



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

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

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO DE ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*)
SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE GRANA COCHINILLA
(*Dactylopius coccus Costa*)**

VIOLETA CORONADO FLORES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2011



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUE- 43-2-03 ANEXO

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Violeta Coronado Flores** alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Ramón Núñez Tovar** por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Efecto de la fertilización de nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre la productividad y calidad de grana cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa)** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla 6 de Mayo de 2011.

Violeta Coronado Flores

Firma

Dr. Ramón Núñez Tovar

Vo. Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis

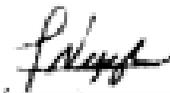
La presente tesis, titulada: **Efecto de la fertilización de nopal (*Opuntia ficus-indica* sobre la productividad y calidad de la grana cochinilla (*Dactylopius coccus Costa*)** realizada por la alumna: **Violeta Coronado Flores**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. RAMÓN NÚÑEZ TOVAR

ASESOR:



DR. MARIO ALBERTO TORNERO CAMPANTE

ASESOR:



DR. JOSÉ LUIS JARAMILLO VILLANUEVA

ASESOR:



DR. SANTIAGO DE JESÚS MÉNDEZ GALLEGOS

Puebla, Puebla, 6 de Mayo de 2011

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE GRANA COCHINILLA (*Dactylopius coccus* Costa)

Violeta Coronado Flores, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2011

La grana (*Dactylopius coccus* Costa) es la única fuente del colorante natural rojo carmín utilizado ampliamente en las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética. Este colorante es considerado uno de los más seguros desde el punto de vista de inocuidad y está permitido por legislaciones alimentarias en diversos países, su creciente demanda ha estimulado la investigación para obtener mayor producción y calidad del insecto. Se evaluó el efecto de la fertilización del nopal *Opuntia ficus-indica*, substrato alimenticio del insecto; sobre la producción y calidad en función del ácido carmínico (AC) contenido, en la grana *Dactylopius coccus* Costa, y su viabilidad económica. Se utilizó un diseño de parcelas divididas. Los resultados se analizaron con un ANDEVA y las medias se compararon con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$). Se realizó un análisis de correlación de Pearson. Los tratamientos de fertilización de nopal utilizados como substrato alimenticio, causaron un efecto diferencial en el número de hembras y peso seco por cladodio, y en el contenido de AC. Se encontró que *D. coccus* criada sobre cladodios a los que se les aplicó fertilización química-orgánica presentaron los valores más altos de AC, asimismo, aquellos cladodios a los que se les adicionó solo fertilización química generaron el número más alto de hembras y por tanto un mayor peso seco. El contenido de nitrógeno en el cladodio influyó positivamente en el número de hembras; no obstante, este nutrimento influyó negativamente en el contenido de AC. El contenido de AC es uno de los parámetros que determina el precio internacional de la grana, el cual fue, en promedio, durante la realización de este estudio de 18 dólares kg^{-1} , precio con el que no es rentable producir y comercializar grana en un esquema intensivo, en invernadero, en un sistema de producción a penca colgada. El estudio permitió conocer que la fertilización previa a la que es sometido el nopal utilizado como substrato, influye sobre la producción y calidad de *D. coccus*.

Palabras clave: Cochinilla, fertilización, rendimientos, nopal.

FERTILIZATION EFFECT OF CACTUS PEAR (*Opuntia ficus-indica*) ON THE PRODUCTIVITY AND QUALITY OF COCHINEAL (*Dactylopius coccus* COSTA)

Violeta Coronado Flores, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2011

The cochineal (*Dactylopius coccus* Costa) is the only natural source of carmine red dye widely used in the pharmaceutical, food and cosmetics industries. This dye is one of the safeties food dyes and is permitted by food laws around the world, its increasing demand has stimulated research to enhance production and quality of the insect. We evaluated the fertilization effect of the cactus pear *Opuntia ficus-indica*; on production and quality, in terms of carmine acid content, in the cochineal *Dactylopius coccus* Costa, and their economic viability. We used a split plot design. The result was analyzed with ANOVA and means was compared using Duncan test ($p \leq 0.05$). We performed Pearson correlation analysis. The fertilization treatments cactus pear used as food substrate, causing a differential effect on the number of females and dry weight per cladode, and the content of carmine acid. *D. coccus* reared on cladodes with chemistry organic fertilization showed the highest values of carmine acid; also those cladodes with chemical fertilizer generated the highest number of females and therefore more dry weight. There was a significant positive correlation between nitrogen content in the cladodes and number of females, however, negatively influenced the nutrient content of carmine acid. The content of carmine acid is one of the parameters that determine the international price of cochineal; it was 18 dollars kg^{-1} . According to this price is not economically viable to produce and market-cochineal an intensive schedule in the greenhouse in a hanging cladode production. The study envisioned that the fertilization applied to the cactus pear used as substrate, influences the production and quality of *D. coccus*.

Key words: Cochineal, fertilization, yield, cactus pear.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados; quienes han financiado parte de mi formación.

A los integrantes de mi consejo particular:

Dr. Ramón Núñez Tovar, por su apoyo al fungir como mi consejero.

Dr. Mario A. Tornero Campante, ejemplo de dedicación y compromiso, por su apoyo en todo momento, por guiarme hasta la culminación de esta tesis, por compartir sus conocimientos, por su confianza, pero sobre todo por su infinita paciencia.

Dr. José L. Jaramillo Villanueva, por sus conocimientos y apoyo en la realización de la evaluación económica.

Dr. Santiago de Jesús Méndez Gallegos, por su gran disposición, por sus oportunos consejos, apoyo y asesoría en la realización de ésta tesis.

A Campo Carmín, en especial a quienes sostienen este ambicioso proyecto, Sra. Araceli Escalante, Sra. Eva Chávez (Blanquita) y Sra. Rebeca Martínez, por la confianza brindada para permitir la realización de este trabajo en sus instalaciones y por los conocimientos que me fueron transmitidos, que son invaluable. Así también a Roge por su ayuda en el monitoreo de los cladodios y parámetros físicos.

A la Escuela de Biología de la BUAP, y en especial al titular del Laboratorio de química analítica, el Maestro Sergio Espinoza, por su ayuda en la realización de las determinaciones de ácido carmínico.

Al Dr. Aldo Tovar, por sus consejos para las determinaciones de oxalatos de calcio, grosor de cutícula y epidermis en nopal.

A todos aquellos, quienes con sus consejos han enriquecido este trabajo.

A mi familia, por su apoyo incondicional.

A mi familia, Alfredo e Isaí, mi continuo impulso para alcanzar mis metas; por los momentos que han conformado nuestras vidas. Por su cariño, apoyo, paciencia y comprensión.

A mis padres y hermana, Ana, Manuel y Liz, quienes me han acompañado, y estoy segura, me acompañaran en la vida.

A mis amigos y/o maestros, por sus enseñanzas, por ser y estar a pesar del tiempo.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
2.1. Objetivo general	6
2.1.1. Objetivos específicos	6
2.2. Hipótesis general	6
2.2.1. Hipótesis específicas	6
2.3. Justificación	7
III. REVISIÓN DE LITERATURA	10
3.1. Reseña histórica de la grana	10
3.2. Clasificación taxonómica de la grana cochinilla fina	12
3.3. Biología de la grana fina (<i>Dactylopius coccus</i>)	13
3.4. Factores determinantes del desarrollo de la grana cochinilla	15
3.4.1. Factores abióticos	15
3.4.2. Factores bióticos	17
3.4.2.1. Características del nopal hospedante (<i>Opuntia ficus Indica</i>)	17
3.4.2.1.1. Oxalatos de calcio	19
3.4.2.2. Fertilización del nopal	19
3.5. Evaluación económica	22
3.5.1. Elementos necesarios para realizar la evaluación económica	24
3.5.1.1. Costos de producción	24
3.5.1.2. Costos de administración	24
3.5.1.3. Costos de venta	25
3.5.1.4. Costos financieros	25
3.5.1.5. Inversión total fija y diferida	25
3.5.1.6. Capital de trabajo.	25
3.5.1.7. Punto de equilibrio	26
3.5.2. Métodos de evaluación económica	26
3.5.2.1. Valor Presente Neto	26
3.5.2.2. Tasa Interna de Rendimiento	28

