXALATE CRYSTALS IN 15 CACTUS PEAR CULTIVATED SPECIES	57
6.0-CAPÍTULO 6.....	72
RELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN DE GRANA Y VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL HOSPEDANTE.....	73
6.1 Introducción.....	74
6.2 Metodología.....	76
6.3 Determinación de macro y micronutrientes.....	77
6.4 Caracterización anatómica de los cladodios.....	78
6.5 Análisis estadísticos.....	79
6.6 Resultados y discusión.....	80
6.7 Conclusiones.....	88
6.8 Literatura citada.....	89
CAPÍTULO 7.....	92
7.1.-Discusión y conclusiones generales.....	93
7.2.- Literatura citada.....	97
Anexo 1	99
Anexo 2.....	101
anexo 3.....	104

RESUMEN GENERAL

Como grana y cochinilla fina se le conoce a un insecto del orden homóptera (*Dactylopius coccus* Costa.) que se desarrolla en algunas especies y formas de nopal, cuya importancia radica en ser fuente de un colorante natural llamado ácido carmínico, el cual tiene actualmente una gran demanda en México y en el mundo por su inocuidad en salud pública, su alta estabilidad y poder colorante.

Diversos estudios han demostrado que la grana fina no se desarrolla por igual en todas las formas de nopal, ni aún en todos los cultivares de una misma especie; sin embargo, a la fecha, no existen estudios que determinen a qué responde esa asociación del insecto con tan sólo algunas cultivares de nopal. Esta investigación va dirigida a responder esa interrogante, analizando diversos aspectos sobre la relación huésped – hospedante de la grana y el nopal. Se evaluaron 15 cultivares de nopal, en dos ciclos de cultivo, resultando en ambos ciclos que los cultivares Liso Forrajero, Pabellón y Local presentaron nula infestación, mientras que el cultivar Villanueva presentó la mejor respuesta al establecimiento y/o producción de grana fina en base a los parámetros evaluados (número de insectos, peso fresco y peso seco de los mismos). Los valores obtenidos de los análisis físicos (número de estomas, grosor de cutícula, grosor de epidermis, número de cristales de oxalato de calcio (drusas), número de areolas, medición de largo y ancho de cladodios) y químicos (macronutrientes, micronutrientes y pruebas coloridas cualitativas) realizados a los 15 cultivares se analizó mediante el método de selección de variables "Stepwise" en el modelo de Regresión Lineal General. Posteriormente se realizó un análisis de componentes principales en donde los resultados de este análisis indican que los factores o variables determinantes en la producción de grana fina son: cristales de oxalato de calcio, calcio disuelto, largo del cladodio y

concentración de zinc. Las dos primeras afectando negativamente la infestación de la grana y las dos últimas mostrando una relación positiva con la producción de grana. La presencia de cumarinas, así como la concentración de nitrógeno y, zinc mostraron relación en menor grado.

ABSTRACT

Cochineal and grana are common names for a homopteran insect (*Dactylopius coccus* Costa) that lives in several species and forms of cactus pear (*Opuntia spp.* and *Nopalea spp.*). When this insect dies and dries, it becomes a source for a natural red colouring known as carmine acid. This natural pigment is currently highly demanded worldwide due to its high stability, colouring power and because it is harmless to humans.

Several studies have demonstrated that cochineal does not infest all forms or species of cactus pear, not even all the varieties within a single species. However, there is a lack of studies aimed at determining the causes for the association of this insect to specific cactus pear varieties. This research work focuses on answering that question. Here, the relationship between production of grana and several physical and chemical characteristics of cactus pear varieties as hosts of grana insects was analyzed. Fifteen cactus pear varieties were evaluated for two growing cycles. In both cases, Liso Forrajero, Pabellón and Local varieties showed null infestation; in the other hand, Villanueva variety showed the best response according to the established evaluation parameters (number of insects, fresh weight and dry weight of insects). Data obtained from the physical and chemical analyses performed to the cladodes of the 15 cactus pear varieties were analyzed by the Stepwise selection variables option of the General Regression Model. Then, a Principal Components Analysis was run to determine the variables of the cladodes that better explain changes in grana production. Results showed calcium oxalates crystals, dissolved calcium, large of the cladode, and concentration of potassium as the most related variables to grana production. The first two, related to absence of infestation while the last two were related to the cladodes with

the highest production of grana. Presence of coumarins, and concentration of nitrogen and zinc were related to a lesser degree.

CAPÍTULO 1

1.- INTRODUCCIÓN GENERAL

Como grana y cochinilla fina se le conoce a un insecto del orden Homóptera (*Dactylopius coccus* Costa.) que se desarrolla en algunas especies y formas de nopal y cuya importancia radica en ser fuente de ácido carmínico, uno de los colorantes naturales aprobados por la legislación de la Unión Europea y de Estados Unidos para su uso en alimentos (Méndez *et al.*, 2004).

Desde tiempos prehispánicos, la grana se ha cultivado para la obtención de tintes, pinturas y barnices utilizados en la industria textil, alimentaria y farmacéutica, entre otras. A pesar de los múltiples usos que tradicionalmente ha tenido la grana fina, y su actual valor en el mercado, los estudios específicos sobre la relación entre las características morfológicas, histológicas, fisiológicas y químicas del nopal, y su susceptibilidad a la infestación por el insecto son bastante. Por tal motivo se requiere en este campo un fuerte impulso a la investigación para fundamentar muchas de nuestras apreciaciones sobre la influencia de dichos factores en el crecimiento, desarrollo y comportamiento de la grana *Dactylopius coccus*.

Mientras que para ciertos cultivares de *Opuntia ficus-indica*; se reportan producciones de grana fina de 10.3 g (Aldama-Aguilera *et al.*, 2005) y hasta 12.27 g en peso fresco (Aldama-Aguilera y Llanderal-Cázares, 2003) otros cultivares de la misma especie, como es el caso del cultivar Jalpa, presentan una producción considerada como baja 0.6 g en peso fresco del insecto (Tovar *et al.*, 2005) y, en otros casos, se reporta una nula producción. Sin embargo, estos valores de producción han sido obtenidos en sitios bajo diferentes condiciones climatológicas y edáficas así como en plantas de edades no

homogéneas y con cimientes de diferente procedencia lo que hace difícil una comparación justa entre ellas. De ahí que, en la presente investigación se propuso, como primer objetivo, analizar diferentes cultivares de nopal, bajo condiciones homogéneas de clima, origen de la grana utilizada como simiente y calidad uniforme del nopal hospedante, para comparar su susceptibilidad a la infestación.

Las diferencias en el grado de infestación entre los diferentes cultivares utilizados, llevaron a la interrogante del por qué la preferencia del insecto por uno u otro cultivar, o cuáles son las características físicas o químicas de estos cultivares que les confieren resistencia al establecimiento y posterior desarrollo del insecto. Considerando lo anterior se decidió analizar dos posible vías:

- 1) Que la composición química sea significativamente diferente entre los cultivares utilizados como hospedantes y que esta condición resulte atractiva o repelente para el insecto.
- 2) Que el grosor de la cutícula sea diferente entre los cultivares y, en aquellas con cutícula más gruesa, se dificulte la inserción del aparato bucal del insecto y, por lo tanto, se vea reducida infestación y la producción.

Aún cuando Flores *et al.* (1995) encontraron, al realizar una evaluación química de veinte cultivares de nopal agrupados en cuatro especies, que los resultados del análisis bromatológico con base en peso seco, indican alta variación en la composición química de los estratos (raíz, cladodio y brote), mínima variación a nivel de especie y nula variación en variedades. A su vez, Flores (2002) encontró que el contenido de calcio es de alto a muy alto tanto en suelo como en cladodios. Por su parte, Méndez y Gallegos

(2001) mencionan que en suelos con bajo contenido de calcio es necesario su aplicación, ya sea como yeso o cal apagada, ya que el calcio es altamente absorbido por el nopal.

La edad del cladodio es un factor importante por los valores nutricionales que pueden aportar. Los cladodios de dos años presentan más altos contenidos de N, K y Mn, pero más bajos de Na, Ca y Fe. Esto es atribuido a la edad y la mayor actividad metabólica de los cladodios jóvenes (Nobel, 1983).

Tegegne (2003), menciona que *O. ficus-indica* presenta un contenido moderado de proteína cruda, altos valores de Ca, normales de Mg, y bajos de Na, K y P con relación a los requerimientos de la dieta para rumiantes, de manera similar a los pastos y leguminosas forrajeras tropicales.

El grosor de cutícula puede influir en el establecimiento de la grana fina, ya sea por su grosor o bien por su composición química. Conde (1975), menciona que la principal función de la cutícula puede ser la de prevenir la pérdida de agua y protección a factores adversos. Silva *et al.* (2001), analizando 10 taxa de *Opuntia* encontraron que el grosor de cutícula para cladodios con exposición solar norte mostró un mayor grosor, alrededor de un 12 % más alto, con respecto a la exposición sur $209.5 \pm 0.7 \mu\text{m}$ y $142.7 \pm 1.1 \mu\text{m}$ respectivamente, siendo *O. pumila* y *O. cochenillifera* las que presentaron mayor y menor grosor de cutícula, respectivamente. Por otra parte, Gibson y Nobel (1986) mencionan que la cutícula blanca refleja gran parte de la radiación directa del sol y le permite mantener una temperatura más baja con respecto a su medio. Además, de que la composición química y la estructura de la cutícula no puede ser digerida por microorganismos, impidiendo su entrada al cladodio.

La relación hospedante-insecto entre algunas especies de *Dactylopius* y de *Opuntia* ha sido estudiada y reportada como una relación evolutiva prolongada (Moran y Zimmermann, 1984 y 1991) y se han determinado relaciones inter-específicas a nivel de “biotipos” para *Dactylopius opuntiae* con determinadas especies de *Opuntia* (Volchansky *et al.*, 1999). Si bien dichos estudios han estado enfocados hacia la utilización del insecto como control biológico de especies de nopal invasoras en Australia y Sud África y no hacia la producción del insecto, estos resultados dan ya una indicación de lo específica que puede ser la relación entre estos dos organismos y la importancia de su estudio.

Los metabolitos secundarios producidos por las plantas están directamente relacionados con la alimentación de los insectos; además, los factores probables que controlan la coevolución de algunos insectos y plantas son sustancias secundarias y esto conlleva a la teoría de “coevolución bioquímica entre animales y plantas” que es válida para todos los grupos fitófagos (Harborne, 1988).

Dos términos son ampliamente usados para referirse a las preferencias químicas de alimentación por los insectos; 1) sustancias químicas estimulantes para alimentación y 2) sustancias químicas repelentes (Harborne, 1988).

Por lo anterior, esta investigación tiene como objetivo aportar elementos que contribuyan a la comprensión de la asociación huésped - nopal – insecto, conocimiento que, a su vez, será de utilidad en la definición de las prácticas de producción comercial de la grana fina. Para tratar de esclarecer lo anterior se plantearon las siguientes hipótesis de trabajo.

1.1. Hipótesis.

- 1) La susceptibilidad a la infestación de la grana fina, reflejada en la producción de la misma, difiere entre los cultivares de nopal utilizados como hospedantes.
- 2) Entre las características físicas y químicas que confieren resistencia a la infestación a algunas especies o cultivares de nopal están el grosor de la cutícula y la presencia de determinados metabolitos secundarios o algunos macro o micro nutrientes.

Con el fin de probar estas hipótesis, se establecieron los siguientes objetivos.

1.2. Objetivos

- 1.- Comparar la producción de grana fina (*Dactylopius coccus* Costa), en dos ciclos, entre quince especies y cultivares de nopal de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*.
- 2.- Comparar el grosor de cutícula de los quince cultivares de nopal seleccionados y analizar si los valores encontrados pudieran impedir la infestación por el insecto.
- 3.- Analizar si la presencia de ciertos metabolitos secundarios, o de determinados macro o micro nutrientes, les confieren a las plantas de *Opuntia* y *Nopalea*, resistencia a la infestación por *Dactylopius coccus*.

1.3 Estructura de la tesis

En el **primer capítulo** se expone una introducción general al tema de esta investigación, la justificación y relevancia del mismo, el planteamiento del problema, la hipótesis y objetivos de esta investigación.

El **segundo capítulo**, presenta una revisión de literatura sobre taxonomía y biología del insecto (*Dactylopius coccus*, Costa) así como de su hospedante, el nopal.

Como **tercer capítulo**, se anexa el artículo publicado en las **Memorias del III Congreso Internacional de Grana Cochinilla y Colorantes Naturales** donde se analiza y compara la producción de grana fina utilizando como hospedantes 15 cultivares de nopal de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*.

El **capítulo cuarto**, corresponde a la caracterización química y física de los cultivares de nopal, **artículo que fue publicado en la Revista Nakari, en 2006**. En él se evalúan características morfológicas como largo y ancho de los cladodios, número de areolas dm^2 , grosor de cutícula (μm) y grosor de epidermis (μm); además, de cuantificar la concentración de diez macro (Ca, Na, Mg, K, P y N) y micronutrientes (Cu, Mn, Fe y Zn).

En el **capítulo cinco** se presenta un protocolo producto de esta investigación, para la identificación de drusas y otras estructuras de los tejidos de cactáceas y se analizan las diferencias en la cantidad de cristales de oxalato de calcio, por unidad de área, entre los quince cultivares de nopal que se han venido estudiando como posibles hospedantes de la grana fina. Este capítulo se presenta bajo el título **Densidad de cristales de oxalato de calcio en quince cultivares de nopal**, tal y como fue publicado en el **Journal of the Professional Association for Cactus Development 2007**.

El **capítulo seis** presenta una síntesis de los capítulos anteriores para explorar las posibles correlaciones entre producción de grana y las variables físicas y químicas que pudieran explicar las diferencias en el grado de infestación o susceptibilidad del cultivar

de nopal utilizado como hospedante. Se analiza si la presencia de cristales de oxalato de calcio o ciertos metabolitos secundarios, o de determinados macro o micro nutrientes, les confieren a las plantas de *Opuntia* y *Nopalea*, resistencia a la infestación por *Dactylopius coccus*.

En el **séptimo capítulo** se plantea la discusión general de la tesis y se establecen algunas recomendaciones para el manejo y/o producción de la grana fina.

1.4.- Literatura citada.

Aldama-Aguilera, C. y C. Llanderal-Cázares. 2003. Grana cochinilla: comparación de métodos de producción en penca cortada. *Agrociencia* 37: 11-19.

Aldama-Aguilera C., C. Llanderal-Cázares, M. Soto-Hernández y L. Castillo-Márquez. 2005. Cochineal (*Dactylopius coccus* Costa) Production in Cactus Pear plants in the Open and in Microtunnel Greenhouses. *Agrociencia* 39: 161-171.

Conde, L.F. 1975. Anatomical comparisons of five species of *Opuntia* (Cactaceae). *Annals of Missouri Botanical Garden* 62: 424-473.

Flores, H. A., M. Murillo S., F. Borrego E. y J. L. Rodríguez O. 1995. Variación de la composición química en estratos de la planta de 20 variedades de nopal. *In: Memorias del VI Congreso Nacional y IV Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal del 6-10 de noviembre de 1995.* Univ. De Guadalajara. Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México. pp. 110-115.

Flores, F. V. I. 2002. Caracterización Físicoquímica de Zonas Productoras de Cochinilla *Dactylopius coccus* Costa en Departamentos del Trapecio Andino

- Huancavelica, Ayacucho y Apurimac, Perú. En: Portillo, L. y A. L. Viguera (editores), Memoria del II Congreso Internacional de Grana Cochinilla y Colorantes Naturales y II Reunión Internacional del Grupo de Trabajo en Cochinilla, Cactusnet – FAO. Universidad de Guadalajara, México. p 37 – 45.
- Gibson, A. C. y P. S. Nobel. 1986. The cactus primer. Harvard University Press. Cambridge, Mass. 286 pp.
- Harborne, J. B. 1988. Introduction to Ecological Biochemistry. Third Edition. Academic Press. England. 359 pp.
- Méndez, G. S. y Gallegos, V. C. 2001. Establecimiento y manejo de huertos de nopal para la cría de la grana cochinilla *Dactylopius coccus*. In. Producción de grana cochinilla. 31 – 59. Colegio de Postgraduados. Instituto de Sanidad. México. 629 pp.
- Méndez, S. J, M. González, M. Gloria Lobo y Aurelio Carnero. 2004. Color Quality of Pigments in Cochineals (*Dactylopius coccus* Costa). Geographical Origin Characterization Using Multivariate Statistical Analysis. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52: 1331-1337.
- Moran, V.C. y H.G. Zimmermann. 1984. The biological control of cactus weeds: achievements and prospects. Biocontrol News and Information 5: 297-320.
- Moran, V.C. y H.G. Zimmermann. 1991. Biological control of cactus weeds of minor importance in South Africa. Agricultura, Ecosystems and Environment 37: 37-55.
- Nobel, P.S. 1983. Nutrient levels in cacti-relation to nocturnal acid accumulation and growth. American. Journal of Botany 70: 1244–1253.

- Silva, H., E. Acevedo y P. Silva. 2001. Anatomía del tejido fotosintético de diez taxa de *Opuntia* establecidos en el secano árido mediterráneo de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. Vol.74: 341-351.
- Tegegne, F. 2003. Valor nutricional de *Opuntia ficus – indica* como forraje de rumiantes en Etiopía. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. El Nopal (*Opuntia* spp.) como Forraje.
<http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s0d.htm#fn10>
- Tovar, A., M. Pando-Moreno y C. Garza. 2005. Evaluation of Three Varieties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as Hosts of the Cochineal Insect *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) in a Semiarid Area of Northeastern Mexico. Economic Botany 59: 3–7.
- Volchansky, C.R., J.H. Hoffmann y H.G. Zimmermann. 1999. Host-plant affinities of two biotypes of *Dactylopius opuntiae* (Homoptera: Dactylopiidae): enhanced prospects for biological control of *Opuntia stricta* (Cactaceae) in South Africa. Journal of Applied Ecology 36: 85-91.

CAPÍTULO 2

2. TAXONOMÍA Y BIOLOGÍA DEL INSECTO

2.1. Taxonomía.

La primera descripción de la grana fue realizada por Linneo en 1758, denominada *Coccus cacti*. En 1835, Costa la reclasificó como *Dactylopius coccus*, nombre técnico que prevalece hasta la actualidad. Ferris (1955), señala que en México se encuentran cuatro especies del género *Dactylopius*, dato que coincide con MacGregor (1976), quien señala que además de la grana fina o cultivada existen cuatro especies que agrupan a las cochinillas silvestres.

La mayoría de los investigadores, coinciden en la existencia de dos tipos de grana-cochinilla; la fina o cultivada y la silvestre o corriente (Méndez, 1992). *Dactylopius* es el único género de la familia Dactylopiidae con aproximadamente nueve especies reportadas (De Lotto, 1974), cinco de las cuales se encuentran en los Estados Unidos (Howell y Williams, 1976). Ferris (1955), señaló sólo cuatro especies para México, mientras que MacGregor y Sampedro (1983) detectaron cinco especies silvestres distribuidas desde el sureste hasta el norte del país.

De esta manera, la clasificación de la cochinilla fina es la siguiente:

Clase: Insecta

Orden: Homoptera

Suborden: Sternorrhyncha

Superfamilia: Coccoidea

Familia: Dactylopiidae

Género: *Dactylopius*

Especie: *coccus*

Las otras especies integradas en el género *Dactylopius* son conocidas comúnmente como cochinillas silvestres o corrientes. Estas especies también producen el colorante rojo, pero su baja concentración y calidad del colorante obtenido ha hecho que sea utilizada sólo ocasionalmente (Romero-López *et al.*, 2006). Sin embargo, la cochinilla silvestre ha sido de gran importancia en algunos países sudafricanos para el biocontrol de poblaciones de *Opuntia* (Morán y Zimmerman, 1991) y además ofrece buenas perspectivas para el mejoramiento genético de la grana fina.

2.2. Biología de *Dactylopius coccus*

Los homópteros forman un grupo bastante numeroso, pues se conocen aproximadamente 32,000 especies en todo el mundo. Son insectos que pueden adoptar formas altamente especializadas, por lo cual es difícil caracterizarlos en conjunto. En general los homópteros son insectos de metamorfosis incompleta, pero los machos de los cóccidos son una excepción variando en su metamorfosis (Coronado y Márquez, 1994). En el caso particular *Dactylopius coccus* la hembra presenta los siguientes estados de desarrollo: huevo, ninfa I, ninfa II y hembra adulta mientras que el macho tiene una metamorfosis completa: huevo, ninfa I, ninfa II, prepupa, pupa y adulto (Marín y Cisneros, 1977; Piña, 1977).

La grana es ovípara, aunque con muy pocas excepciones es aparentemente ovovivípara ya que expelle crías vivas de la vulva (Marín y Cisneros, 1977). Durante la oviposición la hembra deposita los huevos individualmente, con intervalos de 6 a 20 minutos entre uno y otro (Vargas, 1988) y conforme avanza el proceso, se van adhiriendo entre ellos para formar una cadena (Marín y Cisneros, 1977). En ocasiones los huevos quedan por

abajo del cuerpo de la hembra y eclosionan en un período que varía de diez minutos hasta seis horas (Piña, 1977).

Al insecto recién eclosionado se le llama ninfa I, en la que se diferencian las antenas y las patas unidas a la parte ventral del cuerpo (Vargas, 1988). La ninfa se mueve para localizar el sitio definitivo de alimentación; los lugares que las ninfas eligen son: cercanos a la madre, en depresiones del cladodio y en lugares no expuestos a la insolación directa ni al viento (Marín y Cisneros, 1977). La ninfa I presenta una fase de migrante y una de fijamiento a la penca del nopal. A los pocos minutos de la eclosión, se recubre de una cera blanca pulverulenta (Piña, 1977).

Una vez que se fijan estas ninfas, aumentan de tamaño y las secreciones filamentosas cerosas se hacen más visibles; la duración de este instar es de 21 a 25 días según Marín y Cisneros (1977), o de 23 a 31 días según Vargas (1988). Con frecuencia se observan de tres a cuatro insectos establecidos en grupo en un mismo lugar (Marín y Cisneros, 1977).

La ninfa I da origen a la ninfa II, que al poco tiempo también se cubre de cera pulverulenta, lo que facilita ver la segmentación del cuerpo. La mayoría de las ninfas permanecen adheridas, pero algunas se desplazan en busca de otro lugar para fijarse, aunque generalmente no logran introducir nuevamente los estiletes, pues los factores ambientales (viento, precipitación) las pueden desprender del cladodio (Marín y Cisneros, 1977; Vargas, 1988). La duración de este instar es de 13 a 18 días (Marín y Cisneros, 1977) o de 14 a 24 días (Vargas, 1988).

En el caso de las hembras, la ninfa II muda para dar origen a la hembra adulta, cuyo período de preoviposición es de 30 a 68 días; la duración del período de oviposición es

de 10 a 20 días. Las hembras depositan en promedio 419 huevecillos, con un mínimo de 293 y un máximo de 586 (Gilreath y Smith, 1987).

Respecto al macho la ninfa II hila un capullo blanco, ovoide, alargado, de 2.5 mm de longitud y 1.2 mm de anchura, con una abertura en el extremo posterior; en el interior del cocón se forman la prepupa, la pupa y el adulto alado. La duración de estos 3 estadios es de 18 a 22 días (Marín y Cisneros, 1977), o de 20 a 22 días (Vargas, 1988).

En el estado adulto, el macho es de vida efímera y sólo vive de tres a cuatro días, tiempo que aprovecha para aparearse y fecundar a varias hembras antes de morir (Marín y Cisneros, 1977). Estos datos contradicen lo señalado por Bustamante (1985) que menciona que la grana presenta una reproducción partenogenética, sin participación del macho. Miller (1976), señala que dentro de la superfamilia cocoidea es donde se ha detectado la mayor variedad de tipos partenogenéticos encontrándose siete tipos de partenogénesis dentro de este grupo, fenómeno que puede presentarse dentro de la familia Dactylopidae. Sin embargo, Cruz (1990) concluye que la grana o cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa presentó reproducción sexual y en ninguna época del año se presentó el fenómeno de la partenogénesis.

En total, el ciclo biológico del macho puede variar entre 51 y 63 días y el de la hembra entre 64 y 111 días (Gilreath y Smith, 1987). Quispe (1983) citado por Méndez (1992) obtuvo ciclos biológicos de la hembra desde 130 a 177 días en diferentes hábitats. Respecto al macho, se presentaron ciclos que oscilaron desde los 83 a los 117 días.

Al emerger el macho, se dirige hacia las hembras para copular. El número de hembras con las que puede aparearse es variable; el macho sólo es activo durante 2 días (Vargas,

1988), o de 2 a 4 días como lo mencionan Marín y Cisneros (1977). Posteriormente, se vuelve lento, ya no puede copular y muere al tercer día (Vargas, 1988).

2.3. Descripción morfológica.

La descripción morfológica de la grana fina , obtenida en diversas investigaciones se puede resumir de la siguiente manera: la hembra adulta es de cuerpo oval de aproximadamente 6.0 por 4.7 mm; antena de seis a siete segmentos, el cuerpo, tanto en el dorso como en el abdomen, presenta numerosos grupos de poros quinqueloculares. Además, se presentan pocas setas modificadas de tipo cilíndrico sobre todo en la parte posterior, las setas normales más pequeñas están distribuidas en todo el cuerpo y más en la región dorsal y la parte posterior de la región ventral, los espiráculos son bastante esclerotizados y grandes con el opérculo bien desarrollado; la abertura anal presenta esclerotización semilunar y las patas se atrofian y no se observan dorsalmente (Marín y Cisneros, 1977; Piña, 1977; Gallegos, 1985). Los huevecillos son de forma ovalada de 0.22 x 0.33 mm en promedio y de color rojo claro, con la superficie lisa y lustrosa, ovipositados individualmente; al eclosionar nace la ninfa de primer instar (Marín y Cisneros, 1977; Bustamante, 1985) de 1.06 por 0.52 mm, antenas claras; patas bien desarrolladas; el cuerpo presenta 6 segmentos, con los ojos ubicados cerca de la base de las antenas.

El cuerpo en la parte dorsal presenta setas modificadas cilíndricas y algo tronco-cónicas, así como algunas setas normales. Las setas cilíndricas grandes están dispuestas en pares formando dos hileras longitudinales en la región media del cuerpo. Las setas tronco-cónicas están dispuestas submarginalmente en el cuerpo (Marín y Cisneros, 1977; Gallegos, 1985).

La ninfa de segundo instar recién emergida es de color rojo claro y posteriormente se colorea de un rojo oscuro; el cuerpo de forma oval de 2.67 x 2.0 mm, se cubre de una cera fina blanca y pulverulenta; a diferencia del primer instar, las patas no se proyectan mas allá del cuerpo. Las antenas escasamente llegan al borde anterior del cuerpo; las setas cilíndricas desaparecen. Se incrementa el número de grupos de poros, así como el número de poros cerígenos por cada grupo; las paredes de los poros son gruesas y se presentan un tanto separadas entre ellas. No se distinguen setas modificadas salvo unas pequeñas de preferencia en la región dorsal. Al finalizar el segundo estadio, existe una segunda muda para dar origen a la hembra de tercer instar que alcanza su madurez sexual a los pocos días (Marín y Cisneros, 1977).

En los estados de huevo y ninfa de primer instar, no se encuentran caracteres morfológicos diferenciables entre machos y hembras. Los cambios se evidencian durante la ninfa de segundo instar, cuando los machos comienzan a producir cera filamentosa y con ella forman un cocón blanco ovoide alargado de 2.5 x 1.2 mm, con una abertura en el extremo posterior y dentro de él se llevan a cabo dos mudas antes de llegar al estado adulto que son la “prepupa” y la “pupa”. La primera se caracteriza por el cuerpo de color rojizo de 1.3 x 0.75 mm, las secciones correspondientes a cabeza tórax y abdomen se encuentran visibles; a nivel del mesotrón se forman las proyecciones laterales que darán origen a las alas, las antenas y las patas son poco distinguibles.

La “pupa” se forma después de mudar la “prepupa”, se caracteriza porque las regiones del cuerpo y apéndices se hacen distinguibles, mide de 1.65 de largo por 0.25 mm de ancho. El primer par de patas está dirigido hacia delante entre las antenas; los otros dos pares están proyectados hacia atrás (Marín y Cisneros, 1977).

Al emerger el macho adulto es de apariencia frágil, de color rojo claro que se torna a un color rojo oscuro cubierto de una secreción cerosa; a medida que transcurre el tiempo se presentan las regiones del cuerpo bien diferenciadas; en la cabeza un par de antenas de tipo moniliforme de 10 segmentos y en el extremo del abdomen comúnmente tienen filamentos o apéndices caudales (Marín y Cisneros, 1977; Piña, 1977; Gilreath y Smith, 1987). Los machos adultos no tienen la capacidad de alimentarse y presentan metamorfosis completa (holometábola), no así las hembras (Sullivan, 1990), por lo que la familia es un caso muy particular dentro de la clase insecta.

El tórax es esclerotizado, con un par de alas de venación simple insertadas en el mesotórax; las patas son delgadas y bien desarrolladas con una uña larga en su extremo posterior. El abdomen es oval, con los segmentos visibles acompañados con algunas setas, sobre todo en la pared ventral; en el extremo posterior se proyecta la genitalia esclerotizada de forma cónica (Marín y Cisneros, 1977). Es en la etapa de ninfa recién emergida del huevo cuando la hembra busca insertar el aparato bucal en los cladodios del nopal para alimentarse, ya que los machos carecen de aparato bucal. A pesar de la importancia que reviste conocer a detalle el aparato bucal del insecto en sus primeros estadios de vida ya que de éste depende su alimentación y sobrevivencia, no se han encontrado descripciones detalladas, ni fotografías del mismo. Por lo anterior, uno de los objetivos particulares en el presente trabajo fue de observar, caracterizar y fotografiar al insecto en esta fase de su vida, tan primordial para su desarrollo. Presentamos el resultado de estas observaciones con una fotografía del insecto recién emergido del huevo, donde se aprecia perfectamente el tamaño de su aparato bucal (foto 1).



Foto 1.- Ninfa recién emergida del huevo. Longitud promedio del insecto: 3.7 μm
Longitud promedio del aparato bucal: 15 μm
Aumento 40 X

2.4. Historia del aprovechamiento de la grana

Este tema, por no ser parte de los objetivos planteados en esta investigación no se toca ampliamente, pero la historia de la grana y su aprovechamiento, se puede consultar en Tovar (2000) en la cual el tema es discutido ampliamente.

Históricamente, la grana ha utilizado como hospedantes plantas de nopale de los géneros *Opuntia* y *Nopalea* y no prospera en otras plantas (Alzate, 1831).

Según las investigaciones de los últimos años, la grana presenta mayor preferencia por el nopal San Gabriel, *Opuntia tomentosa*, pero el productor prefiere utilizar el nopal de castilla *Opuntia ficus-indica* Miller, por no tener espinas lo que facilita la cosecha de la grana (Lazos y Cruz, 1987; Santibáñez, 1988).

Debido a esto, algunos investigadores han venido trabajando con cultivares de nopal *Opuntia ficus-indica* Miller, ya que han observado que la grana tiene un desarrollo excelente en algunas de los cultivares de esta especie, obteniendo resultados promisorios (Tovar y Pando, 1999).

2.5. Hospedante de la cochinilla

El grupo de plantas conocidas como nopal, comprende a plantas de diversas especies de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, ambos de la familia *Cactaceae*, la cual es originaria de América, en donde se encuentra distribuida desde Peace River, en el norte de Canadá, a 59° de latitud norte, hasta la Patagonia en Argentina, a 52° de latitud sur y desde el nivel del mar, en las dunas costeras, hasta los 5,100 m de altitud en el Perú (Bravo y Sheinvar, 1995).

La especie de nopal con mayor grado de domesticación es *Opuntia ficus-indica* (Bravo-Hollis, 1978). De esta especie existen numerosos cultivares con una gran variedad de aprovechamientos, ya sea por sus frutos (tunas) y cladodios tiernos (nopalitos) para consumo humano, o por sus cladodios desarrollados (pencas) como hospedante de la grana (*Dactylopius coccus*) o como forraje de herbívoros domesticados (Barbera *et al.* 1992).

Gutiérrez (1972) y Piña (1979) mencionaron que las especies más sobresalientes para el cultivo de grana-cochinilla fina en Oaxaca son el nopal San Gabriel (*Opuntia tomentosa*), el nopal de castilla (*O. ficus-indica*) y el nopal crinado (*O. filifera*). La grana fina (*Dactylopius coccus*), al igual que las otras ocho especies del género, se han encontrado asociadas a diversas especies de *Opuntia* y *Nopalea* (MacGregor, 1976). Pero también se ha observado que presentan un buen desarrollo en diferentes especies de nopal para fruta, como las formas “Fafayuco” y ”Amarillo” del Altiplano Potosino-Zacatecano.

La edad del cladodio puede influir en el desarrollo y rendimiento de la grana. Aunque se han obtenido buenos resultados al utilizar cladodios de entre 6 y 12 meses de edad

(Méndez *et al.*, 1990), Montiel (1992) afirma que la edad óptima del cladodio para el cultivo de la grana cochinilla es de 2.5 años.

El estado nutricional de la planta también influye en el rendimiento de grana. Según Mann (1969) la grana prefiere cladodios jóvenes y en crecimiento, así como frutos en desarrollo. Palomino y Navarro (1988) determinaron que las infestaciones son mayores en aquellas plantas que están abonadas, encontrando una correlación positiva entre la fertilidad del suelo y la producción de cochinilla. Zamora (1992) determinó que la utilización de abonos orgánicos es eficiente para incrementar la producción de grana en cuanto a peso, sin modificar el número de hembras. Los abonos que él considera que podrían mejorar la producción son los de origen de ave y de cerdo. En nopales abonados, el citado autor obtuvo 185 y 190 hembras por nopal, con un peso promedio por planta (raqueta) de 2.0872 y 2.0102 g de grana fresca en gallinaza y cerdaza, respectivamente. Como resultado de la descomposición lenta y prolongada del estiércol, los nopales satisfacen continuamente sus necesidades fisiológicas. Valdez-Cepeda *et al.* (2004) mencionan que el rendimiento de biomasa de nopal tiene una correlación positiva significativa con Mg, Ca y K. Por otra parte, se evidencian sinergismos o interacciones positivas entre N y P, N y K, P y Ca, K y Mg, y Ca y Mg.

Las correlaciones positivas significativas entre rendimiento y cada uno de los nutrientes K, Ca y Mg, implican que a medida que aumenta la concentración de nutrientes, se incrementa la producción en cladodios de un año de edad.

2.6. Morfología y anatomía del nopal.

Las cactáceas poseen características anatómicas muy particulares que las distinguen de los otros grupos de plantas, como la epidermis, el clorénquima y el parénquima (Castillo, 1993). A pesar de que muchas especies de nopal son eventualmente colonizadas por la grana fina, se desconocen las características anatómicas y químicas que hacen de una especie un buen o mal hospedero de la grana.

Epidermis:

Con este término se designa a la capa de células más externa del cuerpo primario de la planta (Esau, 1976). Según Mauseth (1984) tiene tres funciones principales, 1) retención de agua dentro del tejido, 2) protección contra plagas, enfermedades e intensidad luminosa y 3) controlar el intercambio gaseoso.

La epidermis controla la pérdida de agua del tallo y puede diferir en agaves y cactus en comparación con otras especies; está cubierta por una cutícula relativamente impermeable al agua y está interrumpida por los poros estomatales, a través de los cuales el vapor de agua y el bióxido de carbono se pueden difundir con facilidad. Las cutículas gruesas con pocos estomas por unidad de superficie dificultan el movimiento de gases a través de la epidermis, lo cual es un aspecto importante en las relaciones hídricas de los agaves y los cactus (Nobel, 1998).

En la mayoría de las cactáceas, la epidermis (originada de la túnica) está formada por una capa de células unicelulares (Mauseth, 1984; Gibson y Nobel, 1986), cuyas paredes celulares son generalmente planas o convexas. La pared celular más externa de la epidermis está impregnada y cubierta por cutina (Gibson y Nobel, 1986).

Clorénquima:

Debajo de la epidermis de cladodios se puede distinguir una capa de células de un color verde intenso formando el clorénquima en el cual abundan células con cloroplastos, por tanto, es aquí donde se realiza la fotosíntesis (Pimienta, 1990).

Otra de las características distintivas del clorénquima es la presencia de agregados de cristales de oxalato de calcio en forma de drusas (Nobel, 1988).

Parénquima:

La cubierta del tallo consiste de la epidermis que a su vez esta cubierta de la cutícula y la hipodermis, enseguida está el cortex, compuesto por el parénquima que tiene células que almacenan grandes cantidades de agua.

Los 2 o 3 primeros mm del cortex están constituidos por un tipo de parénquima verde oscuro conteniendo los cloroplastos y por tanto tiene capacidad fotosintética; la capa mas interna del cortex que presenta una coloración blanca, amarilla o rosa, carece de cloroplastos.

A través del parénquima se encuentra el sistema vascular que aporta a la planta agua y minerales que son tomados del suelo por las raíces y transporta los fotoasimilados sintetizados en el clorénquima al resto de la planta (Gibson y Nobel, 1986; Arreola, 1997)

2.7. Literatura citada

- Alzate, J.A. 1831. Memoria en que se trata del insecto grana o cochinilla (1777-1794) Gaceta de Literatura de México (Puebla) Vol. 3, p. 243-318.
- Arreola, N. H.J. 1997. Formas de vida y características morfológicas. En: Suculentas Mexicanas. Cactáceas. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. pp. 27-35.
- Barbera, G., Carimi y P. Inglese. 1992. Past and present role of cactus pear (*Opuntia ficus – indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of sicily. Economic Botany 46: 10-22.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Volumen 1. 2a Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 743 p.
- Bravo-Hollis, H. y L. Sheinvar. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. CONACYT-Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 223 p.
- Bustamante, M.O. 1985. Estudio del ciclo biológico de la cochinilla *Dactylopius coccus* en su ambiente natural. *In*: Resúmenes del primer congreso Nacional de la tuna y la cochinilla. Ayacucho, Perú. p. 44-45.
- Castillo, V.J.J. 1993. Relación entre algunas características anatómicas del nopal (*Opuntia spp.*) y el establecimiento de la cochinilla (*Dactylopius coccus* C.). Tesis profesional. Chapingo, Mex. 90 p.
- Coronado, P.R. y A. Márquez Delgado. 1994. Introducción a la Entomología Morfología y Taxonomía de los Insectos. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Decimotercera reimpression. México, D.F. pp. 145, 152.

- Cruz, D.M. 1990. Determinación de algunos aspectos biológicos de la grana o cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa (Coccoidea: Dactylopidae) en Chapingo, México. Tesis profesional. Chapingo, México. 71 pp.
- De Lotto, G. 1974. On the status and identity of the cochineal insects (Homoptera: Coccoidea: Dactylopiidae). Journal of the Entomological Society of South Africa 37: 167-193.
- Esau, K. 1976. Anatomía Vegetal. 1a edición. Ediciones Omega, S. A. Casanova. Barcelona.
- Ferris, G.F. 1955. Atlas of the Scale Insects of North America. Vol. VII. The Famistan for University Press Calif. USA. pp. 64-93.
- Gallegos, G.J. 1985. Reconocimiento Morfológico de la cochinilla del carmín. Resúmenes primer Congreso Nacional de Tuna y Cochinilla. Ayacucho, Perú.
- Gutiérrez, C. A. 1972. Nopalnochestli. Cactus y Suculentas de México. 17: 51-54.
- Gibson, A.C. y P.S. Nobel. 1986. The cactus primer. Harvard University Press. London, England., 286 p.
- Gilreath, E.M. y J.W. Smith. 1987. Enemies of *Dactylopius confusus* (Homoptera: Dactylopidae). Annals of the Entomological Society of America 80: 768-774.
- Howell, J.O. y M.L. Williams. 1976. An annotated key to the families of the scale insects (Homoptera: Coccoidea) of America, female. Annals of the Entomological Society of America 62: 1981-1989.
- Lazos, V. R. y H. P. Cruz. 1987. Producción de grana o cochinilla *D. Coccus* C. bajo tres ambientes en Chapingo, México Tesis U.A.Ch. Chapingo, México. p.511.

- MacGregor, L.R. 1976. La grana o cochinilla del nopal usada como colorante desde México antiguo hasta nuestros días. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 21: 93-76
- MacGregor, R. L. y G.R. Sampedro. 1983. Catálogo de cóccidos mexicanos–I. Familia *Dactylopiidae* (Homoptera: Coccoidea). *Anales del Instituto de Biología, Ser. Zool.* 54: 217-223.
- Marín, I.R y F. Cisneros V. 1977. Biología y morfología de la cochinilla del carmín, *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae). *Rev. Per. Entomol.* 20: 115-120.
- Mann, J. 1969. Cactus feeding insect and mites. United States National Museum Bulletin 256. 158 p.
- Mauseth, J.D. 1984. Introduction to Cactus Anatomy. *Cactus and Succulent Journal (U.S)* 56. 33 – 37; a 131 – 135.
- Méndez, G.J., Aquino, P.G. y A. Moreno Q. 1990. Producción e industrialización de la grana-cochinilla (Coccoidea: Dactylopiidae: *Dactylopius* spp) en Salinas de Hgo., S. L. P. In: *Memorias del ciclo de Conferencias sobre Estrategias de Agroindustrialización de Plantas del desierto*. Tarango, A., Cisneros, R. Y F. J. Morales (Eds.). U.A.S.L.P. C.R.E.Z.A.S.- C.P. pp. 80-88.
- Méndez, G.J. 1992. Tasas de supervivencia y reproducción de la grana cochinilla *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) a diferentes temperaturas. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México. 52 p.

- Miller, D.R. 1976. Family Dactylopiidae in: Sillabus for works hop on scale insect identification. Proceedings of the National Meeting of the Entomological Society of America. Hawaii U.S.A. p. 10.
- Montiel, R.L. 1992. Valoración del cultivo de grana-cochinilla *Dactylopius coccus* Costa, utilizando diferentes sustratos y fotoperiodos. Tesis profesional. Depto. de Agrobiología. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Ixtacuixtla, Tlaxcala. 83p.
- Moran, V.C. y H.G. Zimmermann. 1991. Biological control of cactus weeds of minor importance in South Africa. *Agricultura, Ecosystems and Environment* 37: 37-55.
- Nobel, P. S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. USA. 270 p.
- Nobel, P.S. 1998. Los Incomparables Agaves y Cactus. Ed. Trillas. 1ª Edición en Español. México, D.F. 211 p.
- Palomino, M.R. y W. Navarro A. 1988. El cultivo de la tuna y la propagación de la cochinilla. PROFEL. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho, Perú. 64 p.
- Piña, L.I. 1977. La grana o cochinilla del nopal. Monografías LANFI No. 1. Publicaciones de los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial México. pp. 55.
- Piña, L.I. 1979. Principales países productores de grana fina y algunos aspectos biológicos sobre la producción de este colorante. *Revista de los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial*. 5: 14-16.

- Pimienta, E. 1990. El Nopal Tunero. 1ª ed. Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. 246 pp.
- Romero - López B. E., A. Flores Hernández, E. Santamaría César, J. C. Salazar Torres, M. Ramírez Delgado y A. Pedroza Sandoval. 2006. Identificación, Biología y Adaptación de la Cochinilla Silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homoptera:Dactylopiidae) a las Condiciones Ambientales de Bermejillo, Durango. Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas. 5: 41-48
- Santibáñez, M.T. 1988. El cultivo de la grana-cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) del nopal (*Opuntia spp*) en Oaxaca. In: memorias de la 3a. Reunión Nacional y 1a. Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal del 10-14 de octubre de 1988. Univ. Aut. Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, Saltillo, Coah., México. pp. 279-283.
- Sullivan, R.P.1990. Population growth potential of *Dactylopius ceylonicus* (hemiptera: Dactylopidae) on *Opuntia vulgaris* Miller. Journal of the Australian Entomological Society 29: 123-129.
- Tovar, P.A. y M. Pando M. 1999. El Cultivo de la Grana Cochinilla del Nopal *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) Una Alternativa Para el Sur del Estado de Nuevo León. In: Memorias del IV Simposio de Ciencia y Tecnología. SEP-CONACYT. Monterrey, N. L., México.

- Tovar, P.A. 2000. Producción de grana cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) en dos localidades del sur del estado de Nuevo León. Tesis de maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 69 p.
- Valdéz–Cepeda, R.D. Blanco–Macías, Fidel, Murillo–Amador, B., García–Hernández, J.L., Magallanes–Quintanar, R., Macías–Rodríguez, F.J. 2004. Advances in Cultivated Nopal (*Opuntia spp.*) Nutrition. In Esparza – Frausto, G; Valdéz – Cepeda, R. D. y Méndez – Gallegos, S. J. (Eds.). El Nopal: Tópicos de actualidad. © 2004. Coed. Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Postgraduados. Pp. 155 – 166.
- Vargas, G. F.N. 1988. Biología de la cochinilla del carmín *Dactylopius coccus* Costa bajo condiciones de laboratorio en Pampa del Arco (2,750 msnm) Ayacucho. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho, Perú. 71p.
- Zamora, N.J.F. 1992. Efecto de la fertilización orgánica del nopal *Opuntia ficus-indica* (L). Mill. sobre la producción de cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa). Tesis profesional. Facultad de Agronomía. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 57 p.