IV. MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.1. Descripción del área de estudio	29
4.2. Definición y operacionalización de variables	31
4.3. Diseño experimental	33
4.4. Análisis estadístico empleado	34
4.5. Caracterización del estado nutricional de las pencas de nopal de los tratamientos de fertilización	35
4.5.1. Análisis químico de suelo	35
4.5.2. Análisis químico de tejido vegetal	36
4.5.3. Grosor de cutícula y epidermis	37
4.5.4. Oxalatos de calcio	38
4.6. Influencia de la fertilización de nopal sobre el rendimiento y calidad de <i>D. coccus</i>	39
4.6. Duración del ciclo de vida	39
4.6.2. Peso fresco de grana y número de insectos por penca	39
4.6.3. Peso seco	40
4.6.4. Talla	42
4.6.5. Determinación del contenido de ácido carmínico	42
4.7. Evaluación financiera de la producción y comercialización de grana cochinilla	45
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
5.1. Caracterización del estado nutricional de cladodios de los tratamientos de fertilización	49
5.1.1. Grosor de cutícula y epidermis	58
5.1.2. Oxalatos de calcio	60
5.2. Influencia de la fertilización de nopal sobre el rendimiento de <i>D. coccus</i>	61
5.2.1. Duración del ciclo de vida	61
5.2.2. Peso fresco de grana	63
5.2.3. Número de hembras por cladodio	66
5.2.4. Peso seco de grana	69

5.3. Influencia de la fertilización de nopal sobre la calidad de <i>D.coccus</i> .	71
5.3.1. Talla de grana	71
5.3.2. Determinación del contenido de ácido carmínico	72
5.4. Evaluación financiera, en un esquema intensivo, en invernadero	73
VI. CONCLUSIONES	86
VII. ESTRATEGIA	88
VIII. BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	99

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		Página
Cuadro 1.	Fertilidad óptima del suelo para el crecimiento de nopal	22
Cuadro 2.	Características de los tratamientos de fertilización	32
Cuadro 3.	Contenido de elementos químicos en tratamientos de fertilización de nopal para la cría de grana	49
Cuadro 4.	Duración del ciclo de vida de grana y parámetros físicos	62
Cuadro 5.	Prueba de comparación de medias de Duncan para peso fresco	64
Cuadro 6.	Influencia de la fertilización sobre el número de hembras de cochinilla por cladodio	67
Cuadro 7.	Prueba de comparación de medias para número de hembras por lado de cladodio	68
Cuadro 8.	Prueba de comparación de medias para número de hembras por estrato	68
Cuadro 9.	Prueba de comparación de medias de Duncan para peso seco.	69
Cuadro 10.	Porcentaje de ácido carmínico de grana.	72
Cuadro 11.	Inversión total del proyecto de producción de grana	78
Cuadro 12.	Costos variables de producción para los primeros ocho años del proyecto de producción de grana	18
Cuadro 13.	Ingresos en los ocho primeros años del proyecto de producción de grana	81
Cuadro 14.	Depreciación de activos	83
Cuadro 15.	Flujos netos de efectivo de los cinco primeros años del proyecto	83
Cuadro 16.	Costos variables y fijos	84

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS		Página
Figura 1.	Localización de la zona de estudio	30
Figura 2.	Método de infestación mediante “cladodio infestador”	31
Figura 3.	Diseño de parcelas divididas	34
Figura 4.	Limpieza ^{a,b} y medición de peso fresco de grana ^c	40
Figura 5.	Tamices para sacrificio y secado de grana	41
Figura 6.	Curva de calibración para la determinación de ácido carmínico	44
Figura 7.	Esquema gráfico de la determinación de ácido carmínico	45
Figura 8.	Porcentaje inicial de nitrógeno en cladodios de nopal de tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica, y sin aplicación de fertilizante.	50
Figura 9.	Porcentaje inicial de fósforo en cladodios de nopal en los tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica y sin aplicación de fertilizante.	51
Figura 10.	Porcentaje inicial de potasio en cladodios de nopal en los tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica y sin aplicación de fertilizante.	53
Figura 11.	Porcentaje inicial de calcio en cladodios de nopal en los tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica y sin aplicación de fertilizante.	54

Figura 12.	Porcentaje inicial de magnesio en cladodios de nopal en los tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica y sin aplicación de fertilizante.	55
Figura 13.	Porcentaje inicial de fierro, zinc y sodio en cladodios de nopal en los tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica y sin aplicación de fertilizante.	56
Figura 14.	Grosor de cutícula para los tratamientos de fertilización	59
Figura 15.	Grosor de epidermis para los tratamientos de fertilización	60
Figura 16.	Oxalatos de calcio para los tratamientos de fertilización	61
Figura 17.	Peso fresco de grana por lado del cladodio	64
Figura 18.	Efecto de la altura sobre peso fresco de la grana por cladodio	65
Figura 19.	Requerimientos de cladodios de nopal e insectos deshidratados para obtener un kilogramo de grana seca.	70
Figura 20.	Talla de la grana en los tratamientos de fertilización	71
Figura. 21.	Diagrama de flujo del proceso de producción de grana	77

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación es un estudio comparativo que tuvo como objetivo evaluar el efecto de cuatro tratamientos de fertilización química y orgánica de nopal de la especie *Opuntia ficus indica*; sobre la producción y calidad de la grana de la especie *Dactylopius coccus* Costa, así como su viabilidad económica. El experimento se realizó bajo invernadero, y como respuesta a la carencia de información en este sentido y a la necesidad de conocer qué tipo de fertilización y elementos químicos presentes en los cladodios de nopal coadyuvan a obtener grana de mayor calidad, optimizando los rendimientos del insecto. Lo anterior enmarcado en un esfuerzo por rescatar la producción de grana como una alternativa productiva para zonas con características ecológicamente desfavorables donde la agricultura tradicional ha dejado de ser una opción rentable.

La grana o cochinilla fina es un insecto de la especie *Dactylopius coccus* Costa, parásita de nopales, que ha tenido durante siglos gran importancia social, económica y cultural como fuente del colorante natural conocido como ácido carmínico, llegó a adquirir tal importancia en la época colonial que fue considerada el tercer producto de exportación después del oro y la plata. México fue durante siglos el principal productor y exportador de este insecto, sin embargo, debido a los altos impuestos y restricciones aplicadas a la producción; al descubrimiento de los colorantes artificiales que eran más baratos; a la sobreexplotación de las nopaleras; a la reducción del precio de la grana y a la entrada en el mercado de otros países, fue desplazado y con ello se restringió su producción a fines artesanales, no así su consumo, ya que posteriormente se demostró que algunos colorantes artificiales son potencialmente cancerígenos. La grana adquirió el aval de la Organización Mundial de la Salud como colorante inocuo, por lo que su utilización se generalizó en la industria de alimentos, cosmética, farmacéutica, entre otras.

En México, se han hecho esfuerzos encaminados para el rescate de la producción del insecto, dentro de los proyectos más relevantes en los años ochentas

se implemento la producción de grana por el Centro Regional para Estudios de las Zonas Áridas y Semiáridas del Colegio de Postgraduados (CREZAS-CP), en los noventas el Programa Nacional para la Producción de Grana dirigido por el Colegio de Postgraduados y más recientemente el Proyecto Campo Carmín.

Aunado a este esfuerzo desde hace poco más de 10 años, en México, se ha comenzado con la investigación biológica del insecto, para optimizar rendimientos, elevar calidad y disminuir costos de producción. Existen varios aspectos a considerar para incrementar el rendimiento de la grana y su calidad; entre ellos, destaca por su influencia directa como alimento del insecto el abordado en este trabajo, que es la fertilización del nopal y el consecuente estado nutricional de los cladodios que constituyen el substrato alimenticio y hospedante del insecto.

En este contexto, este documento se encuentra organizado en siete capítulos, además del presente, que son: problema de investigación, revisión bibliográfica, materiales y métodos; resultados y discusión; conclusiones, estrategia y bibliografía.

El segundo capítulo relativo al problema de investigación se encuentra integrado por el objetivo general y específicos; la hipótesis general y específicas, y la justificación.

En el tercer capítulo se expone una reseña histórica que pretende contextualizar la importancia de la grana en México; la clasificación taxonómica y biología de la grana; factores bióticos y abióticos determinantes del desarrollo del insecto; hospedante del insecto y fertilización; así como los elementos necesarios para realizar una evaluación económica.

En el capítulo de materiales y métodos se expone específicamente las características del estudio realizado, descripción del área de estudio, definición y operacionalización de variables, diseño experimental y análisis estadístico; y los instrumentos y técnicas de investigación empleados.