CAPÍTULO 3

**SUSCEPTIBILIDAD DE 15 CULTIVARES DE NOPAL DE LOS GÉNEROS
Opuntia y *Nopalea* A LA INFESTACIÓN DE (*Dactylopius coccus* COSTA)
(HOMOPTERA: DACTYLOPIIDAE)” ***

Autores: Tovar Puente, Aldo; Pando Moreno, Marisela; Méndez Gallegos, Santiago de Jesús.

*Publicado en las Memorias del III Congreso Internacional de Grana Cochinilla y Colorantes Naturales llevado a cabo en Morelia, Michoacán. México, del 13 al 17 de noviembre de 2006.

CAPÍTULO 3

SUSCEPTIBILIDAD DE 15 CULTIVARES DE NOPAL DE LOS GÉNEROS *Opuntia* y *Nopalea* A LA INFESTACIÓN DE (*Dactylopius coccus* COSTA) (HOMOPTERA: DACTYLOPIIDAE)

Introducción

Desde tiempos prehispánicos, la grana o cochinilla se ha cultivado utilizando al nopal como hospedante, para la obtención de ácido carmínico, colorante rojo natural. Sin embargo, se ha observado que el grado de infestación del insecto presenta un comportamiento diferencial entre cultivares, aún siendo éstos de la misma especie (Tovar y Pando, 2004). Las condiciones climatológicas del sur del estado de Nuevo León parecen ser adecuadas para el cultivo de la grana, pero no existe una tradición de su cultivo en la zona, por lo que se desconoce cuáles pudieran ser los mejores hospedantes en función del rendimiento y calidad del ácido carmínico. El presente trabajo pretende identificar algunos de los hospedantes en los cuales la producción de grana fina, en el estado de Nuevo León, alcance rendimientos equiparables a los de otras áreas productoras del país. Para ello, se propone evaluar el rendimiento de grana fina (*Dactylopius coccus* Costa), utilizando 15 cultivares de nopal como hospedantes, en el sur del estado de Nuevo León.

Materiales y métodos

El área de estudio está localizada en la región sur del Estado de Nuevo León, en el municipio de Galeana, N.L. (24° 50' N y 100° 08' O), a 1800 msnm y una precipitación media anual de 417.7 mm.

Los valores de temperaturas registradas durante los ciclos de cultivo de esta investigación se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1.-Temperaturas (°C) registradas en los dos ciclo de cultivo

Ciclo	Media Máxima	Media Mínima	Máxima extrema	Mínima extrema
Septiembre-Diciembre 2004	31	11	37	5
Mayo-Agosto 2005	34	13	39	12

Diseño experimental y descripción de la metodología.

Se evaluó la producción de grana, en dos ciclos de infestación, utilizando 15 cultivares de nopal como hospedantes. Los cladodios fueron establecidos en invernadero, sin control de temperatura, ni humedad, bajo un sistema a penca cortada. Se utilizó un diseño de bloques al azar con 15 tratamientos (cultivares de nopal) y cuatro repeticiones; constando cada unidad experimental de 24 cladodios. Éstas se colocaron a una distancia de 5 cm entre ellas, con una separación entre repeticiones de 10 cm. Los cultivares utilizados fueron: Jalpa, Copena V1, Villanueva, Liso Forrajero, Pabellón, Copena F1, Milpa Alta, Rojo Vigor y Local, estos pertenecientes a *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. También, Nopal Cristalino y Burrón, pertenecientes a *Opuntia albicarpa* Scheinvar. Oreja de Elefante 3 o Bolañera, del género *Opuntia undulata* Griffiths y Morado T10 de *Opuntia spp.*; además de dos cultivares del género *Nopalea*: Tamazunchale (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm – Dyck) y Llera (*Nopalea spp.*). Los cladodios fueron infestados, utilizando un nido de tul de 6 x 12 cm con 20 hembras oviplenas. Las variables de respuesta para la evaluación de los tratamientos fueron: 1) Número de insectos, 2) Peso fresco de los insectos (g) y 3) Peso seco de los insectos (g).

Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias mediante prueba de Tukey ($P=0.05$). Los datos relativos a número de insectos promedio por cladodio fueron transformados, previo a su análisis, a la función raíz cuadrada, por tratarse de una variable discontinua (Little y Hills, 1991).

Resultados

Para el primer ciclo de cultivo, se infestaron las raquetas de los 15 cultivares el 03 de septiembre de 2004 y se cosechó el 03 de diciembre de 2004. Para el segundo ciclo se infestó el 19 de mayo de 2005 y se cosechó el 05 de agosto de 2005. Se encontró que en los dos ciclos de cultivo evaluados, el cultivar Villanueva fue el que obtuvo la mayor producción en cuanto a número de insectos, peso fresco y peso seco. En segundo lugar de producción quedó el cultivar Copena F1. En contraste los cultivares Liso Forrajero, Pabellón y Local no presentaron ninguna infestación (Figura 1).

Análisis para peso fresco

El peso fresco de la grana difirió entre cultivares ($P>F=0.0001$). La prueba Tukey ($P=0.05$) indicó que, de los cultivares analizados, el cultivar Villanueva presentó la mayor producción de peso fresco de grana (5.2196 g promedio por cladodio para primer ciclo) y (5.8542 g en el segundo ciclo), seguido de Copena F1 (3.2342 g, primer ciclo) y (4.4365 g, segundo ciclo). Los cultivares Liso Forrajero, Pabellón y Local no presentaron infestación, mientras que en el resto de los cultivares, si bien se presentó infestación, la producción fue menor a la de Villanueva o Copena F1 (Cuadros 1 y 2).

Análisis para peso seco

En relación al peso seco, los resultados de los análisis indicaron también diferencias significativas entre cultivares ($P > F = 0.0001$) resultando, al igual que para el peso fresco, el cultivar Villanueva con los mayores rendimientos (1.9625 g promedio por cladodio en el primer ciclo y 1.9232 g en el segundo ciclo), seguido del cultivar Copena F1 con 1.2196 g en el primer ciclo y 1.6038 g en el segundo ciclo.

Análisis para número de insectos

Se encontraron diferencias significativas entre los cultivares ($P > F = 0.0001$). Los resultados de la prueba de Tukey ($P = 0.05$) mostraron que consistentemente el cultivar Villanueva obtuvo el mayor número de insectos (119.083 primer ciclo) y (262.3750 segundo ciclo), seguido por el cultivar Copena F1 (81.042 primer ciclo) y (190.3333 segundo ciclo), mientras que los cultivares Liso Forrajero, Pabellón y Local no mostraron infestación alguna.

Las mismas tendencias de producción se presentaron cuando los datos fueron analizados para los dos ciclos de infestación conjuntamente (Cuadro 3), donde el cultivar Villanueva mantuvo los mayores valores de producción, para las tres variables evaluadas.

Cuadro 1. Valores promedio por cladodio para peso fresco de grana, peso seco y número de insectos para el primer ciclo.

Cultivar	Peso Fresco (g)	Peso Seco (g)	Número Insectos
Jalpa	1.1613 def ¹	0.6246 def	31.9583 def
Copena V1	2.0054 c	0.8725 cd	47.6667 c
Villanueva	5.2196 a	1.9625 a	119.0833 a
Liso Forrajero	0.0000 g	0.0000 g	0.0000 h
Pabellón	0.0000 g	0.0000 g	0.0000 h
Copena F1	3.3242 b	1.2196 b	81.0417 b
Milpa Alta	0.9354 ef	0.5867 ef	16.7917 g
OE3 *	0.6054 fg	0.4421 f	11.9583 gh
Llera	1.3175 cdef	0.7475 cde	49.6250 c
Tamazunchale	1.8833 cd	0.8792 c	51.5000 c
Morado T10	1.5954 cde	0.7708 cde	40.7500 cde
Cristalino	0.9721 ef	0.5896 ef	23.5417 fg
Burrona	0.9192 ef	0.5942 ef	26.6250 efg
Rojo Vigor	1.4454 cde	0.7671 cde	42.1250 c
Local	0.0000 g	0.0000 g	0.0000 h

* Oreja de Elefante 3

¹ Letras diferentes en columnas indican diferencias altamente significativas entre cultivares (P=0.05) según la prueba de Tukey

Cuadro 2. Valores promedio por cladodio para peso fresco de grana, peso seco y número de insectos para el segundo ciclo.

Cultivar	Peso Fresco (g)	Peso Seco (g)	Número Insectos
Jalpa	2.9253 c ¹	1.1280 cd	83.9167 de
Copena V1	3.9855 b	1.4015 bc	124.2083 c
Villanueva	5.8542 a ¹	1.9232 a ¹	262.3750 a ¹
Liso Forrajero	0.0000 g	0.0000 h	0.0000 i
Pabellón	0.0000 g	0.0000 h	0.0000 i
Copena F1	4.4365 b	1.6038 b	190.3333 b
Milpa Alta	1.7685 de	0.7721 f	36.7083 fghi
OE3 *	0.7632 fg	0.3993 g	18.5417 ghi
Llera	1.6718 e	0.7593 f	39.4167 fgh
Tamazunchale	1.5806 ef	0.6273 f	27.0000 ghi
Morado T10	2.6522 cd	1.0551 de	57.2500 efg
Cristalino	2.9940 c	1.0970 de	119.4583 cd
Burrona	0.7720 fg	0.4665 g	16.8333 hi
Rojo Vigor	2.0240 de	0.8493 ef	69.5417 ef
Local	0.0000 g	0.0000 h	0.0000 i

* Oreja de Elefante 3

¹ Letras diferentes en columnas indican diferencias altamente significativas entre cultivares (P=0.05) según la prueba de Tukey

Cuadro 3. Valores promedio por cladodio para peso fresco de grana, peso seco y número de insectos para los dos ciclos de infestación promediados.

Cultivar	Peso Fresco (g)	Peso Seco (g)	Numero Insectos
Jalpa	2.0688 de ¹	0.877 de	53.7700 d
Copena V1	2.9963 c	1.1375 c	84.4800 c
Villanueva	5.5388 a	1.9438 a	190.7313 a
Liso Forrajero	0.0000 h	0.000 h	0.000 h
Pabellón	0.0000 h	0.000 h	0.000 h
Copena F1	3.8363 b	1.4113 b	135.6875 b
Milpa Alta	1.3525 efg	0.6813 ef	26.8738 ef
OE3 *	0.6863 gh	0.4200 g	15.1863 fg
Llera	1.4938 def	0.7550 def	42.2075 de
Tamazunchale	2.0338 de	0.9063 de	47.2500 de
Morado T10	2.1250 d	0.9138 cd	46.8538 de
Cristalino	1.9838 de	0.8438 de	64.8338 cd
Burrona	0.8450 fg	0.5313 fg	23.7287 efg
Rojo Vigor	1.7363 de	0.8113 de	54.0612 d
Local	0.0000 h	0.000 h	0.000 h

* Oreja de Elefante 3

¹ Letras diferentes en columnas indican diferencias altamente significativas entre cultivares (P=0.05) según la prueba de Tukey

Discusión

De los resultados obtenidos, se puede considerar que el cultivar Villanueva y el cultivar Copena F1 presentan una buena capacidad para el establecimiento y desarrollo del insecto. Estos resultados están por encima de algunos reportados en la literatura, como los de Santibáñez (1992) quien señala un rendimiento promedio de 3 g de grana viva por penca, o los de Robles (2002) donde reporta 2.80 g por raqueta en el cultivar Blanca San José, aún cuando Téllez *et al.* (2002) mencionan en su trabajo, rendimientos de 10 g y 8 g a una temperatura de 30 y 20 °C, respectivamente.

Conclusiones

La susceptibilidad al establecimiento del insecto en 15 cultivares evaluados se demostró en dos ciclos de cultivo, en donde el cultivar Villanueva presentó la mejor respuesta al establecimiento y/o producción de grana en base a los parámetros evaluados (número de insectos, peso fresco y peso seco de los mismos) en ambos ciclos. Por otra parte, se detectó que el cultivar Liso Forrajero, Pabellón y Local no presentaron infestación alguna, por lo que es posible sean considerados como resistentes al insecto.

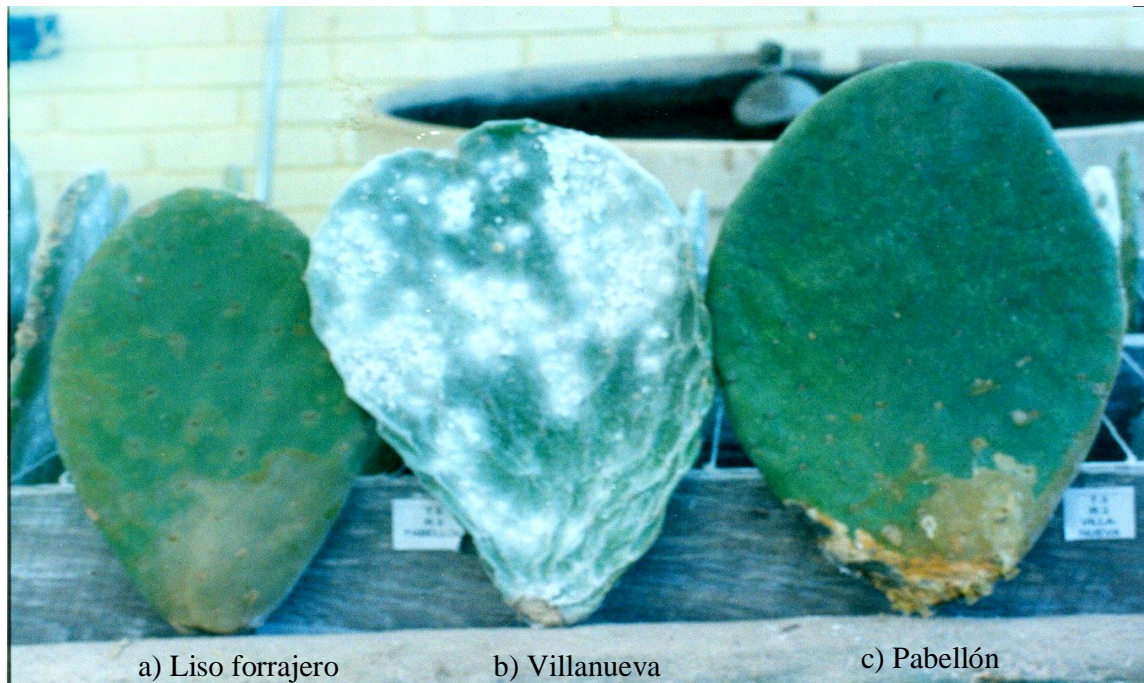


Figura 1.- Diferencias en grado de infestación de tres de los cultivares utilizados.

Literatura Citada

Little, T.M. y F.J. Hills. 1991. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas. México. pp. 125 – 143.

Robles, M.A. 2002. Respuesta de la Grana Cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) a Diferentes Formas de Nopal. En: Portillo, L. y A. L. Viguera (editores). Memoria del II Congreso Internacional de Grana Cochinilla y Colorantes Naturales y II Reunión Internacional del Grupo de Trabajo en Cochinilla, Cactusnet-FAO. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México. pp. 85-87.

- Santibáñez, M.T. 1992. Formas de explotación de grana-cochinilla en Valles Centrales en Oaxaca. En: resúmenes del 5to. Congreso Nacional y 3er. Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal del 11-15 de agosto de 1992. Univ. Aut. Chapingo y CONACYT. Chapingo, Méx. México. p. 69.
- Téllez, J.S., J. Rodríguez Baños y J.R. Villagomez I. 2002. Estudio de las Condiciones de Reproducción de *Dactylopius coccus* Costa en Invernadero con el fin de optimizar la producción del colorante. En: Portillo, L. y A. L. Viguera (editores). Memoria del II Congreso Internacional de Grana Cochinilla y Colorantes Naturales y II Reunión Internacional del Grupo de Trabajo en Cochinilla, Cactusnet-FAO. Universidad de Guadalajara México. pp 90-92.
- Tovar, P. A. y M. Pando M. 2004. Comparación de la producción de grana fina *Dactylopius coccus* (Homoptera:Dactylopiidae) utilizando tres cultivares de nopal como hospederos. En: Resúmenes del IV Congreso Mexicano y III Latinoamericano y el Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. Guadalajara, Jalisco, México. pp. 167.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DE QUINCE CULTIVARES DE NOPAL DE LOS GÉNEROS *Opuntia* y *Nopalea*

Aldo Tovar Puente¹, Marisela Pando moreno², Humberto González Rodríguez²,
Rigoberto Vázquez Alvarado³ y Mario A. Madrigal Anzaldúa¹

1 Profesor Investigador, Instituto Tecnológico de Linares. Carretera Nacional km 157,
Linares, Nuevo León, México. Teléfono y Fax (821)21 2 67 05. email:
aldotovar@hotmail.com

2 Profesor investigador. Facultad de Ciencias Forestales. UANL Apartado postal 41.
Linares, Nuevo León, México.

3 Profesor Investigador, Facultad de Agronomía, UANL. Marín, Nuevo León, México

ARTÍCULO PUBLICADO EN LA REVISTA NAKARI 2006, 17, 2: 29-35.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DE QUINCE CULTIVARES DE NOPAL DE LOS GÉNEROS *Opuntia* y *Nopalea*

Aldo Tovar Puente¹, Marisela Pando moreno², Humberto González Rodríguez², Rigoberto . Vázquez Alvarado³ y Mario A. Madrigal Anzaldúa⁴

Resumen

Con la finalidad de caracterizar quince cultivares de nopal pertenecientes a los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, se determinó en éstos la concentración de diez macro- y micronutrientes, y además se evaluaron algunas características anatómicas y morfológicas de los cladodios. Los datos fueron analizados con Análisis de Varianza con cuatro repeticiones y comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$). Adicionalmente se llevó a cabo un análisis de ordenación (conglomerados jerárquicos) para identificar las similitudes entre cultivares, tanto en su composición química como en sus características anatómicas y morfológicas. Los dendrogramas generados en el análisis de ordenación muestran a los quince cultivares clasificados en grupos de acuerdo al nivel de similitud entre ellos.

Se propone, en una siguiente etapa, cuantificar la productividad de estos cultivares de nopal, ya sea como verdura (nopalitos), forraje u otro producto y analizar la correlación entre productividad y los parámetros físicos y químicos aquí evaluados.

Palabras clave: cultivares, nopal, *Opuntia*, *Nopalea*, macronutrientes, micronutrientes

Abstract

In order to characterize fifteen cactus pear cultivars from *Opuntia* and *Nopalea* genera, macro and micronutrients concentrations were determined, and some morphological and anatomical characteristics were also evaluated. Data were analyzed by Analysis of Variance and Tukey test ($P < 0.05$). An ordination analysis was also performed to identify similarities between cultivars, both in chemical composition and anatomical and morphological characteristics. Dendrograms generated by the ordination analysis show the fifteen cultivars classified in groups according to the degree of similarity amongst them, both for the chemical and physical characteristics. It would be interesting, as a next research topic stage, to quantify productivity of these cultivars, either as greenness (nopalitos), forage, or another product and to analyze the correlation between productivity and the physical and chemical parameters herein evaluated.

Key words: cultivars, cactus pear, *Opuntia*, *Nopalea*, macronutrients, micronutrients

Introducción

El nopal es una planta nativa de climas subtropicales semiáridos y áridos de México, cuya sobrevivencia durante las frecuentes sequías prolongadas depende del agua almacenada en sus tallos suculentos (Bravo-Hollis, 1978; Nobel, 1988; Nobel, 1994). El estado nutrimental de las plantas, el cual afecta de muchas maneras su actividad metabólica, ha sido estudiado en detalle para plantas C3 y C4 en tanto que las plantas con metabolismo ácido crasuláceo (MAC) en general, y el nopal en particular, han recibido escasa atención, de manera que son pocos los estudios que revelan el comportamiento de los minerales y su efecto en la morfología sobre este tipo de plantas (Nobel, 1983). El contenido de minerales en las plantas está determinado, mayormente,

por factores genéticos, existiendo un patrón general de acuerdo con el cual las especies de plantas superiores contienen 10 veces más N y K que P y Mg y éstos, a su vez, se hayan en concentraciones de 100 a 1000 veces superiores que las de los micronutrientes (Mengel y Kirkby, 1987); sin embargo, estas proporciones difieren entre especies y aún para la misma especie dependiendo de la edad y el estado fenológico de la planta. Otro factor relevante que controla el contenido mineral en el tejido vegetal es la concentración de nutrientes en la solución del suelo. En la naturaleza, las plantas se encuentran en suelos que varían ampliamente en fertilidad, pudiendo presentarse baja disponibilidad de todos los nutrientes, desequilibrio entre ellos o presencia de elementos a niveles tóxicos (Wentworth y Davidson, 1987).

Consecuentemente, la concentración mineral en los tejidos de las plantas, tanto nativas como cultivadas, también varía ampliamente. Así, por ejemplo, se ha encontrado que *Opuntia ficus-indica*, como la mayoría de los cactus, es sensible a altos contenidos de Na en el suelo, de forma tal que la inhibición del crecimiento es casi lineal con el contenido de Na en el suelo (Nobel, 2003). En general, los nopales contienen niveles más bajos de N y P y mayores de Ca, que las plantas cultivadas provistas de hojas (Gallegos, 1998; Nobel, 1988). Asimismo, se ha reportado que la edad de los nopales de *O. ficus-indica* tiene un efecto significativo en los contenidos de Ca, Mg y Na y un efecto altamente significativo en el contenido de P, mientras que el contenido de K no se ve afectado por la edad (Tegegne, 2003) y que la acumulación de Ca se vuelve un problema serio conforme avanza la edad del tejido (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2004). Para entender las relaciones nutrimentales en plantas del género *Opuntia*, como en muchas otras plantas, es necesario tener presentes ciertas características de su anatomía y fisiología, ya que éstas tendrán un efecto determinante en sus funciones y,

consecuentemente, en su adaptación al ambiente árido en el que se desarrollan (Gallegos, 1999). Las cactáceas difieren de muchas otras plantas por poseer MAC y por su succulencia, la cual puede afectar la concentración interna de minerales y su reciclaje al retener una fracción relativamente grande de agua extraída del suelo (Berry y Nobel, 1995). La riqueza de nutrimentos en nopal es muy variable de acuerdo a la especie, e incluso dentro de una misma especie. En los estudios que se han realizado con respecto a la composición química del nopal, los resultados varían significativamente, de acuerdo con el sitio de colecta y edad de la planta (Pérez, 2003). Por lo anterior, la presente investigación está dirigida a determinar, caracterizar y analizar las disimilitudes de la concentración de nutrientes así como de algunas de las principales características morfológicas y anatómicas de quince cultivares de nopal, pertenecientes a dos géneros: *Opuntia* y *Nopalea*.

Materiales y métodos

Muestreo. La presente investigación se realizó con material vegetal colectado del banco de germoplasma de nopal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Figura 1; Cuadro 1), ubicado en Marín, Nuevo León, México. La altitud es de 375 m y se localiza entre las coordenadas 25° 53' norte y 100° 03' oeste. Como se observa en el Cuadro 1, sólo dos de los cultivares estudiados, Llera y Tamazunchale, pertenecen al género *Nopalea* y el resto pertenecen al género *Opuntia*.

Evaluación química. Las determinaciones de nutrientes minerales fueron realizadas utilizando cuatro cladodios de cada cultivar, como repeticiones; los cladodios referidos fueron de un año de edad sin fructificación. Se obtuvieron muestras de la parte superior, media y basal de cada cladodio empleando un sacabocados No. 9 de 14 mm de diámetro. Enseguida, las muestras fueron secadas en estufa (Precision GCA gravity convection

oven, model 16EG) a 70 °C durante 72 h, molidas en un molino tipo willy (Thomas Scientific 800–345–2100, modelo 3379–L10), a 2 mm y homogenizadas. Posteriormente, las muestras fueron incineradas en una mufla (Felisa modelo 330) a 550 °C durante 4 h para ser llevadas a cenizas, las cuales se filtraron y aforaron a 25 ml con agua destilada. Las concentraciones en micromoles del nutriente por gramo de peso seco de la muestra ($\mu\text{mol g}^{-1}$) de macro (Ca, Mg, K y Na) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) se cuantificaron mediante espectrometría de absorción atómica (Varian Spectra-200). La determinación ($\mu\text{mol g}^{-1}$) de P se estimó por colorimetría (Espectrofotómetro UV/VIS Perkin-Elmer lambda 1A) y el contenido de N (%) por el método de Kjeldahl, utilizando un destilador Foss Tecator modelo 2100 y un digestor Foss Tecator modelo 2006, de acuerdo a los procedimientos descritos por Pérez (1997) y Serna (1998).

Caracterización morfométrica de los cladodios. Las características morfológicas evaluadas fueron: largo y ancho de cladodio, número de areolas dm^2 (Figura 2a), con respecto a las variables anatómicas se determinó el grosor de cutícula (μm) y el grosor de epidermis (μm) (Figura 2b). Los datos obtenidos se sometieron a un Análisis de Varianza de acuerdo a un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ($P < 0.05$; Steel y Torrie, 1980).



Figura 1. Vistas generales de algunos de los cultivares de nopal utilizados en el presente estudio.

Adicionalmente, se realizó un análisis de ordenación (conglomerados jerárquicos), utilizando el método de distancia Euclídea al cuadrado, a fin de identificar la similitud entre los cultivares, tanto por sus características morfológicas y anatómicas, como químicas. Los promedios de esas variables se consideraron para definir sistemáticamente el orden y la similitud de los atributos de macro y micronutrientes, así como para ordenar los quince cultivares en grupos semejantes. Todos los procedimientos estadísticos que se aplicaron fueron efectuados con el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences, versión estándar 10.0, SPSS Inc.).

Cuadro 1. Cultivares utilizados en el presente estudio.

Nombre científico	Cultivar	Procedencia
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Jalpa	Marín, N. L.
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Copena V1	Marín, N. L.
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Villanueva	Marín, N. L.
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Liso forrajero	Marín, N. L.
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Pabellón	Marín, N. L.
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Copena F1	Marín, N. L.
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Milpa alta	Marín, N. L.
<i>Opuntia undulata</i> Griffiths	Oreja de elefante 3 (bolañera)	Marín, N. L.
<i>Nopalea</i> spp	Llera	Marín, N. L.
<i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm – Dyck	Tamazunchale	Marín, N. L.
<i>Opuntia</i> spp	Morado T – 10	Marín, N. L.
<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar	Nopal cristalino	Marín, N. L.
<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar	Burrona	Marín, N. L.
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Rojo vigor	Marín, N. L.

Resultados

Se determinaron diferencias significativas para todos los nutrientes analizados. Las concentraciones promedio de macro y micronutrientes se ilustran en los Cuadros 2 y 3, y en ellos se presentan también los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$) entre los cultivares estudiados. En el Cuadro 2 se observa la conformación de grupos de cultivares que presentan concentraciones estadísticamente iguales para cada nutriente. Así, por ejemplo, los cultivares Liso Forrajero, Burrón, Pabellón, Copena F1, Oreja de Elefante 3, Morado T10, Cristalino y Local presentaron iguales concentraciones de Ca (valores entre 6880 y 8966 $\mu\text{mol g}^{-1}$). Aquí se distingue el cultivar Villanueva ya que fue el más alto en contenido de P (16.76 $\mu\text{mol g}^{-1}$), encontrándose también en el grupo de los cultivares con los valores más altos en Na (319 $\mu\text{mol g}^{-1}$) y K (3820 $\mu\text{mol g}^{-1}$). Villanueva también presenta, junto con Jalpa y Milpa Alta los valores más bajos en Ca (3804 $\mu\text{mol g}^{-1}$).

Con respecto al contenido de N, el cultivar Liso Forrajero presentó el mayor contenido (0.186 %), mientras Milpa Alta presentó el menor contenido (0.085 %) presentando este último grupo valores más bajos, entre 0.085 y 0.0131%. Por otra parte, los cultivares Liso Forrajero, Pabellón, Copena F1 y Llera presentaron los valores más altos en Mg, (entre 1102 y 1725 $\mu\text{mol g}^{-1}$). Encontrándose también Villanueva en el grupo que presenta los valores más bajos para este nutriente (entre 569 y 798 $\mu\text{mol g}^{-1}$). En el Cuadro 3 se muestran los resultados de la comparación de medias entre cultivares para la concentración de micronutrientes. En dicho Cuadro, se observa también la conformación

de grupos de cultivares que presentan homogeneidad en relación a la concentraciones de minerales evaluados. Así, los cultivares Villanueva, Jalpa, Tamazunchale y Morado T10 presentaron iguales concentraciones de Cu (con valores entre 0.471y 0.696 $\mu\text{mol g}^{-1}$) siendo los más altos. En el caso de los micronutrientes, se distingue el cultivar Cristalino que fue el más alto en Mn (0.532 $\mu\text{mol g}^{-1}$), encontrándose también en el grupo de los cultivares con los valores más bajos en Cu (0.185 $\mu\text{mol g}^{-1}$), Fe (0.845 $\mu\text{mol g}^{-1}$) y Zn (0.382 $\mu\text{mol g}^{-1}$). El cultivar Llera, presentó los valores más altos en Fe (2.155 $\mu\text{mol g}^{-1}$), mientras el cultivar Jalpa sobresalió con los valores más altos de Zn (2.337 $\mu\text{mol g}^{-1}$), aunque encontrándose también en los grupos con los valores más bajos en Mn (0.415 $\mu\text{mol g}^{-1}$) y Fe (0.640 $\mu\text{mol g}^{-1}$).

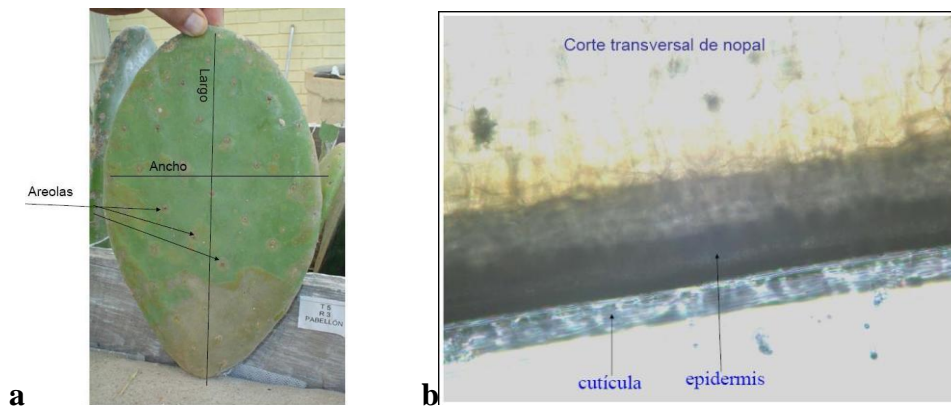


Figura 2. Características evaluadas en los cladodios de los cultivares de nopal. a) largo, ancho y número de areolas por dm^2 y b) grosor de cutícula y epidermis.

Cuadro 2.- Valores promedio (n=4) de concentración de macronutrientes ($\mu\text{mol gps}^{-1}$) en quince cultivares de nopal.

Cultivar	Macronutriente					
	Ca	Na	Mg ($\mu\text{mol gps}^{-1}$)	K	P	N (%)
Jalpa	4939.12 cdef ¹	144.55 abc ¹	688.21 e ¹	2933.13 b ¹	10.57 bc ¹	0.169 abc ¹
Copena V1	6278.63 bcd	140.91 abc	634.86 e	3367.81 ab	10.95 bc	0.134 bcde
Villanueva	3804.86 f	319.85 ab	798.33 de	3820.13 a	16.76 a	0.173 ab
Liso forrajero	8966.41 a	201.03 abc	1725.78 a	3404.91 ab	3.95 efg	0.186 a
Pabellón	8174.77 ab	253.94 abc	1623.14 a	3703.56 a	3.79 fg	0.162 abcd
Copena F1	7432.04 ab	160.44 abc	1613.26 a	3683.94 a	10.73 bc	0.131 bcdefg
Milpa alta	4585.39 def	106.14 abc	1102.28 c	3243.11 ab	8.14 cde	0.085 g
OE3 *	7705.32 ab	233.65 abc	1163.64 c	750.41 c	9.95 c	0.121 cdefg
Llera	6089.42 bcde	243.76 abc	1457.17 ab	1121.02 c	10.70 bc	0.151 abcde
Tamazunchale	3987.40 ef	343.89 a	1043.86 cd	813.21 c	5.16 defg	0.165 abc
Morado T10	7947.48 ab	276.07 abc	1251.41 bc	698.59 c	1.30 g	0.089 fg
Cristalino	6880.49 abc	40.62 c	1184.99 c	663.01 c	1.86 g	0.116 defg
Burrona	8844.13 a	72.38 bc	1063.73 cd	673.73 c	7.42 cdef	0.096 fg
Rojo vigor	6609.91 bcd	108.74 abc	1045.89 cd	1040.29 c	8.31 cd	0.105 efg
Local	6958.37 abc	278.81 abc	569.55 e	859.92 c	14.62 b	0.088 fg

* Oreja de elefante 3.

¹ Letras diferentes en columnas indican diferencias altamente significativas entre cultivares (Tukey P < 0.05).

Cuadro 3.- Valores promedio (n=4) de concentración de micronutrientes ($\mu\text{mol gps}^{-1}$) en quince cultivares de nopal.

Cultivar	Micronutriente			
	Cu	Mn	Fe	Zn
Jalpa	0.696 a ¹	0.415 e ¹	0.640 bc ¹	2.337 a ¹
Copena V1	0.377 bcde	0.488 de	0.639 bc	0.918 bcd
Villanueva	0.477 a,b	0.391 e	0.751 bc	0.942 bcd
Liso forrajero	0.282 bcde	0.809 bcd	0.839 bc	0.934 bcd
Pabellón	0.338 bcde	0.961 b	0.821 bc	0.708 bcd
Copena F1	0.135 e	0.486 de	0.733 bc	0.494 cd
Milpa alta	0.214 cde	0.281 c	0.478 c	0.380 d
OE3 *	0.415 bcd	0.868 bc	1.365 b	1.247 b
Llera	0.180 de	0.803 bcd	2.155 a	1.159 bc
Tamazunchale	0.509 ab	0.368 e	0.755 bc	0.503 cd
Morado T10	0.471 abc	0.880 bc	0.807 bc	0.518 cd
Cristalino	0.185 de	0.532 a	0.845 bc	0.382 d
Burrona	0.282 bcde	0.598 cde	1.156 bc	0.311 d
Rojo vigor	0.310 bcde	0.807 bcd	0.733 bc	0.307 d
Local	0.392 bcde	0.933 bc	0.6461 bc	0.794 bcd

* Oreja de elefante 3

¹ Letras diferentes en columnas indican diferencias altamente significativas entre cultivares (Tukey P < 0.05).

En el Cuadro 4 se muestran los resultados de la comparación de medias entre cultivares para las variables largo, ancho, número de areolas, grosor de cutícula y grosor de

epidermis, observándose nuevamente la conformación de grupos de cultivares que presentan valores estadísticamente iguales para cada variable.

Las variables morfológicas analizadas presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) entre los cultivares estudiados. En relación a la variable largo de cladodio, se pudo determinar que los cladodios de los cultivares Copena F1, Jalpa, Villanueva, Pabellón, Morado T10, Cristalino y Rojo Vigor son más largos que los demás, con longitudes que van de 37.25 a 46.75 cm, mientras que Tamazunchale, Copena V1, Liso Forrajero, Oreja de Elefante 3, Llera y el cultivar Local, presentaron las menores longitudes (de 21.25 a 32.9 cm) (Tukey $P < 0.05$). Para la variable ancho de cladodio, los cultivares Oreja de Elefante 3, Villanueva, Liso Forrajero, Pabellón, Morado T10, Cristalino y Local presentan los cladodios más anchos, con valores entre 20 y 26 cm, a diferencia del cultivar Llera que presentó el valor más bajo (12.00 cm). El número de areolas dm^{-2} fue igual (Tukey $P < 0.05$) en todos los cultivares. Este número osciló entre 4.25 para el cultivar Oreja de Elefante 3 y 11.43 para Milpa Alta. Los valores registrados para grosor de epidermis (μm) fueron iguales (Tukey $P < 0.05$) para trece de los quince cultivares estudiados. Los cultivares Llera y Tamazunchale presentaron los valores más bajo y alto con 10.00 y 13.08 μm , respectivamente, con diferencias estadísticas (Cuadro 4). Resulta interesante resaltar el hecho de que los dos únicos cultivares del género *Nopalea* que se incluyeron en este estudio, presenten la epidermis más gruesa (Tamazunchale) y la más delgada (Llera) de los 15 cultivares analizados.

Cuadro 4.- Valores promedio (n=4) para las variables largo, ancho, número de areolas, grosor de cutícula y grosor de epidermis, en quince cultivares de nopal.

Cultivar	Largo (cm)	Ancho (cm)	No. Areolas dm^{-2}	Grosor cutícula (μm)	Grosor epidermis (μm)
Jalpa	39.70 abc ¹	18.37 bc ¹	7.76 abc ¹	12.66 ab	12.33 ab

Copena V1	21.25 cde	18.25 bcd	10.50 a	10.16 bcde	10.91 bc
Villanueva	43.50 ab	23.50 ab	7.66 abc	9.50 cde	11.16 abc
Liso Forrajero	32.90 bcde	22.50 ab	8.48 abc	11.33 abc	12.66 ab
Pabellón	37.50 abc	21.07 ab	8.48 abc	11.00 bcd	12.66 ab
Copena F1	46.75 a	19.50 b	7.02 abc	11.16 abc	11.16 abc
Milpa Alta	34.25 bcd	17.75 bcd	11.43 a	9.00 cde	11.16 abc
OE3 *	32.50 cde	26.00 a	4.25 c	9.16 cde	11.83 abc
Llera	25.62 de	12.00 d	6.99 abc	7.83 e	10.00 c
Tamazunchale	23.25 e	13.00 cd	7.07 abc	14.08 a	13.08 a
Morado T10	38.25 abc	21.00 ab	6.84 abc	8.16 de	11.00 bc
Cristalino	40.25 abc	22.50 ab	4.68 bc	9.33 cde	12.00 abc
Burrona	34.50 bcd	17.75 bcd	9.15 ab	10.00 bcde	12.00 abc
Rojo Vigor	37.25 abc	18.00 bcd	9.35 ab	11.16 abc	12.33ab
Local	31.25 cde	20.00 ab	10.94 a	9.16 cde	12.00 abc

* Oreja de Elefante 3

¹ Letras diferentes en columnas indican diferencias altamente significativas entre cultivares (Tukey, P<0.05).

Los valores de grosor de cutícula fueron menos semejantes entre sí que los de grosor de epidermis (Cuadro 4). Sin embargo, se observa consistencia en cuanto a que son los mismos cultivares, Tamazunchale y Llera, los que presentan los valores extremos (14.08 y 7.83 μ m), siendo éstos estadísticamente diferentes.

Los dendrogramas generados en el análisis de ordenación (Figuras 3 y 4) muestran a los quince cultivares clasificados en grupos, de acuerdo al nivel de similitud entre ellos, dependiendo de las variables analizadas. La Figura 3 muestra la conformación de cinco grupos en función de sus concentraciones de macro y micronutrientes. El primer bloque agrupa a los cultivares Jalpa, Villanueva y Milpa Alta, en el segundo grupo, aparece Copena V1 sólo. El tercer grupo lo conforman, Liso Forrajero, Pabellón y Copena F1. El cuarto grupo, Oreja de Elefante 3, Llera, Morado T10, Cristalino, Burrona, Rojo Vigor y el cultivar Local. El quinto grupo lo constituye sólo el cultivar Tamazunchale.

El dendrograma de la Figura 4 muestra la conformación de grupos de cultivares en función de sus atributos físicos o características morfológicas, en donde el primer grupo congrega a los cultivares Jalpa, Villanueva, Pabellón, Morado T10, Cristalino, y Rojo Vigor. El segundo grupo, a Copena V1, Liso Forrajero, Milpa Alta, Burrona y el cultivar

Local. En el tercer grupo se ubica sólo el cultivar Copena F1, en el cuarto grupo, Oreja de Elefante 3 y en el quinto grupo aparecen los dos cultivares pertenecientes al género *Nopalea*: Llera y Tamazunchale.

Discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con lo reportado por Magallanes-Quintanar *et al.* (2003) quienes trabajando con *Opuntia ficus-indica*, encontraron que el Ca y el K son los elementos más abundantes en los cladodios; además, el Mg es identificado como un nutriente requerido en igual cantidad que el nitrógeno en cladodios. En este contexto, se puede explicar que Ca, K y Mg pueden ser limitantes en la producción de biomasa en *O. ficus-indica*. El análisis de conglomerados, basado en las características morfológicas, identificó como similares a los dos cultivares pertenecientes al género *Nopalea*, ubicándolos en un mismo grupo, muy distante del resto de los cultivares, debido a las menores dimensiones (largo y ancho) de sus cladodios y a pesar de las diferencias que éstos presentaron en grosor de cutícula y epidermis. Sin embargo, desde el punto de vista de la composición nutrimental, estos dos cultivares mostraron características muy diferentes, de tal forma que el cultivar Llera se comporta de manera similar a cultivares como Rojo Vigor, Cristalino o el cultivar Local, aun cuando éstos pertenecen al género *Opuntia*. Jalpa y Villanueva fueron los únicos cultivares que presentaron similitud entre sí para ambos tipos de características: nutrimentales y morfológicas. Será interesante estudiar, en una siguiente etapa, la productividad de estos cultivares de nopal, ya sea como verdura, forraje, u otro producto y analizar la correlación entre productividad y los parámetros físicos y químicos aquí evaluados.

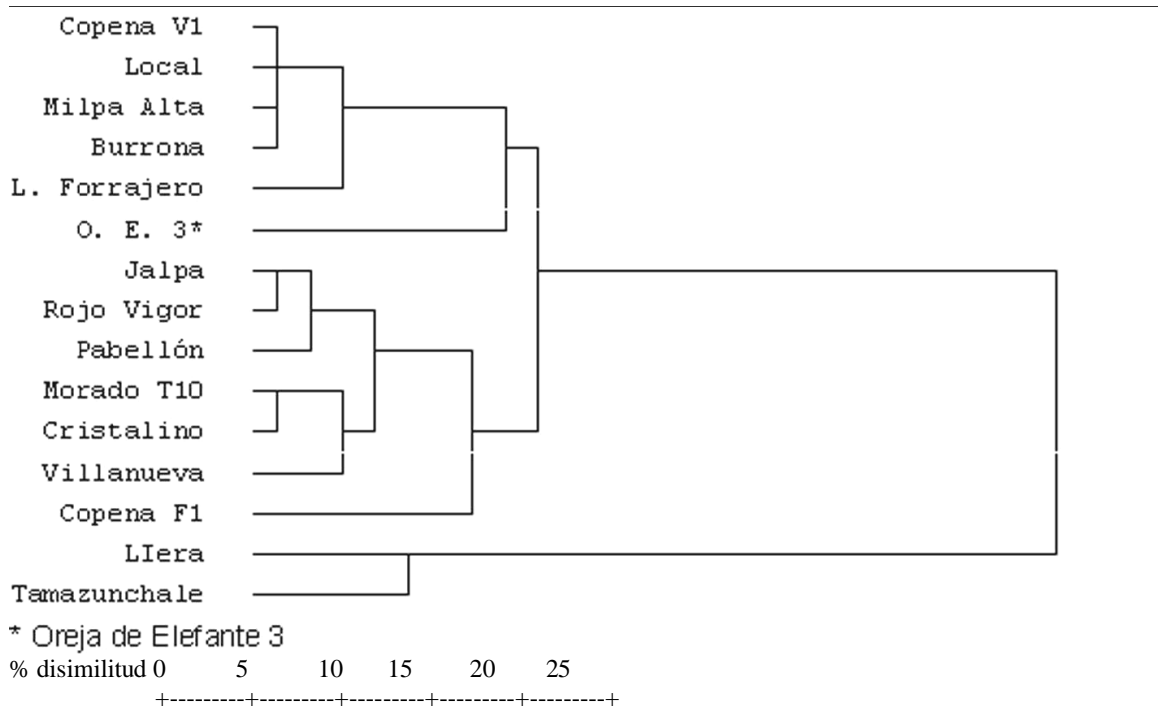


Figura 3. Porcentaje de disimilitud, por el método de distancia Euclídea al cuadrado, entre cultivares de nopal con base en diez atributos químicos: concentraciones de macro (N, P, Ca, Mg, K y Na) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn).