En el quinto capítulo se describen, analizan y discuten los resultados de la investigación iniciando con la caracterización del estado nutricional de los cladodios hospedantes de las cuatro modalidades de fertilización y de los suelos donde fueron plantados con base en la Norma Oficial Mexicana 021-SEMARNAT-2000; para entrar de lleno a los subapartados de peso fresco, número de hembras por penca, peso seco, talla y contenido de ácido carmínico que fueron analizados con base en los elementos químicos presentes en los nopales hospedantes, grosor de cutícula, epidermis y oxalatos de calcio, orientación de penca y altura de colocación, y finalmente se aborda la evaluación económica de la producción de grana en condiciones semicontroladas.

El sexto capítulo incluye las conclusiones; en el séptimo se presenta una estrategia planteada en base a los resultados y finalmente se presenta la bibliografía consultada para la elaboración de este trabajo.

II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Ante el creciente aumento poblacional también ha crecido la demanda de alimentos y junto con ésta la necesidad de producirlos de forma saludable, haciéndolos atractivos y sin poner en riesgo la salud de los consumidores (Méndez, 2001). Algunos aditivos sintéticos de alimentos que durante muchos años tuvieron gran desarrollo y demanda, fueron los colorantes sintéticos, que a pesar de ser baratos, su inocuidad ha sido cuestionada, lo que abrió nuevamente una oportunidad para la producción de colorantes de origen natural, entre ellos el tinte rojo carmín obtenido a partir de la grana-cochinilla (Méndez, 2001; Flores-Alatorre *et al.*, 2008).

En algunas partes de México, particularmente en el estado de Oaxaca, la cría de la grana se realizó tradicionalmente hasta la colonia, posteriormente, debido a los altos impuestos y al auge de los colorantes artificiales, entre otros aspectos, la cría de este insecto perdió importancia, restringiendo su uso a fines artesanales (Pérez-Sandi, 1999). Después de los años setenta, y debido a la prohibición de los colorantes químicos, el cultivo de grana en nuestro país se ha retomado de forma incipiente (Pérez-Sandi y Becerra, 2001). En el México prehispánico y colonial el cultivo tradicional de la grana se realizaba a la intemperie, en plantas de nopal en pie; actualmente la producción a cielo abierto está limitada por factores bióticos y abióticos que influyen en el desarrollo y producción de la grana fina. Dentro de los factores bióticos destacan la especie y variedad de nopal, estado fisiológico, edad del cladodio y presencia de enemigos naturales; la precipitación y temperatura son los principales limitantes abióticos de la producción del insecto (Vigueras y Portillo, 2001). Debido a estos factores, actualmente se ha optado por la cría de cochinilla bajo superficies protegidas como cobertizos o invernaderos que permiten el manejo de algunas de estas variables, sin embargo aun es reducido el número de estudios que se han enfocado hacia este método de producción intensiva (Campos-Figueroa y Llanderal-Cázares, 2003), por lo que se desconoce su viabilidad y es en este sentido que se recurre a la realización de una evaluación financiera para conocer la

rentabilidad económica de la producción de grana en un esquema intensivo, bajo invernadero, en cladodio o penca colgada.

Aunado a lo anterior y como consecuencia de la importancia que retoma el cultivo de la grana se han realizado estudios encaminados a seleccionar la especie de grana, método de infestación, especie del nopal hospedante, técnicas de sacrificio y manejo postcosecha que permitan aumentar los rendimientos de producción y obtener grana de mayor calidad, en función de un mayor porcentaje de ácido carmínico. Es así, que se ha puesto especial atención al estado nutricional del nopal debido a su importancia como hábitat y alimento de la grana. En condiciones de campo se ha observado que el tipo de fertilización aplicado al nopal es limitante del desarrollo biológico del insecto e incluso también del tamaño del mismo; sin embargo, no hay datos contundentes en cuanto a que tipo de fertilización o nutrientes de forma específica, favorecen la calidad y rendimiento de la grana (Briseño, 2001). Con base a lo anteriormente señalado la presente investigación pretende dar respuesta a las siguientes preguntas:

¿Qué efecto tiene el estado nutricional del nopal utilizado como substrato, sobre la producción y calidad en función del contenido ácido carmínico de la grana cochinilla *Dactylopius coccus* Costa?

¿Es rentable económicamente producir y comercializar grana-cochinilla en un esquema intensivo en invernadero, en un sistema de producción a penca colgada?

2.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto de la fertilización del nopal *Opuntia ficus-indica*; sobre la producción y calidad en función del ácido carmínico contenido, en la grana o cochinilla *Dactylopius coccus* Costa, y su viabilidad económica.

2.1.1. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la fertilización del nopal, utilizado como sustrato, sobre los rendimientos de grana por cladodio.
- Determinar la influencia de la fertilización del nopal utilizado como sustrato, sobre la calidad de la grana.
- Evaluar la rentabilidad económica de la producción y comercialización de grana cochinilla en un esquema intensivo de producción.

2.2. Hipótesis general

H_i: El estado nutricional de *Opuntia ficus-indica*, proporcionado como sustrato alimenticio, determina los rendimientos y calidad del ácido carmínico de la grana-cochinilla.

2.2.1. Hipótesis específicas

H₁: Los rendimientos en peso y número de insectos por cladodio, son distintos entre los cuatro tratamientos de fertilización aplicados.

H₂: El estado nutricional del nopal hospedero determina el porcentaje de ácido carmínico que se extrae de la grana.

H₃: La producción y comercialización de grana en un esquema intensivo en invernadero es una actividad viable económicamente.

2.3. Justificación

Con base en el Proyecto Monitor de Sequía para América del Norte (NADM) para el final de la temporada estival 2008 en dos terceras partes del territorio mexicano prevalecían las condiciones de sequía moderada ocasionando con esto pérdidas a agricultores y ganaderos, quienes también han sido afectados por otros fenómenos, como el cambio climático, que es un proceso en marcha que ha tenido y tendrá importantes consecuencias sobre la disponibilidad del agua en nuestro país (Comisión Nacional del Agua, 2010). Entre los escenarios que plantea el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) se espera que se intensifique el estrés padecido por los recursos hídricos como consecuencia del crecimiento poblacional y en particular por los procesos de urbanización. Los cambios en la intensidad y distribución de la precipitación y la temperatura producirán cambios en el escurrimiento y disponibilidad de agua, las áreas afectadas por sequías se proyecta que aumenten en extensión, así también se prevé un aumento significativo en eventos de lluvias torrenciales (Comisión Nacional del Agua, 2010).

Ante este panorama, se espera que nuestro país enfrente potenciales problemas de estrés hídrico, y a pesar de ello, se esperan grandes incrementos en la demanda de agua para la agricultura de riego, la cual ya en estos momentos, es una de las actividades que consume los mayores volúmenes de agua a nivel nacional, superiores a los utilizados por el sector público, industrial y termoeléctrico en nuestro país (Comisión Nacional del Agua, 2010). Además, a la carencia de agua también se suman problemas como altas temperaturas, desertificación, erosión de suelo, salinización, falta de cubierta vegetal, en suma características que incrementan las áreas no aptas para la agricultura tradicional, pero que pueden ser aprovechadas por otros cultivos, por lo que es necesario buscar alternativas para estas regiones.

En este contexto el cultivo del nopal para la cría de grana cochinilla constituye una de ellas, ya que el nopal es una planta adaptada a condiciones de fuerte estrés ambiental, se le puede encontrar en condiciones adversas de suelo, temperatura,

lluvia y altura sobre el nivel del mar (Saéñz, 2006); debido a su amplia adaptación constituye una alternativa de cultivo para áreas donde difícilmente crecen otras especies y que en nuestro país alcanzan el 60% de la superficie total (Briseño, 2001). Además el uso de las nopaleras para la producción de grana cochinilla, es una actividad alternativa que también significaría una fuente de ingresos para el campesino de regiones ecológicamente desfavorables (Méndez *et al.*, 1996).