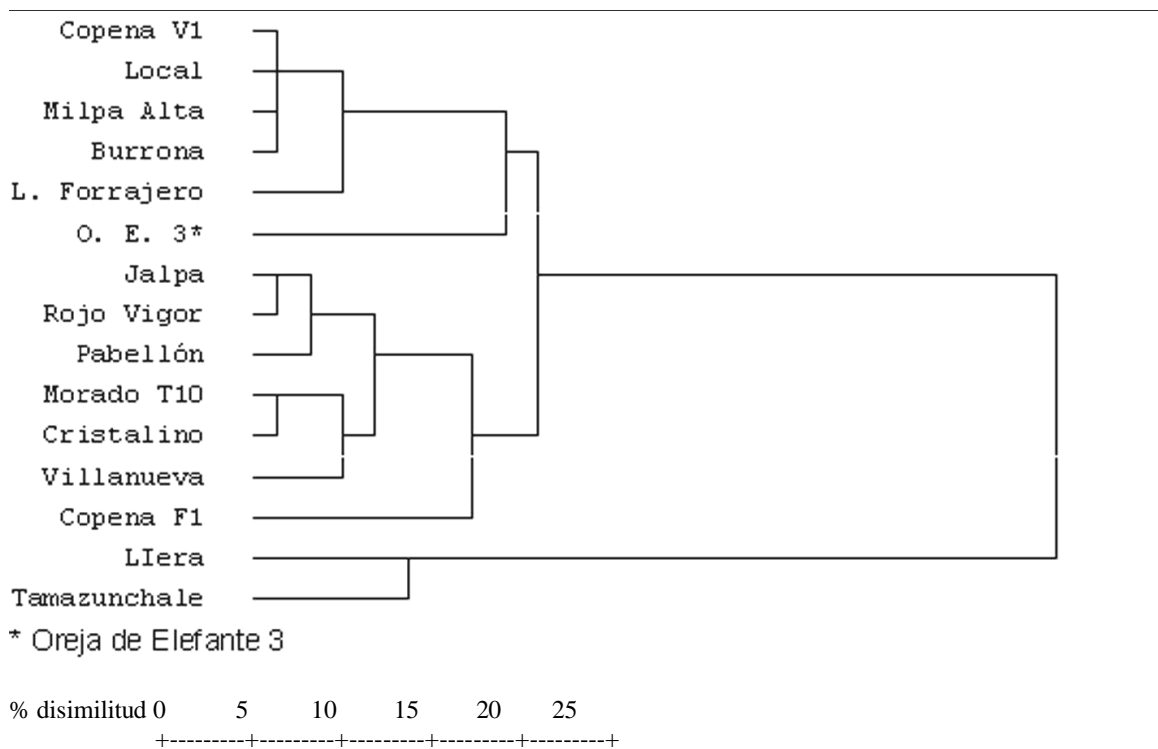


Figura 4. Porcentaje de disimilitud, por el método de distancia Euclídea al cuadrado, entre quince cultivares de nopal con base en cinco atributos físicos; largo de cladodio, ancho de cladodio, número de areolas dm^{-2} , grosor de cutícula y grosor de epidermis.

Agradecimientos

El M. C. Aldo Tovar agradece al Instituto Tecnológico de Linares el apoyo de beca comisión para realizar estudios doctorales en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo de beca brindado, de los cuales emana esta investigación. De igual forma, agradece al Dr. Clemente Gallegos Vázquez del Centro Regional Universitario centro Norte, Universidad Autónoma de Chapingo, Zacatecas, México por la identificación del material vegetal utilizado en este estudio.

Literatura citada

- Berry, N. L. y P. S. Nobel. 1995. Influence of soil and mineral stresses on Cacti. *Journal of Plant Nutrition* 8 (8): 679-696.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Volumen 1. 2a Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 743 p.
- Gallegos, V. C. 1998. Absorción y asimilación de nitrato y amonio en *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. En condiciones de hidroponia. Tesis de Doctor en Ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León, Marín, Nuevo. León. 99 p.
- Gallegos, V. C. 1999. Estado del conocimiento sobre metabolismo del nitrógeno en nopal. En: Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. pp 170-187.

- Magallanes-Quintanar, R., R. D. Valdez-Cepeda, O. Pérez-Veyna, F. Blanco-Macías, B. Murillo Amador, M. Márquez-Madrid, R. R. Ruiz-Garduño y J. L. García-Hernández. 2003. Normas preliminares de diagnóstico nutricional en *Opuntia ficus-indica*. En: Esparza-Fraustro, G., M. A. Salas-Luévano, J. Mena-Covarrubias y R. D. Valdez-Cepeda (Eds.). Memorias del IX Congreso Nacional y VII Internacional, Conocimiento y Aprovechamiento del nopal. Zacatecas, México. pp. 293-297.
- Magallanes-Quintanar, R., R. D. Valdez-Cepeda, F. Blanco-Macías, M. Márquez-Madrid, R. R. Ruiz-Garduño, O. Pérez-Veyna, J. L. García - Hernández, B. Murillo Amador, J. D. López Martínez y E. Martínez Rubín de Celis. 2004. Compositional nutrient diagnosis in nopal (*Opuntia ficus-indica*). Journal of the Professional Association for Cactus Development. 6:78-89.
- Mengel, K. y E. A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4a Ed. International Potash Institute. 687 p.
- Nobel, P. S. 1983. Nutrient levels in cacti-relation to nocturnal acid accumulation and growth. American Journal of Botany 70 (8): 1244-1253.
- Nobel, P. S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. EUA. 270 p.
- Nobel, P. S. 1994. Remarcable agaves and cacti . Oxford University Press. Nueva York. 166 p.
- Nobel, P. S. 2003. Ecofisiología de *Opuntia ficus - indica*. Estudio FAO producción y protección vegetal 169. El Nopal (*Opuntia* spp.) Como Forraje. http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s_06.htm#TopOfPage.

- Pérez, R. M. A. 1997. Valor nutricional foliar de tres especies de *Acacia*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 97 p.
- Pérez, Q. L. M. 2003. Composición química proximal de variedades de nopal cultivado. IV Congreso Regional en Ciencia de los Alimentos. Monterrey, México, Edición Especial No. 3. <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/memorias-atam/13.htm>
- Serna, T. G. 1998. Perfil de la concentración mineral en los zacates klein (*Panicum coloratum*), bermuda-NK37 (*Cynodon dactylon*), pretoria (*Andropogon annulatum*) y buffel (*Cenchrus ciliaris*), durante el otoño e invierno en Linares, Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 62 p.
- Steel, R. G. D. y Torrie, J. C. 1980. Principles and procedures of statistics. 2a ed. McGraw-Hill. Book Co., Nueva York. 633 p.
- Tegege, F. 2003. Valor nutricional de *Opuntia ficus indica* como forraje de rumiantes en Etiopía. Estudio FAO producción y protección vegetal 169. El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s_0d.htm#fn10
- Wentworth, T. R. y E. A. Davidson. 1987. Foliar mineral elements in native plants on contrasting rock types: multivariate pattern and nutrient balance regulation. Soil Science (144): 190- 202.

Capítulo 5

Densidad de cristales de oxalato de calcio en quince cultivares de nopal [♦]

Density of Calcium Oxalate Crystals in 15 Cactus Pear Cultivated Species

Aldo Tovar-Puente ¹, Marisela Pando-Moreno ¹*, Humberto González-Rodríguez ²,

Laura Scott-Morales ², and Santiago de Jesús Méndez-Gallegos ³

¹ Estudiante de Doctorado. Facultad Ciencias Forestales U.A.N.L. y Profesor

Investigador

del Instituto Tecnológico de Linares

Carr. Nacional. Km. 157 Linares, N. L. Tel/Fax (821) 212 67 05.

² Profesores investigadores. Facultad de Ciencias Forestales. U.A.N.L.

Apartado postal 41. Linares, N.L. CP 67700

Tel: (821) 212 42 51 Fax: (821) 212 42 51 ext. 251

³ Profesor investigador. Colegio de Postgraduados. CREZAS. San Luis Potosí, SLP

* Autor para correspondencia. e-mail: mpando55@hotmail.com

Artículo publicado en

Journal of the Professional Association for Cactus Development. 2007: 91-98.

Densidad de cristales de oxalato de calcio en quince cultivares de nopal [♦]

Density of Calcium Oxalate Crystals in 15 Cactus Pear Cultivated Species

Aldo Tovar-Puente ¹, Marisela Pando-Moreno ^{1*}, Humberto González-Rodríguez ²,

Laura Scott-Morales ², and Santiago de Jesús Méndez-Gallegos ³

RESUMEN

En las plantas del género *Opuntia*, el calcio es el principal constituyente mineral, se encuentra en forma de oxalatos de calcio o en forma libre. Estudios recientes han encontrado diferencias en los tipos de cristales de oxalato de calcio para subfamilias de cactáceas y mencionan la posibilidad de caracterizar especies de esta familia a partir de sus similitudes en los cristales de oxalato de calcio. En la presente investigación, se evalúan las diferencias en el número de cristales de oxalato de calcio de quince cultivares de nopal de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, como una característica que podría ser utilizada para discriminar entre géneros, especies o cultivares de nopal. Se analiza, también, la distribución de los oxalatos en los cladodios. Los resultados indican que no hubo diferencias en la densidad de cristales de oxalato de calcio entre la parte superior, media y basal de los cladodios de cada cultivar pero sí se presentaron diferencias entre cultivares. El número de cristales de oxalato de calcio por mm^2 varía entre 18 y 57 para los cultivares estudiados. Este trabajo hace una importante contribución a la difícil tarea de diferenciar cultivares de nopal u otras especies de cactáceas en una forma sencilla, mediante la determinación de la densidad de cristales de oxalato de calcio presentes.

ABSTRACT

Recent studies have demonstrated differences in the type of calcium oxalate crystals among Cactaceae subfamilies and suggest the possibility of using the differences/similarities of calcium oxalate crystals to characterize species of this family. In this study, differences in the number of calcium oxalate crystals were evaluated for 15 cactus pear cultivated species of *Opuntia* and *Nopalea* genus, as a potential tool to discriminate among cactus species. Distribution of oxalates within cladodes was also analyzed. Results showed that density of calcium oxalate crystals was homogeneous at each cladode, both at the base, middle and top. However, number of crystals did differ between cultivated species. Number of calcium crystals ranged from 18 up to 57 for the studied varieties. This work makes an important contribution to the difficult task of discriminating cactus pear varieties or other cactus species, by assessing the density of calcium oxalate crystals.

◆ Received 7 July 2007, Accepted 6 October 2007

Keywords: cactus pear cactus, calcium oxalates, druses, *Opuntia*, *Nopalea*.

INTRODUCCIÓN

El grupo de plantas conocidas como nopal comprende diversas especies de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, pertenecientes a la familia *Cactaceae*, la cual es originaria de América, donde se encuentra distribuida desde los 59° de latitud norte en Canadá, hasta los 52° latitud sur en La Patagonia, Argentina (Bravo y Sheinvar, 1995). La familia de las cactáceas comprende alrededor de 130 géneros, de los cuales *Opuntia* y *Nopalea* son considerados lo más importantes debido a su amplio uso (Valdéz, 2004). Se han realizado numerosos estudios sobre la composición química y anatomía de diversas especies del género *Opuntia* para caracterizarlas en función del grosor de sus tejidos, frecuencia de estomas, tipo de cristales de oxalato de calcio, análisis bromatológicos y determinación de pectinas (Castillo, 1993; Trejo, 2003; Goycoolea y Cárdenas, 2003; Tovar *et al.*, 2006) y, ocasionalmente, sobre aspectos funcionales del tejido fotosintético de estas plantas (Silva, 2001).

En las plantas del género *Opuntia*, el calcio es el principal constituyente mineral, se encuentra en forma de oxalatos de calcio o en forma libre. Esta sal llega a constituir del 8 al 50 % del peso seco (Rivera y Smith citados por Trachtetenberg y Mayer, 1982) y hasta el 85 % de las cenizas en ejemplares viejos (Bravo, 1978). Las plantas y animales producen ácido oxálico en su metabolismo. Los oxalatos derivados de este ácido pueden estar presentes como sales solubles de sodio y potasio o bien como precipitados de calcio en forma de oxalatos de calcio (Franceschi y Horner, 1980). Por muchos años, el ácido oxálico era considerado un producto final del metabolismo, y puesto que este ácido es potencialmente tóxico, la función de hacerlo inactivo, manteniendo bajos

niveles de solubilidad, fue prácticamente la única función atribuida a los cristales de oxalato de calcio (Franceschi y Loewus, 1995). Otros trabajos, como el de Lane (1994) probaron que los cristales de oxalato de calcio constituyen un almacenamiento de nutrientes estructuralmente importante. Estudios más recientes han demostrado que el ácido oxálico está sintetizado en respuesta a altos niveles de calcio en aquellas plantas que son capaces de acumular oxalatos de calcio (Keates *et al.*, 2000; Kostman *et al.*, 2001), como es el caso de las opuntias. Sin embargo, hasta la fecha, no hay un consenso en cuanto a la función que cumplen los depósitos de oxalatos de calcio en las plantas. Monje y Baran (2002) sugieren que la precipitación de oxalatos de calcio en los tejidos puede estar relacionada a aspectos fisiológicos de las plantas suculentas, particularmente con la retención de agua en sus tejidos. Dichos autores, al igual que Malainine *et al.* (2003) reportan diferentes tipos de cristales de oxalato de calcio: aquellos constituidos por weddellita, que presentan formas tetragonales y los que tienen forma de estrella con puntas agudas donde el biomineral presente es la whewellita y mencionan la posibilidad de caracterizar géneros o especies de esta familia a partir de sus similitudes en el tipo de estos cristales. En la presente investigación, se evalúan las diferencias no en el tipo, sino en el número, de cristales de oxalato de calcio de quince cultivares de nopal de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, como una característica que podría ser utilizada para discriminar entre géneros, especies o cultivares de nopal. Se analiza, también, la distribución de los oxalatos en los cladodios, comparando la densidad (número de cristales por mm^2) entre la parte superior, media y basal de los cladodios.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó con material vegetal colectado del banco de germoplasma de nopal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada en Marín, Nuevo León, México. La altitud es de 375 msnm y localiza a 25° 53' latitud norte y 100° 03' longitud oeste. Los cultivares utilizados fueron: Jalpa, Copena V1, Villanueva, Liso Forrajero, Pabellón, Copena F1, Milpa Alta, OE 3, Llera, Tamazunchale, Morado T10, Cristalino, Burrón, Rojo Vigor, y Pelón (Cuadro 1). De estos, sólo los cultivares Llera y Tamazunchale pertenecen al género *Nopalea* y el resto pertenecen al género *Opuntia*.

Cuadro 1. Dimensiones promedio y valores de desviación estándar en paréntesis de los cladodios utilizados.

Table 1. Average size and standard deviation values for the cladodes.

Nombre Científico	Cultivar	Largo cladodio (cm)	Ancho cladodio (cm)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Jalpa	39.70 (4.36)	18.37 (1.80)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Copena V1	31.25 (2.75)	18.25 (0.96)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Villanueva	43.50 (3.11)	23.50 (4.65)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Liso forrajero	32.90 (2.76)	22.50 (1.29)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Pabellón	37.50 (4.51)	21.07 (2.75)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Copena F1	46.75 (3.50)	19.50 (2.08)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Milpa alta	34.25 (0.96)	17.75 (0.96)
<i>Opuntia undulata</i> Griffiths	OE3	32.50 (2.89)	26.00 (1.81)
<i>Nopalea</i> spp	Llera	25.62 (1.25)	12.00 (0.82)
<i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm - Dyck	Tamazunchale	23.25 (5.85)	13.00 (1.15)
<i>Opuntia</i> spp	Morado T10	38.25 (1.71)	21.00 (2.0)
<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar	Cristalino	40.25 (5.56)	22.50 (2.08)
<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar	Burrona	34.50 (4.20)	17.75 (3.59)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Rojo vigor	37.25 (3.30)	18.00 (0.82)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Local	31.25 (3.59)	20.00 (1.83)

Las determinaciones del número de cristales de oxalato de calcio por mm² se realizaron utilizando cuatro cladodios de cada cultivar como repeticiones. Todos los cladodios, cuyas dimensiones se presentan en el Cuadro 1, fueron de tercer piso, con exposición norte, de entre 8 y 10 meses de edad y procedieron de plantas independientes.

Se obtuvieron muestras de 4 cm^2 (bloques de $2 \times 2 \text{ cm}$) de la parte superior, media y basal de cada cladodio y se hicieron comparaciones entre cultivares y entre la concentración de los cristales en el cladodio de cada cultivar.

Para la observación y cuantificación de los cristales de oxalato de calcio se hicieron cortes transversales a mano, lo más finamente posible, colocándolos en etanol al 70 % y posteriormente en hidróxido de potasio al 10 % para ser observados al microscopio (objetivo 10 X) promediándose 4 campos por cultivar para cada posición en el cladodio (superior, media y basal).

Mediante Análisis de Varianza, se comparó la densidad de cristales de oxalato de calcio entre la parte superior, media y basal de los cladodios de cada cultivar ($n=4$) para determinar si éstos se concentran, mayormente, en alguna parte específica del cladodio.

Asimismo, se utilizó el análisis de varianza ($n=12$) para comparar la densidad de cristales de oxalato de calcio entre cultivares. La comparación de las medias se llevó a cabo mediante la prueba de Tukey ($P=0.05$) (Steel y Torrie, 1980). Todos los procedimientos estadísticos que se aplicaron fueron efectuados con el paquete estadístico SPSS (por sus siglas en inglés: Statistical Package for Social Sciences, versión estándar 10.0 para Windows, SPSS Inc., Chicago, IL).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El método utilizado para la observación de los cristales de oxalato de calcio resultó efectivo, ya que permitió la diferenciación y conteo de éstos a través del microscopio óptico.

No hubo diferencias en la densidad de cristales de oxalato de calcio entre la parte superior, media y basal de los cladodios de ninguno de los cultivares ($n=4$, $P>0.01$). Estos resultados permiten reducir el número de muestras a tomar en futuras investigaciones, para la cuantificación del número de cristales de oxalato de calcio, ya que se comprueba que es innecesario muestrear diferentes partes del cladodio.

La cantidad de cristales de oxalatos de calcio por mm^2 (Cuadro 2) sí resultó diferente entre cultivares ($n=12$; $P< 0.0001$), conformándose 7 grupos de acuerdo a los resultados de la prueba de Tukey ($P=0.05$) (Figura 1).

Cuadro 2. Número de cristales de oxalatos de calcio por mm² en tres posiciones del cladodio: superior, media y basal. El número entre paréntesis corresponde a la desviación estándar.

Table 2. Number of calcium oxalate crystals per mm² for each different position in the cladode: top, middle, and basal. Numbers in parenthesis are standard deviation.

Nombre Científico	Cultivar	Número de Drusas			
		Superior (n = 4)	Media (n = 4)	Basal (n = 4)	Promedio (n = 12)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Jalpa	26.25 (3.59)	23.5 (6.40)	23 (2.94)	24.25 (2.99)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Copena V1	19.5 (6.14)	18.25 (3.86)	17.25 (2.75)	18.33 (3.09)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Villanueva	16.5 (1.91)	18.25 (1.89)	18 (4.08)	17.58 (2.20)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Liso forrajero	50.25 (7.14)	53.75 (8.46)	45 (4.08)	49.66 (5.86)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Pabellón	60.5 (13.28)	54.25 (6.85)	55.75 (8.66)	56.83 (6.01)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Copena F1	23 (1.83)	23 (2.16)	26.5 (1.29)	24.16 (0.88)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Milpa alta	35.25 (5.80)	34.75 (13.05)	38.75 (12.28)	36.25 (10.16)
<i>Opuntia undulata</i> Griffiths	OE3	44 (4.69)	46.75 (4.35)	45.25 (2.5)	45.33 (2.23)
<i>Nopalea</i> spp	Llera	43 (3.37)	45.5 (2.08)	49.25 (3.3)	45.92 (1.81)
<i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm - Dyck	Tamazunchale	42.75 (2.87)	44 (4.16)	42 (1.41)	42.91 (2.19)
<i>Opuntia</i> spp	Morado T10	27.5 (1.73)	24 (4.97)	24.25 (5.44)	25.25 (3.40)
<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar	Cristalino	31.5 (3.11)	31.25 (3.20)	27.75 (5.56)	30.16 (2.76)
<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar	Burrona	31.75 (4.72)	23.75 (6.24)	23.75 (3.30)	26.41 (3.59)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Rojo vigor	27.75 (5.06)	28 (6.78)	23.75 (4.35)	26.5 (4.72)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Local	25.5 (1.0)	26.75 (4.43)	20 (1.63)	24.08 (1.67)

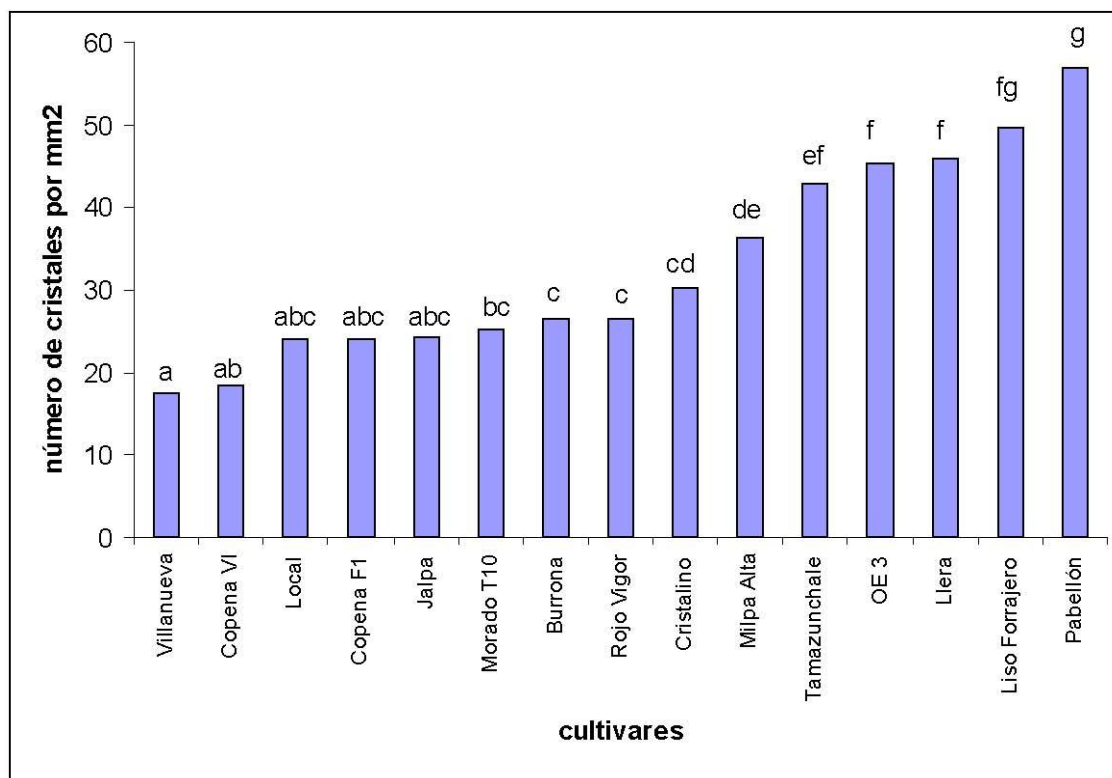


Figura 1. Número de cristales de oxalato de calcio por mm² para los cultivares de nopal estudiados.

¹ Letras diferentes en columnas indican diferencias altamente significativas entre cultivares (Tukey P=0.05).

Figure 1. Number of calcium oxalate crystals per mm² for the studied cactus pear varieties.

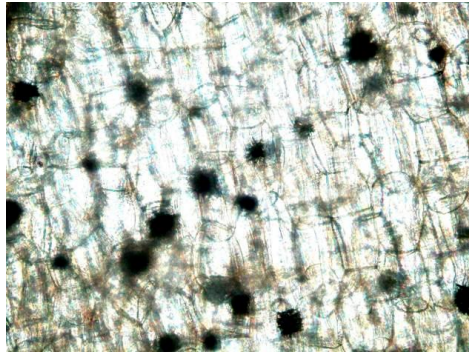
¹ Different letters in columns are for statistically significant differences between varieties (Tukey P=0.05).

La Figura 1 muestra cómo el número de cristales de oxalato de calcio varió entre 18 y 57 mm⁻² para los cultivares estudiados. Los cultivares Llera y Tamazunchale, correspondientes al género *Nopalea* (*Nopalea spp.* y *Nopalea cochenillifera*, respectivamente), no parecen diferenciarse en esta característica de otros cultivares del género *Opuntia*, ya que resultaron estadísticamente iguales que Milpa Alta, OE 3 y Liso Forrajero. Contrariamente, algunos cultivares, aún cuando pertenecientes a la misma

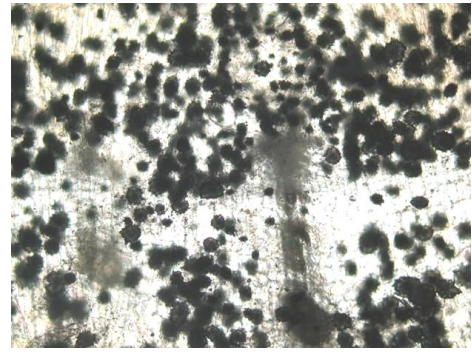
especie (*Opuntia ficus-indica*), mostraron densidades estadísticamente diferentes, como es el caso de los cultivares Pabellón y Villanueva; el primero de ellos con la más alta densidad promedio de cristales de oxalato de calcio (56.83 mm^{-2}) y el segundo con la menor densidad promedio (17.58 mm^{-2}) de los cultivares evaluados (Figura 2).

Existen muy pocos trabajos que reporten una cuantificación del número de cristales de oxalato de calcio en los cladodios del nopal, a pesar de que éste ha sido mencionado por numerosos autores como una característica importante a determinar en cactáceas (Trachtenberg y Mayer, 1982; citados por Romero-López *et al.*, 2006 y por Flores-Hernández *et al.*, 2006). Entre esos trabajos está el de Trejo (2003) quien, en un estudio realizado en México, en el municipio de Colón, Querétaro, reporta densidades de 10 ± 7 drusas mm^{-2} para *Opuntia ficus indica*, cultivares Milpa Alta y Rubra. En general, los valores de densidad de drusas encontrados en el presente trabajo son mayores que los reportados por Trejo, si bien dicho autor no presenta, por separado, los valores obtenidos para cada una de los dos cultivares estudiados.

Este trabajo contribuye a la posibilidad de diferenciar cultivares de nopal u otras especies de cactáceas en una forma sencilla, mediante la determinación de la densidad de cristales de oxalato de calcio presentes. Para corroborar esto será necesario repetir las determinaciones aquí realizadas con los mismos cultivares pero provenientes de otras localidades que exhiban diferentes condiciones edáficas y en el grado de aridez.



A) 10 x



B) 10 x

Figura 2. Densidad de cristales de oxalato de calcio en los cultivares Villanueva (A) y Pabellón (B).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Tecnológico de Linares el apoyo por beca comisión para realizar estudios doctorales al primer autor de los cuales emana esta investigación. Así mismo, se agradece al CONACYT por el apoyo de beca brindado en el transcurso de esta investigación.

LITERATURA CITADA

Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Volumen 1. 2a Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 743 p.

Bravo-Hollis, H. y L. Sheinvar. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. CONACYT-Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 223 p.

- Castillo, V. J. 1993. Relación entre algunas características anatómicas del nopal (*Opuntia spp*) y el establecimiento de la cochinilla (*Dactylopius coccus C*). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Conde, L.F. 1975. Anatomical comparisons of five species of *Opuntia* (Cactaceae). *Annals of Missouri Botanical Garden*. 62:424-473.
- Esau, K. 1976. Anatomía Vegetal. 1a edición. Ediciones Omega, S. A. Casanova. Barcelona.
- Flores-Hernández, A., B. Murillo, E. Rueda, J. Salazar, J.L. García y E. Troyo. 2006. Reproducción de cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homóptera: Dactylopiidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77:97-102.
- Franceschi, V. R. y H.T. Horner Jr. 1980. Calcium oxalate crystals in plants. *Bot. Rev.* 46(4):361-427.
- Franceschi, V. R y F.A. Loewus. 1995. Oxalate biosynthesis and function in plants. In: Khan, S.R. (ed). *Calcium Oxalate in Biological Systems*. CRC Press, FL. pp. 113-130.
- Goycoolea, F. y A. Cárdenas. 2003. Pectins from *Opuntia, spp.*: a short review. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. pp. 17-23.
- Keates, S.A., N.M. Tarlyn, F.A. Loewus y V.R. Franceschi. 2000. L-ascorbic acid and L-galactose as sources of oxalic acid and calcium oxalate in *Pistia stratiotes*. *Phytochemistry* 53:433-440
- Kostman, T.A., N. Tarlyn, F. Loewus y V. Franceschi. 2001. Biosynthesis of L-ascorbic acid and conversion of carbons 1 and 2 of L-ascorbic acid to oxalic acid occurs within individual calcium oxalate crystal idioblasts. *Plant Physiol* 125:634-640.

- Malainine, M.E., A. Dufresne, D. Dupeyre, M.R. Vignon y M. Mahrouz. 2003. First evidence for the presence of weddellite crystallites in *Opuntia ficus-indica* parenchyma. *Z. Naturforsch.* (58):821-816.
- Mauseth, J. D. 1984. Introduction to Cactus Anatomy. *Cactus and Succulent Journal* (U.S.) Vol. 56:33-37 y 131-135.
- Monje, P. V. y E.J. Baran. 2002. Characterization of calcium oxalates generated as biominerals in Cacti. *Plant Physiology* Vol.128:707-713
- Romero-López, R., A. Flores, E. Santamaría, J. Salazar, M. Ramírez y A. Pedroza. 2006. Identificación, Biología y Adaptación de la Cochinilla Silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homoptera:Dactylopiidae) a las Condiciones Ambientales de Bermejillo, Durango. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas* 5:41-48.
- Silva, H, E. Acevedo, y P. Silva. 2001. Anatomía del tejido fotosintético de diez taxa de *Opuntia* establecidos en el secano árido mediterráneo de Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* Vol.74(2):341-351.
- Steel, R.G.D. y J.C. Torrie. 1980. *Principles and Procedures of Statistics*. 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Tovar, P.A., M. Pando-Moreno, H. González, R. Vázquez y M. Madrigal. 2006. Caracterización Química y Física de Quince Cultivares de Nopal de los Géneros *Opuntia* y *Nopalea*. *Bol. Nakari* 17(2):29-35.
- Trachtenberg, S. y M. Mayer. 1982. Mucilage cells, calcium oxalate crystals and soluble calcium in *Opuntia ficus-indica*. *Ann. Bot.* 50:549-557.

Trejo, P.J. 2003. Anatomía y análisis químico proximal de los cladodios de dos especies de *Opuntia*, hospedera y no hospedera, de la cochinilla de la grana (*Dactylopius coccus* Costa). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro.

Valdéz-Flores, C.A. 2004. Los nopales y la lucha contra la desertificación. En: Esparza-Frausto, Valdéz-Cepeda y Méndez-Gallegos (editores). El Nopal, tópicos de actualidad. Universidad Autónoma Chapingo (CRUCEN) y Colegio de Posgraduados (Campus San Luis Potosí). pp. 167-182.

CAPÍTULO 6

RELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN DE GRANA Y VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL HOSPEDERO

RELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN DE GRANA Y VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL HOSPEDERO

Resumen

Diversos estudios han demostrado que la grana fina (*Dactylopius coccus* Costa) no se establece ni desarrolla en todas las formas de nopal, ni aún en todos los cultivares de una misma especie. Sin embargo, a la fecha, no existen estudios que determinen a qué responde esa asociación del insecto con un reducido número de cultivares de nopal. Esta investigación fue dirigida a responder esa interrogante. En el presente trabajo se analizaron diversos aspectos sobre la relación huésped – grana fina. Durante dos ciclos de cultivo se comprobó que existen cultivares donde la infestación de la grana no prosperó, presentándose una nula producción. Los cultivares Liso Forrajero, Pabellón y Local fueron los que presentaron nula infestación, mientras que el cultivar Villanueva presentó la mejor respuesta al establecimiento y/o producción de grana fina en base a los parámetros evaluados (número de insectos, peso fresco y peso seco de los mismos). La información obtenida de los análisis físicos (número de estomas, grosor de cutícula, grosor de epidermis, número de cristales de oxalato de calcio, número de areolas, así como largo y ancho de cladodios) y químicos (macronutrientes, micronutrientes y metabolitos secundarios) realizados a los 15 cultivares se analizó mediante Stepwise y Análisis de Componentes Principales para tratar de identificar los factores asociados a la producción de grana. El primero de estos análisis permitió seleccionar seis de las variables que mejor explican la producción de grana, sin ser redundantes entre ellas. En el segundo análisis, se identificaron los dos ejes o componentes que explican casi un 80% de la variación y, en el gráfico fue posible identificar el largo del cladodio y el

contenido de potasio como los dos factores asociados positivamente a la producción de grana; mientras que la combinación de alto contenido de oxalatos de calcio, así como calcio en su forma soluble fueron las variables que presentaron una asociación negativa con la producción de grana.

6.1. Introducción

La preferencia y desarrollo (comportamiento) de los insectos herbívoros están fuertemente determinados por las características del hospedante, los enemigos naturales y la interacción tri-trófica entre planta, herbívoro y sus enemigos naturales (Weis y Abrahamson, 1985; Craig *et al.*, 1990). Las plantas pueden influir indirectamente sobre sus herbívoros controlando su crecimiento y desarrollo, incrementando su susceptibilidad a los parásitos y depredadores (Weis y Abrahamson, 1985; Clancy y Price, 1986) o bien produciendo sustancias volátiles para atraer a enemigos naturales del herbívoro (De Moraes *et al.*, 1998).

La relación planta hospedante-insecto ha sido estudiada en una gran variedad y número de especies, en la mayoría de los casos enfocado a incrementar la resistencia de los cultivos a cierta plaga o bien como medio de biocontrol para especies invasoras. Existe un rango muy amplio de las relaciones que pueden encontrarse entre insecto y planta hospedante, desde casos como la mosca blanca del camote (*Bemisia tabaci* Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae), uno de los insectos plaga considerados más dañino por el número de cultivos que ataca, que se hospeda y alimenta (506 especies de plantas, pertenecientes a 74 familias) (Abou-Fakhr *et al.*, 2000), hasta otros donde la relación parece ser inter-específica como el reportado para *Heteropsylla cubana* Crawford (Homoptera: Psyllidae) de la que se ha reportado que puede distinguir, a la distancia,

entre las diferentes variedades de *Leucaena* y ha demostrado preferencia por *L. leucocephala* en número significativamente mayor que por *L. pallida* o por el híbrido de éstas (Finlay-Doney y Walter, 2005).

Otros estudios reportan relaciones hospedante-insecto a nivel de “biotipo” del insecto, dentro de la misma especie, como es el reportado recientemente para *Bemisia tabaci* Gennadius, donde el biotipo B (no indígena) tiene presumiblemente un rango de hospedantes mucho más amplio que algunos de los biotipos indígenas (Lian-Sheng *et al.*, 2006). De manera similar, se ha reportado la especificidad de dos “biotipos” de *Dactylopius opuntiae* con dos especies de *Opuntia*: *O. stricta* y *O. ficus-indica* (Volchansky *et al.*, 1999).

La mayoría de los estudios realizados sobre insectos herbívoros demuestran la fuerte influencia ejercida por las plantas en la población del herbívoro en cuestión, ya sea por interacciones físicas o químicas (Price *et al.*, 1980). Diversas características de las plantas pueden matar o afectar negativamente el crecimiento de un herbívoro, tales como el contenido de un nutriente en los tejidos (Kytö *et al.*, 1996), la producción de metabolitos secundarios (Herms y Mattson, 1992) o la existencia de barreras físicas que impidan o dificulten su alimentación (Fernández, 1994).

En capítulos anteriores de esta tesis quedó demostrado que no todas las especies, ni aún cultivares de una misma especie, son hospedantes adecuados para la grana fina (*Dactylopius coccus* Costa). En el presente estudio, se evalúa la correlación entre el grado de infestación del insecto -expresada ésta como peso de la misma y número de insectos- y algunas características físicas y químicas de cladodios de quince cultivares de nopal, que pudieran estar determinando su susceptibilidad como hospedantes para el insecto.

6.2. Metodología

La producción de grana fue determinada para 15 cultivares de nopal (Cuadro 1), en dos ciclos consecutivos, establecidos a finales del año 2004 e inicios de 2005. Las variables de respuesta analizadas en cada ciclo fueron: peso fresco de grana (g), peso seco de grana (g) y número de insectos. El material vegetal utilizado fue proveniente del banco de germoplasma de nopal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada en Marín, Nuevo León, México. La altitud es de 375 msnm (25° 53' N y 100° 03' O). La metodología utilizada para evaluar la producción se presenta de manera detallada en el Capítulo 3 de esta tesis.

A la par que se evaluó la producción, se analizaron las siguientes características morfológicas de los cladodios de nopal: largo y ancho de los cladodios, número de areolas (dm^2), grosor de cutícula (μm), grosor de epidermis (μm), número de estomas (mm^2) y número de cristales de oxalato de calcio (mm^2); además de determinarse la concentración de diez macro y micronutrientes, así como la presencia de determinados metabolitos (alcaloides, cumarinas, esteroides, triterpenos, flavonoides, OH fenólicos, instauraciones, carbohidratos, esteroides y saponinas) mediante pruebas coloridas cualitativas.

Cuadro 1. Material vegetativo utilizado en este estudio.

Nombre científico	Cultivar
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Millar	Jalpa
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Millar	Copena V1
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Millar	Villanueva
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Liso forrajero
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Pabellón
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Copena F1
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Milpa alta
<i>Opuntia undulata</i> Griffiths	Oreja de elefante 3
<i>Nopalea</i> spp	Liera
<i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm – Dyck	Tamazunchale
<i>Opuntia</i> spp	Morado T – 10
<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar	Nopal cristalino
<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar	Burrona
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Rojo vigor
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Local

6.3. Determinación de macro y micronutrientes.

Las determinaciones de nutrientes minerales fueron realizadas utilizando cuatro cladodios de cada cultivar, como repeticiones; los cladodios fueron de tercer piso, con exposición norte, de entre 8 y 10 meses de edad y procedieron de plantas independientes, sin fructificación. Se obtuvieron muestras de la parte superior, media y basal de cada cladodio empleando un sacabocados No. 9 de 14 mm de diámetro. Posteriormente, las muestras fueron secadas en estufa (Precision GCA Gravity Convection Oven, economy model 16EG) a 70°C durante 72 h, molidas en un molino tipo willy (Thomas Scientific 800–345–2100, modelo 3379–L10), a 2 mm y homogenizadas. Posteriormente, las muestras fueron incineradas en una mufla (FELISA modelo 330) a 550°C durante 4 horas para ser llevadas a cenizas, las cuales se filtraron y aforaron a 25 ml con agua destilada. Las concentraciones en micromoles del nutriente por gramos de peso seco de la muestra ($\mu\text{mol g}^{-1}$) de macro (Ca, Mg, K y Na) y micro nutrimentos (Cu, Fe, Mn y Zn) se cuantificaron mediante espectrometría de absorción

atómica (Varian Spectra – 200). La determinación ($\mu\text{mol g}^{-1}$) de P se estimó por colorimetría (Espectrofotómetro UV/VIS Perkin – Elmer Lambda 1a) y el contenido de N (%) por el método de Kjeldahl utilizando un destilador Foss Tecator modelo 2100 y un Digestor Foss Tecator modelo 2006, siguiendo los procedimientos descritos por Pérez (1997) y Serna (1998). Los valores promedio para los macro y micronutrientes analizados se presentan en el Anexo 3.

6.4. Caracterización anatómica de los cladodios

Largo y ancho de los cladodios.- Las dimensiones de los cladodios fueron tomadas al centímetro, utilizando para ello una cinta métrica común. Para la observación y cuantificación del número de areolas (dm^2), grosor de cutícula (μm), grosor de epidermis (μm), número de estomas (mm^2) y número de cristales de oxalato de calcio (mm^2) se hicieron cortes transversales a mano, lo más finamente posible, colocándolos en etanol al 70 % y posteriormente en hidróxido de potasio al 10 % para ser observados al microscopio (objetivo 10 X) promediándose 4 campos por cultivar, para cada posición en el cladodio (superior, media y basal).

Los valores promedio para cada variable analizada se presentan en el Anexo 2.

Para la identificación de alcaloides, cumarinas, esteroides, triterpenos, flavonoides, OH fenólicos, instauraciones, carbohidratos, esteroides y saponinas, como posibles responsables de las diferencias en la infestación del nopal por el insecto hospedante, se realizaron pruebas coloridas cualitativas de presencia-ausencia del metabolito. Para ello, se realizó el tamizaje fitoquímico de los 15 cultivares de nopal. La detección de los metabolitos secundarios se realizó mediante reactivos de identificación específicos para cada familia de compuestos químicos. Los extractos se prepararon secando y moliendo

las muestras, dos gramos de cada muestra se colocaron en frascos de 10 ml, agregándoles 5 ml de metanol para la extracción, dejándolo por espacio de 48 horas, siendo este extracto el que se utilizó para realizar los diferentes ensayos mediante reacciones de identificación por la aparición de un determinado color o bien precipitados, para de esta manera determinar la presencia o ausencia de los metabolitos de interés para cada familia de compuestos químicos. En el caso de identificación negativa para los cultivares estudiados, se podría inferir que esos metabolitos no se encuentran en ese o en esos cultivares o bien que están en muy baja concentración.

6.5. Análisis estadísticos

La relación entre las características químicas y anatómicas del hospedante y las variables que muestran su susceptibilidad a la infestación de grana (producción) se evaluó mediante análisis de Stepwise y Análisis de Componentes Principales (ACP). El primero de estos análisis, permitió seleccionar, de entre todas las variables “candidatas” a explicar nuestra variable dependiente, en este caso la producción de grana, un subconjunto que resultara suficientemente explicativo, sin que las variables seleccionadas fuesen redundantes entre sí. Con el segundo análisis se evaluó si la varianza de los factores analizados podía ser explicada por uno o dos componentes o ejes, y cuáles de esos factores se asociaban más con los cultivares más productivos. El ACP es un método apropiado para extraer la información relevante de las variables originales creando nuevas variables llamadas componentes principales; la visualización de los puntos y líneas sobre los ejes, permite una apreciación más clara de la relación que guardan las variables estudiadas con la producción de grana. Entre las ventajas de este tipo de análisis están: i) simplificar posteriores análisis, que se harán a partir de un

menor número de variables que el original, ii) una representación gráfica de los individuos en dimensión reducida (generalmente, 1 o 2 ejes) y iii) examinar e interpretar las relaciones entre las variables (Grané, 2008).

6.6. Resultados y Discusión

Producción de grana

El análisis de los valores de producción obtenidos mostró que el cultivar Villanueva fue el que produjo el mayor número de insectos, así como el mayor peso fresco y peso seco de grana. En segundo lugar de producción sobresalió el cultivar Copena F1, mientras que los cultivares Liso Forrajero, Pabellón y Local presentaron nula infestación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de producción promedio de los dos ciclos de infestación para los quince cultivares de nopal.

Cultivar	Peso Fresco (g)	Peso Seco (g)	Numero de insectos
Jalpa	2.068 de ¹	0.877 de	53.770 d
Copena V1	2.996 c	1.137 c	84.480 c
Villanueva	5.538 a	1.943 a	190.731 a
Liso Forrajero	0.000 h	0.000 h	0.000 h
Pabellón	0.000 h	0.000 h	0.000 h
Copena F1	3.836 b	1.411 b	135.687 b
Milpa Alta	1.352 efg	0.681 ef	26.873 ef
Oreja de Elefante 3	0.686 gh	0.420 g	15.186 fg
Llera	1.493 def	0.755 def	42.207 de
Tamazunchale	2.033 de	0.906 de	47.250 de
Morado T10	2.125 d	0.913 cd	46.853 de
Cristalino	1.983 de	0.843 de	64.833 cd
Burrona	0.845 fg	0.531 fg	23.728 efg
Rojo Vigor	1.736 de	0.811 de	54.061 d
Local	0.000 h	0.000 h	0.000 h

¹ Letras diferentes en columnas indican diferencias altamente significativas entre cultivares (P=0.05) según la prueba de Tukey.

Macro y micro nutrientes

El análisis de varianza para micro y macro nutrientes presentó diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) entre los cultivares. En el análisis de la concentración de macro nutrientes se observó la conformación de grupos de cultivares que presentan concentraciones estadísticamente iguales (Tukey, $P = 0.05$) para cada nutriente. Así, por ejemplo, los cultivares Liso Forrajero, Burrón, Pabellón, Copena F1, Oreja de Elefante 3, Morado T10, Cristalino y Local presentaron iguales concentraciones de Ca (valores de 6880.49 – 8966.41 $\mu\text{mol g}^{-1}$).