La grana cochinilla es un insecto a partir del cual se extrae el ácido carmínico, que es la materia prima necesaria en diversas industrias a nivel mundial y cuya demanda es cada vez mayor debido a que es uno de los pocos colorantes naturales que ha demostrado no tener efectos perjudiciales a la salud. Los precios internacionales de la grana cochinilla de primera calidad, han llegado a alcanzar en su mejor momento los 100 dólares americanos por kilogramo, cuando su porcentaje de ácido carmínico es superior al 18 %, como lo establece el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y Normas Técnicas (ITINTEC), ubicado en el Perú (Aldama-Aguilera y Llanderal-Cazáres, 2003 y Aldama *et al.*, 2005). Para determinar la calidad de la grana, el contenido de humedad y cenizas son parámetros importantes, pero el contenido de ácido carminíco es la característica determinante de la calidad de los derivados de la grana, de hecho esta característica es la razón por la que la grana fina tiene un valor elevado en comparación con la grana silvestre, cuyo porcentaje de concentración de colorante es menor (Briseño, 2001).

Históricamente durante la colonia México fue el primer y principal productor y exportador de grana, sin embargo en 1932 realizó las últimas exportaciones de este producto, restringiendo posteriormente su cultivo y uso a fines artesanales.

Actualmente México ya no exporta grana cochinilla; la producción de este insecto a nivel mundial es cubierta principalmente por países como Perú, Brasil, Argentina, Colombia y Venezuela. Cabe señalar que La Asociación latinoamericana de integración de mercados (ALADI) menciona que México es uno de los principales

destinos para las exportaciones de carmín esencialmente de Colombia, que equivalen a un monto de 3 millones de dólares americanos para el año 2002 (Díaz y Ávila, 2002), recursos que bien podrían quedarse en manos de productores mexicanos, ya que nuestro país tiene todas las características climáticas, geográficas, culturales, sociales y de tradición para producir cochinilla de buena calidad, con alto porcentaje de ácido carmínico.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Reseña histórica de la grana

El uso de la cochinilla para obtener color rojo es una práctica milenaria en numerosas culturas de América Precolombina, la cochinilla del nopal (*Dactylopius coccus* Costa) se utilizaba para teñir o pintar diversos artículos y prendas cotidianas y ceremoniales. En México, su uso se remonta al siglo X d.C., antes de la incursión de los pueblos Toltecas (Villaseñor, 2010), era una práctica extendida en la mayoría de las culturas prehispánicas de gran importancia cultural, social, económica y religiosa, debido a las diversas connotaciones y significado que estas culturas daban al color rojo. El color rojo representaba la sangre, los rayos del sol, el fuego, y a varios de los dioses principales. Los Teotihuacanos y los Toltecas usaban grana para teñir telas, decorar edificios, colorear panes ceremoniales, códices y murales (MacGregor, 1976 en: Vigueras y Portillo, 2001), además de la importancia cultural que tenía la grana su valor económico se vio reflejado en el código Mendocino en donde aparece como tributo que 394 poblaciones tenían que pagar al emperador de los Aztecas Moctezuma (Pérez-Sandi, 1999 y Pérez-Sandi y Becerra, 2001).

Durante la época de la Colonia solo la Nueva España (México) produjo grana cochinilla, que era criada en plantas de nopal a la intemperie. La primera exportación a Europa fue en 1523 (Villaseñor, 2010) y llegó a ser el tercer producto que se exportaba después del oro y la plata. El auge de la cochinilla de nopal alcanzó su máximo punto en 1575 con una producción en Oaxaca de 7000 arrobas (80,542 kg), lo que equivale a 259,000.00 pesos, suma considerable en el siglo XVI. La creciente demanda de la cochinilla de nopal propició la adulteración de la misma, que era mezclada con grana silvestre (especie del género *Dactylopius* que produce carmín de menor calidad), ceniza, talco, harina, etc. Para frenar estos fraudes se crea en 1572 el cargo de juez de grana en Puebla y Oaxaca que se encargaba de revisar la calidad de la grana cochinilla antes de ser enviada a Sevilla. Los altos costos del juez y el registro, impuestos que los productores mexicanos no lograban pagar fueron

causales de la decadencia del cultivo de la grana cochinilla, por lo que su producción y cultivo llegó a su punto más bajo en el periodo comprendido entre los años 1805 y 1818 (Pérez-Sandi y Becerra, 2001 y Pérez-Sandi, 1999).

El descubrimiento de los colorantes artificiales en 1856 (PROGRANA, 1999) pone fin a la utilización de la grana cochinilla como pigmento por lo que en 1890 México sólo exportó 6 kg y en 1932 se realiza la última exportación de cochinilla mexicana con volumen no significativo (Pérez-Sandi, 1999). En México el cultivo de la grana cochinilla solo se mantuvo gracias a la actividad de los artesanos, que como tradición la utilizan para teñir sus productos (Pérez-Sandi y Becerra, 2001).

Desde 1976 la demanda de la cochinilla nuevamente ha venido en aumento debido a la prohibición de algunos colorantes químicos artificiales potencialmente cancerígenos, al día de hoy la demanda mundial es mayor a 1000 toneladas anuales, lamentablemente México ya no produce cochinilla para exportar como lo hizo durante siglos, lo cual permitió que países como Francia, algunos de Centro y Sudamérica y otros de África comenzaran con la producción masiva, y otros más como Perú, (que produce 720 t año⁻¹), Chile (106 t año⁻¹) e Islas Canarias (30 t año⁻¹) acapararan el mercado mundial de la grana (Pérez-Sandi y Becerra, 2001), estos últimos son los principales productores y exportadores (Campos-Figueroa y Llanderal-Cázares, 2003) y han ocupado a la grana como un importante motor de su economía ya que en los últimos años los precios de la cochinilla en el mercado internacional han variado de 11 a 120 dólares el kg (Pérez-Sandi y Becerra, 2001).

Actualmente la grana cochinilla aparece en las reglamentaciones de la agencia de medicamentos y alimentos de Estados Unidos de Norteamérica (U.S. Government, 2002) y es avalada por la Comunidad Europea como colorante inocuo (European Union, 1989; European Union, 1994), por lo que a partir de 1960 la cochinilla ha tenido una aplicación generalizada en la industria de alimentos, cosmética y farmacológica (Pérez-Sandi, 1999; Pérez-Sandi y Becerra, 2001; Aldama-Aguilera y Llanderal-Cazáres, 2003; Aldama *et al*, 2005).

3.2. Clasificación taxonómica de la grana cochinilla fina

La clasificación taxonómica de la grana o cochinilla de nopal (*Dactylopius coccus* Costa) es controversial. De acuerdo a Morón y Terrón (1988) y a Nobel (2002) pertenece al orden Homoptera, nombre más común utilizado en México para el grupo de insectos succionadores, a este orden también se le ha denominado Hemíptera-Homoptera y/o Rhynchota-Homoptera, lo que ha generado confusión entre diferentes autores para determinar la ubicación taxonómica de la grana. Los autores antes mencionados clasifican a la grana dentro del Suborden Sternorrhyncha, en la superfamilia Coccoidea. Algunos otros autores ubican taxonómicamente a este insecto en el orden Hemíptera (Ramos y Serna, 2004) y todos ellos lo hacen dentro de la familia Dactylopiidae, que consiste en un solo género con nueve especies (Claps y De Haro, 2001).

La clasificación taxonómica de la grana de acuerdo a Portilla *et al.* (2005) es:

Phylum Arthropoda
 Clase Insecta
 Orden Hemiptera
 Suborden Sternorrhyncha
 Superfamilia Coccoidea
 Familia Dactylopiidae
 Género *Dactylopius*
 Especie *Dactylopius coccus* Costa

Los coccoideos de la familia Dactylopiidae son conocidos como “insectos escama o grana”, presentan dimorfismo sexual (Nobel, 2002); la mayoría de las hembras son ápteras, apodas y están cubiertas de una secreción cerosa de aspecto variable, características responsables de una vida sésil en el estado adulto. Los machos adultos, en cambio, poseen un par de alas, aparato bucal atrofiado y tienen los tarsos formados por un solo artejo con una uña. Estos insectos no presentan estigmas abdominales, placa gigidial, anillo y tubo anal; y la parte posterior del cuerpo no se encuentra hendida. Los orificios de las glándulas dorsales productoras

de cera no tienen forma de 8 y los conductos de las mismas son diminutos, levantándose desde el centro de un conjunto de poros sésiles (Morón y Terrón, 1988), poseen el ápice de las antenas no diferenciado en un proceso terminal (Ramos y Serna, 2004).

3.3. Biología de la grana fina (*Dactylopius coccus*)

Los insectos de la especie *Dactylopius coccus* Costa presentan un marcado dimorfismo sexual, las hembras son hemimetábolos y los machos holometábolos, las primeras se caracterizan por poseer metamorfosis incompleta y su ciclo de vida consta de huevo, dos instares ninfales (ninfa I, ninfa II) y adulto, en cambio, los machos después de la ninfa del segundo instar forman un capullo donde se desarrollan la prepupa y pupa, antes de la ocurrencia del estado adulto (Claps y De Haro, 2001). La reproducción de los individuos de ésta especie es sexual (Nobel, 2002), son ovovivíparos, es decir que la hembra puede depositar directamente preninfas o huevos (Méndez *et al.* 2010); aunque también se ha reportado la partenogénesis (Nobel, 2002).

Los huevos son de forma oval con bordes redondeados, con superficie lisa y brillante de color rojo claro cuando están recién depositados (Nobel, 2002), que se tornan posteriormente de color rojo intenso, miden aproximadamente 0.7 mm de longitud por 0.3 mm de ancho (Llanderal, 2004, Méndez, 2001).

La ninfa de primer instar (ninfa I), se caracteriza por la forma oval de su cuerpo, es de color rojo, recién emergida mide en promedio 0.85 mm de longitud por 0.35 mm de ancho, posee ojos ovalados y convexos en posición lateral, cercanos a las antenas, que están constituidas por seis segmentos. Presenta aparato bucal adaptado para succionar savia del tejido vegetal formado por cuatro estiletes largos que se enrollan en el interior del cuerpo. El meso y metatórax poseen un par de espiráculos cada uno, el abdomen es de ocho segmentos bien definidos que se van reduciendo en la parte posterior, presenta tres pares de patas largas y delgadas, con

tarso de un segmento, que a su vez posee una uña (Llanderal y Nieto, 2001; Llanderal, 2004).

La presencia, número y longitud de túbulos en este estadio permite diferenciar sexualmente a los insectos después de seis días de emergidos. La hembra tiene 20 túbulos filamentosos largos dirigidos hacia adelante lo que le da una apariencia algodonosa, también presenta setas apicales, y el macho 27 túbulos cortos y sólo cuatro más desarrollados (Montiel, 1995).

La ninfa I después de eclosionar se inicia como migrante por hasta 5 días, para posteriormente fijarse en el cladodio del nopal por un período de 20 a 30 días, antes de mudar, y dar origen a la ninfa II (Méndez, 2001). La ninfa de segundo instar (ninfa II) presenta cuerpo ovoide de color rojo oscuro, mide aproximadamente 2.2 mm de largo por 1.2 mm de ancho, los filamentos algodonosos de la ninfa I son reemplazados por una cubierta cerosa de tipo pulverulento (Llanderal y Nieto, 2001); es atraída por la luz aunque para su establecimiento busca los lugares sombreados donde inserta sus estiletes en el tejido vegetal y comienza a alimentarse, por lo que ya no hay desplazamiento (Llanderal, 2004), este estadio dura entre 8 y 20 días dando origen de a la hembra adulta, a diferencia del macho que le toma entre 18 y 22 días llegar al estado adulto (Méndez, 1992; Llanderal y Nieto, 2001; Méndez, 2001).

El cuerpo de la hembra adulta es oval, plano ventralmente y convexo dorsalmente, de color rojo oscuro, blando con cutícula delgada y flexible, en ella hay poros, túbulos y setas, aunque carecen de cubierta protectora; las antenas y patas no sobresalen de los márgenes laterales del cuerpo, las antenas tienen de seis a siete segmentos. En el meso y metatórax tienen un par de espiráculos fuertemente esclerosados y grandes, con el opérculo bien desarrollado; el aparato bucal es del tipo picador chupador: la probóscide está formada por tres pares de estiletes, el primero y segundo forman el labio que es el aparato succionador, constituido por

estiletes maxilares y mandibulares, y el tercer par forma el labro que funciona como un instrumento cortante (Marín y Cisneros, 1977).

La hembra es receptiva después de 2 a 5 días de haber llegado al estado adulto, por lo que la cópula se da aproximadamente al día 55 de la eclosión; el período de preoviposición tiene una duración de entre 30 y 100 días (Méndez, 2001) y el de oviposición de 10 a 20 días depositando un promedio de 419 huevecillos (Méndez, 1992), o de acuerdo a Méndez (2001) 372 ninfas aproximadamente.

El macho adulto presenta cuerpo de color rojo, con segmentos bien diferenciados, el abdomen está integrado por nueve segmentos de consistencia membranosa y del extremo posterior se originan dos filamentos caudales de color blanco. Presenta un par de alas bien desarrolladas con venación reducida, de color blanco con bordes redondeados; las patas son largas y delgadas, el tarso de un segmento con una uña. Se observa la presencia de antenas de 10 segmentos, ojos y ocelos (Llanderal, 2004). Los machos adultos no tienen la capacidad de alimentarse debido a que poseen un aparato bucal atrofiado. La duración de los machos en estado adulto es de tres días aproximadamente, y el total de su ciclo biológico puede durar entre 51 y 63 días, en cambio el de la hembra puede oscilar entre 64 y 111 días (Méndez, 1992; Llanderal y Nieto, 2001; Méndez, 2001).

3.4. Factores determinantes del desarrollo de la grana-cochinilla

3.4.1. Factores abióticos

A nivel mundial se reconoce la existencia de nueve especies de grana cochinilla (Volchansky, *et al.*, 1999), en México se tienen reportes de la presencia de seis de ellas (Portillo y Vigueras, 2006), casi todas son consideradas plagas del nopal y se han englobado en la categoría, que la mayoría de los autores ha llamado grana silvestre; a excepción de *Dactylopius coccus* Costa que ha sido denominada grana fina, y es ampliamente utilizada por el hombre como materia prima tradicional

para la obtención de ácido carmínico, debido a que los cuerpos de las hembras de ésta especie producen ácido carmínico de mayor calidad y cantidad, y sus características permiten mejor manipulación que la grana silvestre.

De manera natural cada organismo requiere de condiciones precisas mínimas para su crecimiento y reproducción sin las cuales su desarrollo quedaría restringido, es así que la distribución de cada especie está determinada por sus límites de tolerancia a las variaciones de factores ambientales y factores bióticos, que son los responsables de mantener en equilibrio la población (Krebs, 1985). Sin embargo, cuando lo que se requiere es incrementar la producción de un organismo, como en el caso de *Dactylopius coccus*, se está generando un desequilibrio, que asegurará la muerte del hospedante, por la sobrepoblación del insecto lograda por la inducción de condiciones óptimas para su desarrollo. En este sentido, se han realizado diversas investigaciones para conocer las condiciones óptimas para la producción intensiva de grana (Méndez, 1992; Cervantes, 2004; Viguera y Portillo, 2001; Llanderal y Nieto, 2001).

Méndez (1992) señaló que 24° C es la temperatura promedio más favorable para el desarrollo poblacional de insectos de la especie *Dactylopius coccus* Costa en invernadero, ya que a esta temperatura se puede obtener alta fecundidad, supervivencia y pronto inicio de la oviposición. El mismo autor menciona que conforme aumenta la temperatura se incrementa el establecimiento inicial de ninfas, disminuye la proporción de hembras: machos, y disminuye la duración del ciclo biológico del insecto, sin embargo también con el aumento de la temperatura la probabilidad de que estos lleguen al estado adulto es menor. En cambio cuando la temperatura disminuye, a un promedio 20 °C ocurre la tasa más alta de sobrevivencia poblacional, no obstante se reduce significativamente la tasa de reproducción.

Durante la producción de grana a la intemperie es favorable la baja o nula precipitación, ya que la lluvia y/o granizo son responsables de la eliminación de hasta

el 100 % de poblaciones de grana por desprendimiento, así mismo, el incremento de la humedad relativa tiene un efecto negativo en el crecimiento y desarrollo del insecto (Cervantes, 2004). Adicionalmente puede generar infecciones por hongos en los cladodios de nopal causando con esto pérdidas considerables de cochinilla (Vigueras y Portillo, 2001), no obstante, en la producción de grana bajo invernadero la humedad es importante para mantener la turgencia de las pencas e hidratación de los insectos, sobre todo durante los primeros estados de desarrollo (Llanderal y Nieto, 2001).