En el caso de los macro nutrientes se distingue el cultivar Villanueva ya que fue el más alto en contenido de P (16.76 $\mu\text{mol g}^{-1}$), encontrándose también en el grupo de los cultivares con los valores más altos en Na (319.85 $\mu\text{mol g}^{-1}$) y K (3820.13 $\mu\text{mol g}^{-1}$). Villanueva también presenta, junto con Jalpa y Milpa Alta los valores más bajos en Ca (3804.86 $\mu\text{mol g}^{-1}$). Por otra parte los cultivares Liso Forrajero, Pabellón, Copena F1 y Liera presentaron los valores más altos en Mg (con valores desde 1102.28-1725.78 $\mu\text{mol g}^{-1}$). Encontrándose también Villanueva en el grupo que presenta los valores más bajos para este nutrimento (569.55-798.33 $\mu\text{mol g}^{-1}$). Con respecto al contenido de N, el cultivar Liso Forrajero presentó el mayor contenido (0.186 %) estando en ese grupo (con valores de 0.151-0.186 %) y Milpa Alta presentó el menor contenido (0.085 %) quedando ese grupo (con valores de 0.085-0.0131 %).

En la comparación de medias entre cultivares para la concentración de micro nutrientes se observó también la conformación de grupos de que presentan concentraciones estadísticamente iguales. Así, por ejemplo, el cultivar Villanueva, Jalpa, Tamazunchale y Morado T10 presentaron iguales concentraciones de Cu (con valores desde 0.471-0.696 $\mu\text{mol g}^{-1}$) siendo los más altos. En el caso de los micro nutrientes se distingue el

cultivar Cristalino ya que fue el más alto en Mn ($0.532 \mu\text{mol gps}^{-1}$), encontrándose también en el grupo de los cultivares con los valores mas bajos en Cu ($0.185 \mu\text{mol gps}^{-1}$), Fe ($0.845 \mu\text{mol gps}^{-1}$) y Zn ($0.382 \mu\text{mol gps}^{-1}$). El cultivar Llera, presentó los valores más altos en Fe ($2.155 \mu\text{mol gps}^{-1}$), y encontrándose también, en el grupo con más baja concentración de Cu ($0.180 \mu\text{mol gps}^{-1}$). El cultivar Jalpa sobresalió con los valores más altos de Zn ($2.337 \mu\text{mol gps}^{-1}$), pero encontrándose también en los grupos con los valores mas bajos en Mn ($0.415 \mu\text{mol gps}^{-1}$) y Fe ($0.640 \mu\text{mol gps}^{-1}$).

Pruebas coloridas cualitativas

Destaca la identificación de cumarinas, donde la prueba dio positivo sólo para los cultivares Liso Forrajero y Pabellón que son cultivares que no presentaron infestación de grana; sin embargo, en otros cultivares con muy baja o nula infestación de grana (Oreja de Elefante 3 y Local) no se detectó presencia de cumarinas. En el resto de los metabolitos secundarios analizados, los resultados fueron iguales para todos los cultivares.

Al realizar el análisis estadístico por medio de tablas de contingencia de Chi cuadrada para la presencia de cumarinas en los cultivares se observó diferencia altamente significativa ($P < 0.01$), ya que únicamente dos cultivares contenían este compuesto químico.

La densidad (número de cristales por mm^2) de cristales de oxalato de calcio no difirió ($n=4$, $P > 0.01$) entre la parte superior, media y basal de los cladodios de ninguno de los cultivares. Sin embargo, el número de cristales sí fue diferente entre cultivares ($P < 0.0001$). Los resultados de la prueba de Tukey ($P=0.05$) mostraron que el cultivar Pabellón presentó en promedio, el mayor número de oxalatos de calcio (56.83 mm^{-2})

seguido por el cultivar Liso Forrajero (49.66 mm^{-2}), mientras que el cultivar Villanueva presentó los valores más bajos (17.58 mm^{-2}).

En este trabajo se observa que el número de cristales de oxalato de calcio varió entre 18 y 57 mm^{-2} para los cultivares estudiados. Los cultivares Llera y Tamazunchale, correspondientes al género *Nopalea* (*Nopalea spp.* y *Nopalea cochenillifera*, respectivamente), no parecen diferenciarse en esta característica de otros cultivares del género *Opuntia*, ya que resultaron estadísticamente iguales que Milpa Alta, OE 3 y Liso Forrajero. Contrariamente, algunos cultivares, aún cuando pertenecientes a la misma especie (*Opuntia ficus-indica*), mostraron densidades estadísticamente diferentes, como es el caso de los cultivares Pabellón y Villanueva; el primero de ellos con la más alta densidad promedio de cristales de oxalato de calcio (56.83 mm^{-2}) y el segundo con la menor densidad promedio (17.58 mm^{-2}) de los cultivares evaluados.

En general, los valores de densidad de drusas encontrados en el presente trabajo son mayores que los reportados por Trejo (2003) en donde reporta densidades de 10 ± 7 drusas mm^{-2} para *Opuntia ficus indica*, cultivares Milpa Alta y Rubra aunque dicho autor no presenta por separado, los valores obtenidos para cada una de los dos cultivares estudiados. Aún con esto, existen muy pocos trabajos que reporten una cuantificación del número de cristales de oxalato de calcio en los cladodios del nopal, a pesar de que éste ha sido mencionado por numerosos autores como una característica importante a determinar en cactáceas (Trachtenberg y Mayer, 1982; citados por Romero-López *et al.*, 2006 y por Flores-Hernández *et al.*, 2006).

Estomas por mm² en cladodios

El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas para el número de estomas de los cladodios ($P < 0.0001$), y los resultados de la prueba de Tukey ($P = 0.05$) mostraron que el cultivar Oreja de elefante 3 y Copena F1 presentaron el mayor número de estomas, (ambos 44.00 mm^{-2}), mientras que el cultivar Tamazunchale presentó los valores más bajos (18.58 mm^{-2}). Los demás cultivares presentan valores intermedios entre éstos.

Grosor de cutícula (μm) de los cladodios evaluados

El grosor de cutícula varió ($P < 0.0001$) entre cultivares. En los resultados de la prueba de Tukey ($P = 0.05$) se encontró que el cultivar Tamazunchale presentó el mayor grosor de cutícula ($14.08 \mu\text{m}$) mientras que el cultivar Llera presentó los valores más bajos ($7.83 \mu\text{m}$) los demás cultivares presentaron valores intermedios entre estos dos.

Grosor de epidermis (μm) de los 15 cultivares

Para el grosor de epidermis se encontró diferencia significativa ($P < 0.0001$), entre cultivares. Los resultados de la prueba de Tukey ($P = 0.05$) indicaron que el cultivar Tamazunchale presentó mayor grosor de epidermis ($13.08 \mu\text{m}$) mientras que el cultivar Llera presentó los valores más bajos ($10.00 \mu\text{m}$) los demás cultivares presentaron valores intermedios entre éstos.

Areolas por dm²

El número de areolas por dm² fue diferente entre los cultivares ($P > F = 0.0001$). La prueba de Tukey ($P = 0.05$) mostró que el cultivar Milpa Alta presentó el mayor número de areolas (11.43 dm⁻²) mientras que el cultivar Oreja de Elefante 3 presentó el menor número de areolas (4.2574) por dm².

Largo y ancho de cladodios (cm)

El largo del cladodio difirió entre cultivares ($P > F = 0.0001$) y la prueba de Tukey ($P = 0.05$) indicó que el cultivar Copena F1 es más largo que los demás (46.75 cm) y el cultivar Tamazunchale presentó la menor longitud (23.25 cm).

Para la variable ancho del cladodio también se encontraron diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) entre cultivares y la prueba de Tukey ($P = 0.05$) mostró que el cultivar Oreja de Elefante 3 fue el más ancho (23.50 cm) y el cultivar Llera presentó el menor valor para esta variable (12.00 cm). Los demás cultivares presentaron para las variables largo y ancho, valores intermedios entre los anteriormente mencionados.

Relación de las variables físicas y químicas de los cladodios con la producción de grana

Una vez determinadas todas las variables, así como la producción de grana, se procedió a analizar los datos mediante el método de selección de variables "Stepwise" en el modelo de Regresión Lineal General. Los resultados de este análisis se presentan en el Cuadro 3, donde se puede observar que en el modelo 7 se tienen valores aceptables de r^2 ajustada (0.748), por lo que se seleccionaron las variables que involucra dicho modelo (cristales de oxalato de calcio, calcio disuelto, largo del cladodio, nitrógeno, cumarinas, zinc y potasio).

Cuadro 3.- Resumen del modelo ^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.603(a)	.363	.352	1.20174
2	.711(b)	.506	.488	1.06807
3	.771(c)	.595	.573	.97587
4	.804(d)	.647	.621	.91889
5	.825(e)	.680	.651	.88265
6	.853(f)	.727	.696	.82305
7	.882(g)	.778	.748	.74976

a Predictors: (Constant), oxalatos

b Predictors: (Constant), oxalatos, ca

c Predictors: (Constant), oxalatos, ca, largo

d Predictors: (Constant), oxalatos, ca, largo, n

e Predictors: (Constant), oxalatos, ca, largo, n, cumarinas

f Predictors: (Constant), oxalatos, ca, largo, n, cumarinas, zn

g Predictors: (Constant), oxalatos, ca, largo, n, cumarinas, zn, k

El Análisis de Componentes Principales (ACP) se realizó con las siete variables seleccionadas. Los resultados de este análisis (Cuadro 4) muestran que el 2° componente explica el 79.4% de la varianza, por lo que se procedió a graficarlo para analizar la relación entre dichas variables y los cultivares en estudio.

Cuadro 4. Resumen del ACP

Ejes	1	2	3	4	Varianza Total
Eigenvalues	.527	.267	.172	.027	1.000
Porcentaje acumulado de la varianza	52.72	79.4	96.6	99.3	
Suma de todos los eigenvalues					1.000

El gráfico resultante (Figura 1) nos permite observar que los cultivares Villanueva, Copena V1 y Copena F1, que fueron los tres cultivares con las más altas producciones de grana fresca (5.54, 3.0 y 3.84 gr por cladodio), se encuentran concentrados, al lado derecho del eje 1, en la parte inferior de éste y asociados más directamente con las variables largo de cladodio y contenido de potasio.

En el cuadrante opuesto, se encuentran los cultivares Pabellón, Liso Forrajero y Oreja de Elefante 3 que tuvieron nula o muy baja producción (0, 0, y 0.64 gr por cladodio), asociados a oxalatos de calcio y calcio disuelto. Estos tres cultivares tuvieron, en efecto, altos contenidos de oxalatos de calcio así como de calcio disuelto. Es notorio que aquellos cultivares que presentaron alto contenido de sólo una de estas variables (ya sea oxalatos de calcio o calcio disuelto), como es el caso de los cultivares Morado T10 y Burrón no presentaron producciones tan bajas. La única excepción fue el cultivar Local, ya que sin presentar altos contenidos de oxalatos, ni de calcio soluble, tuvo nula producción de grana.

Por tanto, podemos inferir que a mayor número de cristales de oxalato de calcio y concentración de calcio soluble se presenta nula o baja producción de grana, mientras que a medida que aumenta la concentración de potasio y el largo del cladodio, aumenta la producción.

Otras variables como el zinc, cumarinas y nitrógeno están relacionadas positivamente con la producción de grana pero en menor medida que el potasio y largo del cladodio.

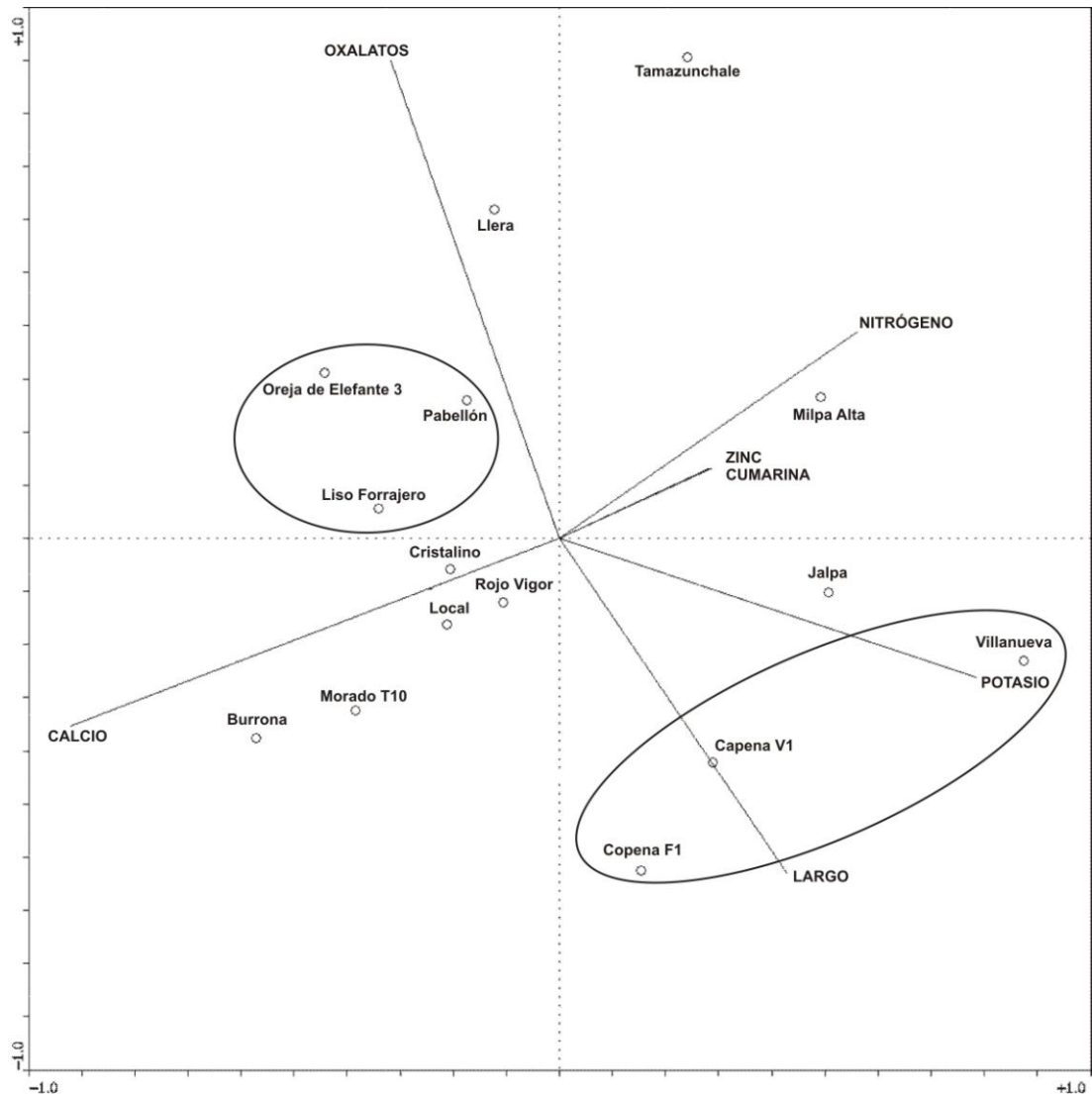


Figura 1. Gráfico resultante del Análisis de Componentes Principales donde se observa la relación de las variables físicas y químicas de los cladodios de nopal con los cultivares estudiados.

6.7. Conclusiones

Los resultados aquí obtenidos indican que la presencia de cristales de oxalato de calcio aunados a altos contenidos de calcio disuelto, en los cladodios de nopal, limita la infestación de grana fina y por ende la producción de ésta. Sin embargo, el cultivar

Local aún cuando no presentó alta densidad de oxalatos de calcio, tuvo nula infestación, por lo que los resultados no se pueden considerar concluyentes.

Además, los cultivares Pabellón y Liso Forrajero que presentaron nula infestación fueron los únicos que dieron positivo para cumarinas al realizar las pruebas coloridas cualitativas. Esto parecería indicar que la presencia de cumarinas inhibe la infestación de la grana pero, nuevamente, el cultivar Local es el que pone en duda esta posibilidad ya que no se detectó presencia de cumarinas en él, aún cuando tuvo una producción nula.

6.8. Literatura citada

Abou-Fakhr Hammad E.M., N.M. Nemer, Z.K. Haw1 and L.T. Hanna. 2000. Responses of the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*, to the chinaberry tree (*Melia azedarach* L.) and its extracts. *Annals of Applied Biology* 137:79-88.

Clancy K.M. & Price P.W. 1986 Temporal variation in threetrophic– level interactions among willows, sawflies, and parasites. *Ecology* 67: 1601–7.

Craig T.P., Itami J.K. & Price P.W. 1990 The window of vulnerability of a shoot-galling sawfly to attack by a parasitoid. *Ecology* 71: 1471–82.

De Moraes C.M., Lewis W.J., Paré P.W., Alborn H.T. & Tumlinson J.H. 1998 Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids. *Nature* 393: 570–3.

Fernandes, G.W. 1994 Plant mechanical defenses against insect herbivory. *Revista Brasileira de Entomología*. 38: 421–433.

Finlay M-Doney and G.H. Walter. 2005. Discrimination among host plants (*Leucaena* species and accessions) by the psyllid pest *Heteropsylla cubana* and implications for understanding resistance. *Agricultural and Forest Entomology* 7: 153–160.

- Flores-Hernández, A., B. Murillo, E. Rueda, J. Salazar, J.L. García y E. Troyo. 2006. Reproducción de cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homóptera: Dactylopiidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 97-102.
- Grané, A. 2008. Diplomado en Estadística. Departamento de Estadística. Universidad Carlos III de Madrid.
halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/agrane/ficheros_docencia/MULTIVARIANT/
- Harms D.A. & Mattson W.J. 1992. The dilemma of plants: To grow or defend. *The Quarterly Review of Biology* 67: 283–352.
- Kytö M., Niemelä P. & Larson S. 1996 Insects on trees: Population and individual response to fertilization. *Oikos* 75: 148–59.
- Lian-Sheng Zang, Wei-Qiang Chen & Shu-Sheng Liu. 2006. Comparison of performance on different host plants between the B biotype and a non-B biotype of *Bemisia tabaci* from Zhejiang, China. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 121 : 221–227.
- Pérez, R.M.A. 1997. Valor nutricional foliar de tres especies de *Acacia*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 97 p.
- Price P.W., Bouton C.E., Gross P., McPheron B.A., Thompson J.N. & Weis A.E. 1980. Interactions among three trophic levels: Influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annu. Rev.Ecol. Syst.* 11: 41–65.

- Romero-López, R., A. Flores, E. Santamaría, J. Salazar, M. Ramírez y A. Pedroza. 2006. Identificación, Biología y Adaptación de la Cochinilla Silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homoptera:Dactylopiidae) a las Condiciones Ambientales de Bermejillo, Durango. Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas 5: 41-48.
- Serna, T.G. 1998. Perfil de la concentración mineral en los zacates klein (*Panicum coloratum*), bermuda-NK37 (*Cynodon dactylon*), pretoria (*Andropogon annulatum*) y buffel (*Cenchrus ciliaris*), durante el otoño e invierno en Linares, Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 62 p.
- Trejo, P.J. 2003. Anatomía y análisis químico proximal de los cladodios de dos especies de *Opuntia*, hospedera y no hospedera, de la cochinilla de la grana (*Dactylopius coccus* Costa). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Volchansky, C.R., J.H. Hoffmann y H.G. Zimmermann. 1999. Host-plant affinities of two biotypes of *Dactylopius opuntiae* (Homoptera: Dactylopiidae): enhanced prospects for biological control of *Opuntia stricta* (Cactaceae) in South Africa. Journal of Applied Ecology 36: 85-91.
- Weis A.E. & Abrahamson W.G. (1985) Potential selective pressures by parasitoids on a plant–herbivore interaction. *Ecology* **66**: 1261–9.

CAPÍTULO 7

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

7.1. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

A manera de resumen de los capítulos anteriores, se presenta aquí una discusión y conclusiones generales de los resultados emanados de este trabajo.

Se comprobó, con base en dos ciclos de cultivo, que tres (Pabellón, Liso Forrajero y Local) de los 15 de los cultivares evaluados, son resistentes a la infestación de grana fina. En contraparte, el cultivar Villanueva presentó la mejor respuesta al establecimiento y/o producción de grana en función de los parámetros evaluados (número de insectos, peso fresco y peso seco de los mismos), tanto para cada ciclo en lo individual, como en promedio.

De los resultados obtenidos, se concluye que los cultivares Villanueva y Copena F1 presentan una buena capacidad para el establecimiento y desarrollo del insecto. La producción de grana obtenida con estos cultivares estuvo por encima de la reportada en la literatura, como Santibáñez (1992) quien señala un rendimiento promedio de 3g de grana viva por penca en los valles centrales de Oaxaca, o Robles (2002) que reporta 2.80g por penca en el cultivar Blanca San José, aún cuando Téllez *et al.* (2002) mencionan rendimientos de 10g y 8g a una temperatura de 30 y 20°C respectivamente, utilizando el cultivar verdulero Atlíxco de *Opuntia – ficus indica* en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Los cultivares evaluados presentaron concentraciones diferentes en todos los macro y micro nutrientes analizados.

Magallanes-Quintanar *et al.* (2004) mencionan que las interacciones entre nutrientes evidencian antagonismo entre Ca y N, Mg y N y K y P; y una interacción positiva entre Ca y Mg. En este estudio, efectivamente, se encontró una correlación positiva altamente significativa (0.493**) entre Ca y Mg; sin embargo, a diferencia de los reportado por dichos autores, la correlación para P y K, detectada en este estudio, también fue positiva (0.263*) y significativa.

La información sobre la correlación entre los contenidos de macro y micro nutrientes y la producción de grana puede ser de gran utilidad para seleccionar los cladodios que se utilizarán como hospedantes de acuerdo con la edad en la cual tengan el contenido óptimo de nutrientes que la grana requiere para un buen desarrollo y lograr una buena producción.

Los únicos cultivares que dieron positivo para la presencia de cumarinas, al realizar el análisis de pruebas coloridas cualitativas, fueron Pabellón y Liso Forrajero, cultivares donde la infestación de grana fue nula. Sin embargo, hubo otros cultivares con nula o muy baja infestación en los que no se detectó presencia de estos metabolitos secundarios, por lo que se descarta la presencia de éstos como característica exclusiva que confiere resistencia al cladodio contra la infestación de grana.

Se evaluaron también las diferencias en el número de cristales de oxalato de calcio o drusas de los quince cultivares de nopal de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, como una característica que podría ser utilizada para discriminar entre géneros, especies o cultivares de nopal y se analizó, asimismo, la distribución de los oxalatos en los cladodios.