Vigueras y Portillo (2001) mencionan que el viento al momento de la infestación es causal del arrastre de las ninfas de cochinilla fuera de los cladodios hospedantes e incluso responsable del desprendimiento de organismos ya establecidos (Llanderal y Nieto, 2001), lo que implica la muerte, pues estos no pueden volver a insertar estiletes en el cladodio ya que su aparato bucal es no retráctil; además de lo anterior, los fuertes vientos pueden impedir que los machos fertilicen adecuadamente a las hembras (Cervantes, 2004).

Aldama-Aguilera y Llanderal-Cazáres (2003) han mencionado la posibilidad de que la incidencia directa de los rayos solares afecte la duración del ciclo biológico del insecto y que la intensidad luminosa influya en el establecimiento de las ninfas y en la oviposición de las hembras.

3.4.2. Factores bióticos

Otros factores que son determinantes para la producción de grana son la especie y variedad de nopal hospedante (Tovar *et al.*, 2005; Méndez *et al.*, 2010), el estado fisiológico y nutricional del mismo (Rodríguez *et al.*, 2005), así como la presencia de enemigos de *Dactylopius coccus* Costa (Diodato *et al.*, 2004).

3.4.2.1. Características del nopal hospedante (*Opuntia ficus-indica*)

Las especies reportadas de cochinilla en el mundo, se encuentran asociadas principalmente a nopales de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, siendo *Opuntia ficus indica*, *Opuntia tormentosa*, *Opuntia filifera* y *Opuntia streptacantha* (Portillo y Vigueras, 2006) las especies más utilizadas para el cultivo de grana fina.

En México, los nopales de la especie *Opuntia ficus-indica* son los más utilizados para la cría de insectos de la especie *Dactylopius coccus* Costa, debido a algunas características morfológicas tales como ausencia total o parcial de espinas, cladodios más grandes en comparación con otras especies de nopal, tamaño y grosor de los mismos, que facilitan la cría de grana y su monitoreo (Nobel, 2002).

Los nopales de la especie *Opuntia ficus-indica* son originarios de América tropical y subtropical y debido a su gran adaptación se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas (Sáenz *et al.*, 2006). Pertenecen a la Familia Cactaceae y al género *Opuntia* (GRIN 2005).

Su anatomía y morfología está adaptada a condiciones de fuerte estrés ambiental. Son plantas arbustivas a arborescentes, de 1.7 m de altura aproximadamente, presentan tallos suculentos o cladodios, comúnmente llamados pencas, con forma elíptica, por lo general son de color verde pálido a oscuro, con 6 a 19 series de aréolas espirales, con una distancia entre series de 2.7 a 5 cm. En pencas de 2 a 3 años de edad la longitud es de 27 a 63 cm, el ancho de 14 a 32 cm y el grosor de 1 a 3 cm (Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

El grosor cuticular de acuerdo a Tovar *et al.* (2006) oscila entre 9 y 12.66 μm y entre 175 y 200 μm de acuerdo a Silva *et al.* (2001). Así mismo, grosor de la epidermis es de 10.91 a 12.66 μm (Tovar *et al.*, 2006).

Las espinas usualmente están ausentes, pero a veces hay pocos cladodios con una espina generalmente acicular hundida y blanca de 3 a 10 mm de longitud. Las flores son de antesis diurna hasta 10 por cladodio, generalmente se encuentran en la parte apical del margen del cladodio. Las plantas de esta especie muestran pericarpelo cilíndrico, algunas veces obovoide, ovoide o cónico de 3.8 a 7.5 cm de longitud y de 1.9 a 3.8 cm de diámetro. El fruto es esférico, cilíndrico o elíptico, frecuentemente amarillo brillante y de amarillo pálido a rojo púrpura, de 5 a 10 cm de largo y de 4 a 7 cm de ancho, con un peso de 45 a 223 g, la pulpa del mismo color que la cáscara o de color contrastante y jugosa (Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

3.4.2.1.1. Oxalatos de calcio

El calcio es el principal constituyente mineral en plantas del género *Opuntia* y puede constituir del 8 al 50 % del peso seco de la planta. Se encuentra en forma libre o en forma de oxalatos de calcio. Los oxalatos de calcio se presentan en dos estados de hidratación: weddellita ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) con formas tetragonales y whewellita ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), con forma de estrella con puntas agudas (Monje y Baran, 2002).

Dentro de las funciones de los oxalatos de calcio al interior de la planta está el disminuir la toxicidad del ácido oxálico precipitándolo (Franceschi y Loewus, 1995) y/o fungir como almacén de nutrientes (Lane, 1994), en respuesta a la presencia de altos niveles de calcio (Kostman *et al.*, 2001).

Rodríguez-García *et al.*, (s.f.) observaron que los cristales de oxalato de calcio se localizan en la parte externa de la penca y su tamaño se incrementa en función del estado de maduración de la misma, así mismo Tovar *et al.* (2007) encontró que no hay diferencia entre la densidad de cristales de oxalatos en las partes superior, media y basal de los cladodios.

El número de cristales de diferentes cultivares de la especie *Opuntia ficus-indica* analizados por Tovar *et al.* (2007) oscila entre 18 y 57 mm^{-2} en promedio.

En cuanto a la relación entre el contenido de oxalatos de calcio y la producción de grana, se ha observado que los cultivares de nopal con altos contenidos de oxalatos de calcio y de calcio disuelto, presentan menor producción del insecto (Tovar, 2008).

3.4.2.2. Fertilización del nopal

Se ha observado que la grana fina no se desarrolla por igual en todos los cultivares de una misma especie de nopal. La fertilización, el estado nutricional, la condición fisiológica y la edad del cladodio son algunas de las características que influyen en el desarrollo y producción de grana.

Los abonos o fertilizantes son materiales que se aplican directa o indirectamente a las plantas, para favorecer su crecimiento, aumentar su producción o mejorar su calidad, en suma, ayudan a favorecer la multiplicación de la masa vegetal y regular el crecimiento de determinadas partes de la planta (órganos vegetativos o generativos), mejorando con esto la calidad comercial y nutritiva de la misma (Finck, 1988).

Los fertilizantes desde el punto de vista agrícola pueden ser minerales o químicos, y abonos orgánicos. Los primeros se componen de uno o varios compuestos químicos, que en la mayoría de los casos contienen sustancias nutritivas minerales o las producen después de su transformación; y los segundos son mezclas de muchos compuestos orgánicos; no obstante, pueden ser también compuestos químicos independientes de acción retardada (Finck, 1988).

En la producción de nopal se han observado buenos resultados combinando estiércoles con fertilizantes químicos (García, 1972; Mondragón et al., 2003), aunque no hay consenso en cuanto a las dosis de fertilización; Méndez (2003) recomienda aplicar entre 100 y 120 kg de nitrógeno (N), 80 a 100 kg de fósforo (P) y 100 a 120

kg de potasio (K) y Mondragón *et al.* (2003) proponen complementar la fertilización química con un mínimo de 20 t ha⁻¹ de estiércol vacuno cada dos años.

Por otro lado, Tekelenburg (1995) señala que el contenido de ácido carmínico de la grana y la densidad de población del insecto por cladodio son favorecidos por la fertilización orgánica, observando mejores resultados al aplicar gallinaza y, en menor grado, estiércol vacuno, porcino y composta.

Lima *et al.* (1974) citado por Cordeiro y Gonzaga (2003) observaron que la respuesta de *Opuntia* a aplicaciones de nitrógeno se dio hasta 100 kg ha⁻¹, mientras que la del fósforo se observó hasta 50 kg ha⁻¹ P₂O₅. Además se ha observado un efecto antagónico del N sobre el P, ya que al incrementar dosis de fertilización del N la concentración de P en cladodios de *O. engelmani* decreció (Nobel *et al.*, 1987 citado por Lara, 1990). El mismo autor determinó que altas dosis de N y P₂O₅ incrementan el número de cladodios por planta, situación que también puede generarse por una alta relación N/P consecuencia de altas dosis de estiércol (Gathaara *et al.*, 1989).

No obstante, Viguera y Portillo (1995) mencionan que el porcentaje de ácido carmínico de la grana se ve favorecido por la ausencia de K, N, y microelementos y por la presencia de azufre (S). El P, calcio (Ca) y S son necesarios para el establecimiento de ninfas I y desarrollo de ninfas II (Viguera *et al.*, 1993), y el aumento en la concentración de K tiene como consecuencia el incremento en la producción de grana (Tovar *et al.*, 2008).

Por otro lado, el alto contenido de sodio (Na) en suelo inhibe linealmente el crecimiento de *Opuntia* (Nobel, 2003). Berry y Nobel (1985) encontraron que valores de 150 ppm de sodio se asocian con una reducción del 50 % en acumulación de biomasa, debido a que el sodio no es transportado fácilmente de las raíces a la parte aérea, ni de los cladodios basales a los brotes nuevos.

Las aplicaciones de cobre (Cu), zinc (Zn) y boro (B) incrementan la concentración de estos elementos en los cladodios de *Opuntia ficus indica*, en cambio, las aplicaciones de cloruro de sodio (NaCl) no afectan la concentración en plantas de la misma especie (Berry y Nobel, 1985).

Con base en las exigencias nutrimentales de nopal un suelo se puede considerar suficientemente fértil, si guarda las condiciones descritas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Fertilidad óptima del suelo para el crecimiento de nopal

Nutrimento	Concentración
Nitrógeno total (N)	0.5-1.0 (%)
Fosforo asimilable (P ₂ O ₅)	80-250 (ppm)
Oxido de Potasio asimilable (K ₂ O)	150-250 (ppm)
Calcio (Ca ⁺⁺)	2000-3000 (ppm)
Magnesio (Mg ⁺⁺)	200-300 (ppm)
Hierro (Fe ⁺⁺)	5-10 (ppm)

Fuente: Fanzone (1991) en Méndez y Gallegos (2001)

3.5. Evaluación económica

En los principales países productores de grana a nivel mundial, el cultivo del insecto se realiza a la intemperie, de la misma manera que se realizó tradicionalmente en el México Colonial, donde se necesitaron de acuerdo a Castillo (1987) citado por Santibáñez (1990) entre 23 y 48 mil núcleos familiares para producir 700 toneladas de grana al año.

Ante la creciente demanda de grana, en nuestro país se han hecho varias propuestas para su producción, dentro de las cuales destacan; el programa Nacional de la Grana Cochinilla (PROGRANA, 1999), el modelo de Cervantes (2004) y el proyecto Campo Carmín.

El Programa Nacional de Grana Cochinilla (PROGRANA, 1999) fue elaborado bajo la Coordinación de la Dirección General de Desarrollo Rural de la Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), con la participación de investigadores del Colegio de Postgraduados, el Fondo Nacional de Empresas en Solidaridad-Secretaría de Desarrollo Social (FONAES-SEDESOL) y con participantes del Consejo Mexicano del Nopal y la Tuna, se basaba en el aprovechamiento adicional de plantaciones de nopal para la producción de grana en módulos de traspatio, con una captación de la producción por regiones.

Cervantes, 2004 propuso también un modelo de producción de cochinilla familiar, enfocado a la región Oaxaqueña, el cual se basaba en la producción doméstica del insecto, en plantas en pie, a la intemperie y la captación de la producción por medio de una empresa integradora. La plantación debería tener una extensión de 500 ha, distribuidas en 10 mil huertos familiares, para obtener anualmente un volumen de 100 t de grana, o bien 10 kg de grana al año por familia. Sin embargo, de acuerdo a este modelo durante los dos primeros años, período de crecimiento de los nopales, los productores aportarían su fuerza de trabajo sin percibir ingreso alguno.

En 2003, en nuestro país, se llevó a la práctica un proyecto denominado Campo Carmín que se basa en la producción intensiva de grana cochinilla en invernadero, en condiciones semicontroladas y en cladodios colgados, obteniendo grana de primera calidad con contenidos entre 18 y 21 % de ácido carmínico.

De los proyectos antes mencionados el único que se concretó y subsiste hasta la fecha es el implementado en Campo Carmín. Es por ello que es necesario recurrir a la evaluación de proyectos para conocer su rentabilidad económica y social de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable, para la correcta asignación de recursos económicos (Baca, 2001). Y en especial la evaluación económica, es una parte importante de la evaluación de

proyectos pues es la que al final permite decidir la implantación y mantenimiento del mismo (Baca, 2001).

La evaluación económica comprende la construcción de los estados financieros para obtener información que permita conocer la inversión, ingresos, gastos, utilidad por la operación de una empresa, nivel de inventarios requeridos, capital de trabajo, depreciaciones, amortizaciones, sueldos, etc. y sobre todo la determinación de las utilidades para evaluar el rendimiento que proporcionan las operaciones del proyecto de inversión (Alcaraz, 2006).

3.5.1. Elementos necesarios para realizar la evaluación económica

Para la realización de la evaluación económica es necesario determinar costos de producción, de administración, de venta y financieros, inversión total fija y diferida, depreciaciones y amortizaciones, capital de trabajo y punto de equilibrio.

3.5.1.1. Costos de producción

De acuerdo a Morales y Morales (2004) los costos de producción, representan todas las erogaciones realizadas desde la adquisición de la materia prima hasta su transformación en artículos de consumo o servicio. Los elementos que incluye este rubro dependen del giro de la empresa, así como del tamaño y estructura de los activos que posea, pero de acuerdo a Baca (2001) en general están formados por materia prima, mano de obra directa, materiales indirectos, costos de mantenimiento y cargos por depreciación y amortización.

- **Materia prima.** Son los materiales que entran y forman parte del producto terminado.
- **Mano de obra directa.** Es la que se utiliza para transformar la materia prima en producto terminado.

- **Mano de obra indirecta.** Es la necesaria en el departamento de producción, pero que no interviene directamente en la transformación de la materia prima.
- **Materiales indirectos.** Forman parte auxiliar en la presentación del producto terminado.
- **Costo de los insumos.** Todos los insumos necesarios para el proceso productivo a excepción de los antes mencionados.

3.5.1.2. Costos de administración

Son los costos provenientes de realizar la función de administración dentro de la empresa (Baca, 2001).

3.5.1.3. Costos de venta

Incluye los costos de mercadotecnia y los necesarios para hacer llegar el producto al intermediario o consumidor (Baca, 2001).

3.5.1.4. Costos financieros

Son los intereses que se deben pagar en relación con capitales obtenidos en préstamo (Baca, 2001).

3.5.1.5. Inversión total fija y diferida

Comprende la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y diferidos o intangibles necesarios para iniciar las operaciones de la empresa (Baca, 2001).

Los activos de acuerdo a Alcaraz (2006) son los recursos económicos propiedad de la empresa, que se espera rindan un beneficio futuro. Pueden ser tangibles o intangibles; los primeros son los bienes de los que la empresa no puede desprenderse fácilmente sin que con ello ocasione problemas a sus actividades

productivas, los activos intangibles incluyen patentes de invención, nombres comerciales, asistencia técnica, marcas, diseños comerciales, contratos de servicio, estudios en *pro* del mejor funcionamiento de la empresa, estudios de evaluación, capacitación del personal, etc. (Baca, 2001).

3.5.1.6. Capital de trabajo

Es la diferencia aritmética entre el activo circulante y el pasivo circulante (Baca, 2001), es decir, son los bienes con los que cuenta la empresa después de cubrir la deuda a corto plazo (Alcaraz, 2006) y está representado por el capital adicional con que hay que contar para que empiece a funcionar la empresa (Baca, 2001).

En este rubro se incluye el efectivo, caja y bancos, inventario de materias primas, insumos auxiliares, efectivo necesario en el proceso de producción que se venderá a crédito y las cuentas por cobrar de los créditos otorgados (Morales y Morales, 2005).

3.5.1.7. Punto de equilibrio

Es la determinación del volumen de ventas o ingresos necesarios que cubrirán la totalidad de los costos; es decir el punto en el cual la empresa logrará la recuperación de sus costos. De acuerdo a Morales y Morales (2004) la fórmula para determinar el punto de equilibrio es:

$$Pe = \frac{CF}{2PV - CV}$$

Donde:

Pe=Punto de equilibrio

CF=Costo fijo

CV=Costo variable

PV=Precio de venta

3.5.2. Métodos de evaluación económica

La evaluación económica se puede realizar utilizando métodos que no consideran el valor del dinero en el tiempo y métodos que si consideran el valor del dinero en el tiempo. Dentro de los primeros se tienen como indicadores el Periodo de recuperación, Tasa simple de rendimiento y Tasa promedio de rendimiento. Dentro de los métodos que si consideran el valor del dinero en el tiempo se encuentran el Valor Presente Neto, Tasa Interna de Rendimiento, Índice de Rendimiento, Tasa interna de Rendimiento Modificada, Análisis de Costo beneficio y Periodo de recuperación con flujos netos de efectivo a valor presente (Morales y Morales, 2004).