El número de cristales de oxalato de calcio varió entre 18 y 57 mm^{-2} para los cultivares estudiados. Los cultivares Llera y Tamazunchale, correspondientes al género *Nopalea* (*Nopalea spp.* y *Nopalea cochenillifera*, respectivamente), no parecen diferenciarse en esta característica de otros cultivares del género *Opuntia*, ya que resultaron estadísticamente iguales que Milpa Alta, OE 3 y Liso Forrajero. Contrariamente, algunos cultivares, aún cuando sean pertenecientes a la misma especie (*Opuntia ficus-indica*), mostraron densidades estadísticamente diferentes, como es el caso de los cultivares Pabellón y Villanueva; el primero de ellos con la más alta densidad promedio de cristales de oxalato de calcio (56.83 mm^{-2}) y el segundo con la menor densidad promedio (17.58 mm^{-2}).

Los cultivares difirieron también en largo y ancho del cladodio, así como en las demás variables morfológicas analizadas, con excepción del número de areolas por dm^2 que fue igual en los quince cultivares.

Los valores registrados para grosor de epidermis (μm) fueron iguales para trece de los quince cultivares estudiados. Los cultivares Llera y Tamazunchale presentaron los valores más bajo y alto con 10.00 y 13.08 μm , respectivamente, con diferencias estadísticas. Resulta en particular interesante el hecho de que los dos únicos cultivares del género *Nopalea* que se incluyeron en este estudio, presenten la epidermis más gruesa (Tamazunchale) y la más delgada (Llera) de los 15 cultivares analizados.

Los valores de grosor de cutícula fueron menos semejantes entre sí que los de grosor de epidermis. Sin embargo, se observa consistencia en cuanto a que son los mismos cultivares, Tamazunchale y Llera, los que presentan los valores extremos (14.08 y 7.83 μm), siendo éstos estadísticamente diferentes.

El reconocimiento en el balance de nutrientes en la producción de *Opuntia spp.* es un reflejo indirecto de las interacciones con producción. Las altas producciones son obtenidas cuando los nutrientes y otros factores de crecimiento tienen un balance adecuado (Galizzi et al., 2004; citados por Valdéz – Cepeda et al., 204).

Los análisis estadísticos, Stepwise y Componentes Principales, utilizados en este estudio para demostrar la relación entre los parámetros de producción y las características químicas y anatómicas del hospedante, indicaron que los principales factores asociados a producción de grana fina son: a) el número de cristales de oxalato de calcio, la concentración de Ca, el largo del cladodio y la concentración de K, los primeros dos inhibiendo la infestación y los dos últimos asociados a la mayor producción de grana. Otras variables como el zinc, cumarinas y nitrógeno estuvieron también relacionadas positivamente con la producción de grana pero en menor medida que el potasio y largo del cladodio.

Existe un rango muy amplio de las relaciones que pueden encontrarse entre insecto y hospedante. La relación planta hospedante-insecto ha sido estudiada para un buen número de especies aunque, en la mayoría de los casos, enfocado a incrementar la resistencia de los cultivos a cierta plaga o bien como medio de biocontrol para especies invasoras. Sin embargo, se considera que éste es uno de los trabajos pioneros en lo que estudia a la asociación planta hospedante-insecto, con un enfoque hacia la mayor producción del insecto.

7.2. Literatura citada

- Flores-Hernández, A.B. Murillo, E. Rueda, J. Salazar, J.L. García y E. Troyo. 2006. Reproducción de cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homóptera: Dactylopiidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 97-102.
- Magallanes-Quintanar, R., R.D. Valdez-Cepeda, F. Blanco-Macías, M. Márquez-Madrid, R.R. Ruíz-Garduño, O. Pérez-Veyna, J.L. García-Hernández, B. Murillo-Amador, J.D. López-Martínez, and E. Martínez-Rubín de Celis. 2004. Compositional Nutrient Diagnosis In Nopal (*Opuntia ficus-indica*). *J. PACD*. pp 78 – 89.
- Romero-López, R., A. Flores, E. Santamaría, J. Salazar, M. Ramírez y A. Pedroza. 2006. Identificación, Biología y Adaptación de la Cochinilla Silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homoptera:Dactylopiidae) a las Condiciones Ambientales de Bermejillo, Durango. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas* 5: 41-48.
- Santibáñez, M.T. 1992. Formas de explotación de grana-cochinilla en Valles Centrales en Oaxaca. En: resúmenes del 5to. Congreso Nacional y 3er. Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal del 11-15 de agosto de 1992. Univ. Aut. Chapingo y CONACYT. Chapingo, Méx. México. p. 69.
- Téllez, J.S., J. Rodríguez Baños y J.R. Villagomez I. 2002. Estudio de las Condiciones de Reproducción de *Dactylopius coccus* Costa en Invernadero con el Fin de Optimizar la Producción del Colorante. En: Portillo, L. y A. L. Viguera (editores). *Memoria del II Congreso Internacional de Grana Cochinilla y Colorantes Naturales y II Reunión Internacional del Grupo de Trabajo en Cochinilla, Cactusnet-FAO. Universidad de Guadalajara México.* pp 90-92.

Trejo, P.J. 2003. Anatomía y análisis químico proximal de los cladodios de dos especies de *Opuntia*, hospedera y no hospedera, de la cochinilla de la grana (*Dactylopius coccus* Costa). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro.

Valdéz – Cepeda, R.D., Blanco – Macías, Fidel, Murillo – Amador, B., García – Hernández, J.L., Magallanes – Quintanar, R., Macías – Rodríguez, F.J. 2004. Advances in Cultivated Nopal (*Opuntia spp.*) Nutrition. In Esparza – Frausto, G; Valdéz – Cepeda, R. D. y Méndez – Gallegos, S. J. (Eds.). El Nopal: Tópicos de actualidad. © 2004. Coed. Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Postgraduados. pp. 155 – 166.

Anexo 1

Cuadro 1.- Valores de producción de grana fina para quince cultivares de nopal.

Cultivar	pf	Os	Num	Cultivar	pf	ps	num
Jalpa	2.43	0.99	70.08	Llera	1.49	0.74	38.84
Jalpa	1.23	0.62	44.83	Llera	1.54	0.75	37.25
Jalpa	2.36	0.97	41.33	Llera	1.58	0.82	35.67
Jalpa	2.26	0.93	58.84	Llera	1.37	0.73	57.08
Copena V1	2.31	0.96	64.58	Tamazunchale	2.14	0.94	38.42
Copena V1	3.22	1.2	84.09	Tamazunchale	1.79	0.84	50.67
Copena V1	3.42	1.25	108.67	Tamazunchale	2.57	1.05	64.83
Copena V1	3.04	1.15	80.58	Tamazunchale	1.64	0.8	35.08
Villanueva	6	2.03	194.34	Morado T10	2.19	0.93	43.67
Villanueva	5.49	2	197.09	Morado T10	2.44	0.97	59.5
Villanueva	4.91	1.71	179.09	Morado T10	2.15	0.93	42.25
Villanueva	5.76	2.05	192.42	Morado T10	1.73	0.83	42
Liso Forrajero	0	0	0	Cristalino	1.93	0.84	74.83
Liso Forrajero	0	0	0	Cristalino	2.06	0.88	71.17
Liso Forrajero	0	0	0	Cristalino	2.17	0.86	59.84
Liso Forrajero	0	0	0	Cristalino	1.78	0.8	53.5
Pabellón	0	0	0	Burrona	0.85	0.55	22
Pabellón	0	0	0	Burrona	0.72	0.46	21.59
Pabellón	0	0	0	Burrona	1.06	0.6	30.17
Pabellón	0	0	0	Burrona	0.75	0.52	21.17
Copena F1	3.77	1.33	130.42	Rojo Vigor	1.77	0.85	72
Copena F1	3.38	1.3	141.25	Rojo Vigor	2	0.9	42.33
Copena F1	4.14	1.49	134.67	Rojo Vigor	1.38	0.67	38.25
Copena F1	4.07	1.53	136.42	Rojo Vigor	1.81	0.84	63.67
Milpa Alta	1.26	0.68	20.75	Local	0	0	0
Milpa Alta	1.53	0.73	24.58	Local	0	0	0
Milpa Alta	1.49	0.71	36.92	Local	0	0	0
Milpa Alta	1.14	0.61	25.25	Local	0	0	0
Oe3*	0.67	0.41	16.83				
Oe3*	0.63	0.41	10.67				
Oe3*	0.72	0.43	16.09				
Oe3*	0.73	0.44	17.17				

Anexo 2

Cuadro 2.- Parámetros físicos medidos para quince cultivares de nopal.

Cultivar	Largo	Ancho	Areolas d ²	Cutícula	Epidermis	Oxalatos	Estomas
Jalpa	37	18	9.76	12	13.33	25.67	33
Jalpa	43.8	21	2.39	12	11.33	21	25.33
Jalpa	43	17.5	9.17	13.33	12	27.67	23.33
Jalpa	35	17	9.75	13.33	12.67	22.67	27.33
Copena V1	33	18	8.25	9.33	10.67	18.33	35
Copena V1	34	19	11.92	8	12	21	39
Copena V1	30	17	10.2	10.67	10.67	20	27.33
Copena V1	28	19	11.65	12.67	10.33	14	47.67
Villanueva	45	28	5.71	8.67	11.33	14.67	32.67
Villanueva	39	17	13.12	7.33	12	18	33
Villanueva	44	24	6.34	11.33	10.67	20	31.67
Villanueva	46	25	5.48	10.67	10.67	17.67	37.67
Liso Forrajero	32	23	8.15	12.67	12	43	26.67
Liso Forrajero	36.6	22	8.2	10.67	13.33	47.33	26.67
Liso Forrajero	30	21	9.37	12.67	13.33	51.67	30.67
Liso Forrajero	33	24	8.21	9.33	12	56.67	29.67
Pabellón	43	25	7.07	10	12	61.33	37.33
Pabellón	37	23	8.93	11.33	12.67	59.67	29.33
Pabellón	32	19	9.38	11.33	13.33	58.33	29.33
Pabellón	38	20	8.55	11.33	12.67	48	28
Copena F1	51	22	5.97	12	11.33	24.33	37.33
Copena F1	45	19	6.67	11.33	12	23.67	50.33
Copena F1	43	17	9.85	10.67	10.67	23.33	48.67
Copena F1	48	20	5.63	10.67	10.67	25.33	39.67
Milpa Alta	34	17	10.9	8	10.67	26	33.67
Milpa Alta	35	18	14.13	8.67	11.33	31	34
Milpa Alta	33	19	8.77	10	11.33	38.67	31
Milpa Alta	35	17	11.93	9.33	11.33	49.33	26.67
Oe3*	33	28	3.03	8.67	12	43.67	47.67
Oe3*	36	26	4.59	10.67	12	46.33	47.67
Oe3*	32	25	3.75	8.67	12	43.33	39.67
Oe3*	29	25	5.66	8.67	11.33	48	41
Llera	27	12	8.95	8	8.67	44	24.67
Llera	24	12	6.94	7.33	10	45.33	26.33
Llera	26	13	5.33	8.67	12	48.33	24.67
Llera	25.5	11	6.77	7.33	9.33	46	17.33
Tamazunchale	26	14	7.42	15.33	13.33	40.33	21.67
Tamazunchale	17	14	7.14	14.67	14	45.67	21.33
Tamazunchale	30	12	5.83	13.33	11.67	43	15
Tamazunchale	20	12	7.92	13	13.33	42.67	16.33
Morado T10	39	20	7.69	8.67	12	24	27.67
Morado T10	38	20	7.24	8.67	11.33	23.33	28
Morado T10	40	24	5.94	8	10.67	23.33	22
Morado T10	36	20	6.53	7.33	10	30.33	27.67
Cristalino	42	23	4.45	8.67	12	34	33.67
Cristalino	38	22	4.31	10	12	28.33	45
Cristalino	34	20	5.88	9.33	10.67	30.33	36
Cristalino	47	25	4.09	9.33	13.33	28	40

Cuadro 2 continuación.- Parámetros físicos medidos para quince cultivares de nopal.

Cultivar	Largo	Ancho	Areolas d ²	Cutícula	Epidermis	Oxalatos	Estomas
Burrona	39	23	6.13	8.67	11.33	21.67	37.33
Burrona	36	16	8.68	10.67	12	27.33	37.33
Burrona	34	17	9.86	10.67	12	26.33	36
Burrona	29	15	11.95	10	12.67	30.33	24
Rojo Vigor	41	18	7.05	10.67	12	33.33	33
Rojo Vigor	33	18	10.61	10.67	12.67	24.33	40.67
Rojo Vigor	38	19	9.28	9.33	11.33	25.67	42
Rojo Vigor	37	17	10.49	14	13.33	22.67	41.67
Local	28	18	12.3	9.33	12	22.33	32.67
Local	29	21	12.15	8.67	12	25.67	35
Local	36	19	10.53	10	11.33	23	38.67
Local	32	22	8.81	8.67	12.67	25.33	29.33

Anexo 3

Cuadro 3.- Concentración de micronutrientes para quince cultivares de nopal.

Cultivar	Cu	Mn	Fe	Zn	Cultivar	Cu	Mn	Fe	Zn
Jalpa	0.6982	0.3754	0.5122	2.566	Llera	0.0998	0.8036	2.5642	0.8503
Jalpa	0.763	0.3696	0.5408	2.566	Llera	0.1289	0.6639	2.155	1.1591
Jalpa	0.6961	0.4818	0.5418	2.338	Llera	0.1806	0.8475	1.6398	1.4902
Jalpa	0.6272	0.4361	0.9652	1.8819	Llera	0.3132	0.8993	2.261	1.137
Copena V1	0.4167	0.4341	0.9377	0.9186	Tamazunchale	0.5698	0.2997	0.7554	0.5101
Copena V1	0.485	0.4834	0.5171	1.1986	Tamazunchale	0.509	0.2872	0.8389	0.3369
Copena V1	0.3776	0.535	0.4715	0.7721	Tamazunchale	0.4716	0.5178	0.7239	0.6265
Copena V1	0.2312	0.5005	0.6318	0.7852	Tamazunchale	0.4857	0.3682	0.7033	0.5425
Villanueva	0.4776	0.3911	0.9322	0.479	Morado T10	0.4422	1.0755	0.759	0.6397
Villanueva	0.5671	0.398	0.6495	1.2285	Morado T10	0.3765	0.8803	0.5214	0.5959
Villanueva	0.5141	0.363	0.7518	0.9427	Morado T10	0.5944	0.7946	0.9598	0.5314
Villanueva	0.3517	0.4129	0.6737	1.1205	Morado T10	0.471	0.7711	0.991	0.3072
Liso Forrajero	0.3615	0.6307	0.666	0.8103	Cristalino	0.1527	1.353	0.8427	0.3266
Liso Forrajero	0.2143	0.8908	0.8309	0.8087	Cristalino	0.1852	1.6335	1.1023	0.5859
Liso Forrajero	0.2829	0.9077	0.8391	1.1521	Cristalino	0.2147	1.5324	0.59	0.4027
Liso Forrajero	0.2729	0.8097	1.0204	0.9688	Cristalino	0.1883	1.6108	0.8451	0.2137
Pabellón	0.3297	0.9615	0.6861	1.0104	Burrona	0.1378	0.5983	1.0982	0.225
Pabellón	0.3501	0.8368	0.561	0.6069	Burrona	0.253	0.7015	1.128	0.3822
Pabellón	0.3652	0.7857	0.8211	0.6735	Burrona	0.2823	0.5532	1.4671	0.38
Pabellón	0.31	1.2621	1.2162	0.5429	Burrona	0.456	0.5402	0.9342	0.2603
Copena F1	0.1401	0.5105	0.5237	0.629	Rojo Vigor	0.2515	0.4823	0.657	0.2803
Copena F1	0.19	0.4636	0.4882	0.5298	Rojo Vigor	0.3102	1.0294	0.6465	0.1475
Copena F1	0.0776	0.4422	0.7331	0.1186	Rojo Vigor	0.3278	0.9102	0.7336	0.4314
Copena F1	0.1359	0.5288	1.1873	0.7007	Rojo Vigor	0.3514	0.8073	0.8972	0.3693
Milpa Alta	0.374	0.2893	0.4232	0.5646	Local	0.3157	0.8762	0.4443	0.6934
Milpa Alta	0.2147	0.3005	0.7029	0.2385	Local	0.279	1.178	0.5075	0.6779
Milpa Alta	0.1529	0.2926	0.3801	0.3952	Local	0.5825	0.9337	0.5746	1.011
Milpa Alta	0.1172	0.2432	0.4096	0.3226	Local	0.3924	0.7471	1.0608	0.7941
Oe3*	0.2884	0.7694	1.3213	0.6486					
Oe3*	0.4157	0.8563	0.7155	1.3823					
Oe3*	0.3619	0.8681	2.059	1.2479					
Oe3*	0.5969	0.9786	1.3652	1.7129					

Cuadro 4.- Concentración de macronutrientes para quince cultivares de nopal.

Cultivar	Ca	Na	Mg	Cultivar	Ca	Na	Mg
Jalpa	4939.122	23.564	696.668	Llera	6089.415	288.2887	1406.746
Jalpa	5261.571	119.0872	660.6026	Llera	5033.714	235.5853	1457.178
Jalpa	5085.267	203.7206	668.1613	Llera	7744.573	342.9069	1514.696
Jalpa	4470.528	231.8375	727.4373	Llera	5489.989	108.2789	1450.093
Copena V1	6278.63	140.8834	682.1164	Tamazunchale	3987.4	550.2285	1119.58
Copena V1	6236.964	82.7078	654.926	Tamazunchale	3790.575	282.9471	1043.861
Copena V1	6592.939	122.7861	595.6602	Tamazunchale	3167.727	306.5437	863.0296
Copena V1	6006.019	217.265	606.777	Tamazunchale	5003.93	235.8627	1148.992
Villanueva	3358.814	464.4365	721.8017	Morado T10	7947.48	137.6795	1336.868
Villanueva	3764.721	343.478	884.3069	Morado T10	9420.815	310.4819	1364.305
Villanueva	4355.009	234.889	788.9037	Morado T10	6984.219	346.2032	1181.057
Villanueva	3740.924	236.597	798.334	Morado T10	7437.438	309.9543	1123.437
Liso Forrajero	9009.481	308.9534	1718.223	Cristalino	6885.136	65.4373	1228.301
Liso Forrajero	9101.609	104.6127	1686.127	Cristalino	7112.837	23.2158	1180.029
Liso Forrajero	8788.174	187.9569	1773.005	Cristalino	6880.489	8.7359	1146.647
Liso Forrajero	8966.411	202.6218	1725.782	Cristalino	6643.525	65.1218	1184.986
Pabellón	7862.993	167.1399	1685.49	Burrona	8844.124	65.8018	961.6619
Pabellón	8461.015	180.5918	1645.455	Burrona	8942.303	61.7439	1092.513
Pabellón	7543.85	295.7245	1529.648	Burrona	8262.756	129.3462	1107.075
Pabellón	8831.244	372.3129	1631.993	Burrona	9327.376	32.6316	1093.675
Copena F1	7432.042	160.4439	1656.489	Rojo Vigor	7358.346	60.9878	1212.042
Copena F1	6168.663	217.3629	1571.236	Rojo Vigor	5964.758	94.4571	968.0893
Copena F1	7048.372	97.1279	1532.898	Rojo Vigor	7001.403	226.2185	994.3028
Copena F1	9079.123	166.8462	1692.441	Rojo Vigor	6115.145	53.329	1009.142
Milpa Alta	4601.89	206.8375	1105.605	Local	6275.543	255.309	706.1292
Milpa Alta	4355.321	99.2385	1149.28	Local	5648.453	266.1173	675.7713
Milpa Alta	5619.23	55.2763	1242.369	Local	8130.271	409.171	570.8453
Milpa Alta	3765.157	63.2398	911.8778	Local	7779.223	184.6715	325.4576
Oe3*	7192.459	230.3742	1102.18				
Oe3*	7532.841	356.201	1186.631				
Oe3*	7566.804	166.4273	1271.01				
Oe3*	8529.192	181.6253	1094.766				

Cuadro 4 (cont).- Concentración de macronutrientes para quince cultivares de nopal.

Cultivar	K	P	N	Cultivar	K	P	N
Jalpa	2474.739	10.59	0.14	Llera	827.381	12.15	0.17
Jalpa	2788.214	10.73	0.17	Llera	771.38	8.84	0.13
Jalpa	3233.754	10.57	0.2	Llera	1325.252	11.02	0.15
Jalpa	3235.813	10.4	0.17	Llera	1560.08	10.83	0.15
Copena V1	3594.56	8.79	0.13	Tamazunchale	441.2051	3.97	0.13
Copena V1	2902.492	10.95	0.11	Tamazunchale	586.9904	4.44	0.17
Copena V1	3565.022	12.58	0.15	Tamazunchale	1411.462	7.09	0.18
Copena V1	3409.167	11.49	0.15	Tamazunchale	813.2193	5.17	0.17
Villanueva	3754.853	16.08	0.16	Morado T10	802.2224	2.79	0.08
Villanueva	3580.175	15.7	0.17	Morado T10	782.6134	2.03	0.08
Villanueva	3920.017	16.97	0.2	Morado T10	683.3858	-0.61	0.1
Villanueva	4025.491	18.3	0.17	Morado T10	526.1751	0.99	0.1
Liso Forrajero	3462.956	3.95	0.13	Cristalino	564.6898	1.94	0.11
Liso Forrajero	3332.47	5.15	0.21	Cristalino	859.2399	2.74	0.13
Liso Forrajero	3401.546	4.59	0.22	Cristalino	620.6396	2.88	0.12
Liso Forrajero	3422.683	2.13	0.18	Cristalino	607.4881	-0.09	0.11
Pabellón	3978.473	4.26	0.2	Burrona	639.0146	7.83	0.1
Pabellón	3734.029	3.8	0.14	Burrona	893.9313	10.32	0.09
Pabellón	3442.855	3.97	0.16	Burrona	575.8977	6.01	0.11
Pabellón	3658.886	3.17	0.15	Burrona	586.0953	5.56	0.08
Copena F1	3595.443	8.76	0.12	Rojo Vigor	798.3799	5.25	0.09
Copena F1	3937.452	10.74	0.14	Rojo Vigor	958.3525	7.99	0.11
Copena F1	3498.114	12.86	0.13	Rojo Vigor	1213.276	11.06	0.11
Copena F1	3704.791	10.59	0.13	Rojo Vigor	1191.179	8.94	0.11
Milpa Alta	3192.529	8.75	0.1	Local	1012.551	15.7	0.11
Milpa Alta	3334.42	7.85	0.09	Local	778.3489	16.5	0.08
Milpa Alta	3192.471	8.79	0.07	Local	788.8855	11.87	0.08
Milpa Alta	3253.037	7.19	0.08	Local	859.924	14.42	0.08
Oe3*	750.6585	10.54	0.09				
Oe3*	851.3375	10.5	0.12				
Oe3*	693.1551	8.7	0.13				
Oe3*	706.4984	10.07	0.15				