3.5.2.1. Valor Presente Neto

El Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN) es un indicador que se utiliza para evaluar si conviene invertir en el presente en un proyecto y si en el futuro convendría recibir ese rendimiento (Alcaraz, 2006). Se define como la suma de valores actuales o presentes de los flujos de fondos o efectivo, menos la suma de los valores actuales de las inversiones netas (Morales y Morales, 2004), es decir, es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial (Baca, 2001). La fórmula para calcular el VPN de acuerdo a Morales y Morales (2004) es:

$$VPN=VAN=\frac{FNE_1}{(1+i)^1}+\frac{FNE_2}{(1+i)^2}+\frac{FNE_3}{(1+i)^3}+\dots+\frac{FNE_n}{(1+i)^n}-\left[IIN-\frac{VS}{(1+i)^n} \right]$$

O bien,

$$VPN=VAN=\sum_1^n \frac{FNE_n}{(1+i)^n}-\left[IIN-\frac{VS}{(1+i)^n} \right]$$

O bien,

$$VPN=VAN=\sum_1^n \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

VPN= Valor Presente Neto

VAN= Valor Actual Neto

FNE= Flujo Neto de Efectivo

IIN= Inversión Inicial Neta

i= Tasa de interés a la que se descuentan los flujos de efectivos

n = Corresponde al año en que se genera el flujo de efectivo que se trate

3.5.2.2. Tasa Interna de Rendimiento

La Tasa Interna de Rendimiento (TIR) es otro indicador de rentabilidad ampliamente aceptado, el cual muestra si conviene invertir en determinado proyecto. Se define como la tasa de descuento a la que el VAN de una inversión arroja un valor de cero y de manera general se interpreta como la tasa máxima de rendimiento que produce una alternativa de inversión (Morales y Morales, 2004).

De acuerdo a Morales y Morales (2004) se calcula utilizando la fórmula:

$$TIR.: VPN=VAN=\sum_1^n \frac{FNE}{(1+i)^n} - \left[IIN - \frac{VS}{(1+i)^n} \right] = 0$$

Donde:

VPN= Valor Presente Neto

VAN= Valor Actual Neto

FNE= Flujo Neto de Efectivo

IIN= Inversión Inicial Neta

I= Tasa de interés a la que se descuentan los flujos de efectivos

N = Corresponde al año en que se genera el flujo de efectivo que se trate

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

El experimento se desarrolló, con orientación este-oeste, en el invernadero III de la Sociedad de Producción Rural Campo Carmín, ubicado en el estado de Morelos. El estado de Morelos se ubica geográficamente al norte 19°08', al sur 18°20' de latitud norte; al este 98°38', al oeste 99°30' de longitud oeste. Colinda al norte con el Estado de México y el Distrito Federal; al este con México y Puebla; al sur con Puebla y Guerrero; y al oeste con Guerrero y México (INEGI, marco estadístico 2000 en INEGI, 2009).

Campo Carmín es un proyecto que se concretó en el año 2003, es dirigido por tres productoras y utiliza mano de obra femenina especializada en la producción de grana. Su finalidad es producir grana orgánica de forma intensiva, bajo invernadero, con fines comerciales y con autosuficiencia en la producción de cladodios de nopal que servirían como sustrato. El equipo de trabajo está conformado por las partes esenciales en la cadena productiva que son producción, investigación y transformación.

Se ubica en las coordenadas geográficas 18°45'17" de latitud norte y 99°11'37" de longitud oeste (Figura 1). Se encuentra en la región hidrológica Río Balsas (No. 18), específicamente en la cuenca Río Grande de Amacuzac (18F) (INEGI. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:250 000). Se ubica en las colindancias de los municipios de Emiliano Zapata y Xochitepec, en rango de altitud de 1000 a 1500 msnm, esta área se caracteriza por presentar clima cálido subhúmedo con lluvias en verano con temperatura media anual mayor de 22 °C y precipitación media anual de 1000 mm (INEGI. Carta de Climas, 1:1 000 000). La vegetación presente es secundaria y corresponde a selva baja caducifolia (INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación. 1:250 000), el uso de la tierra es mecanizada continua (INEGI. Uso Potencial, Agricultura, 1:1 000 000).

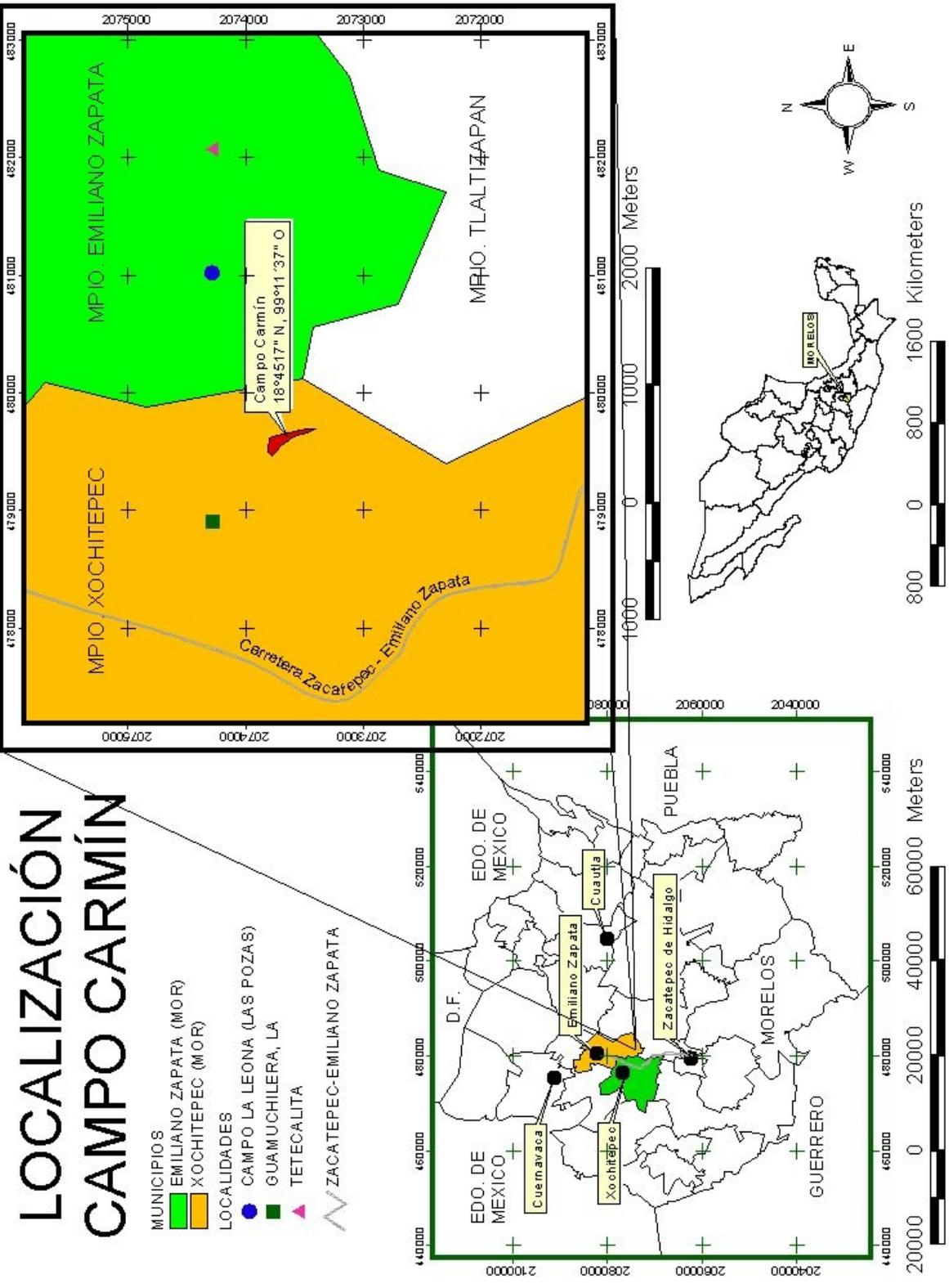


Figura 1. Localización de la zona de estudio

4.2. Definición y operacionalización de variables

Para cumplir con los objetivos propuestos en la presente investigación, se realizó un experimento bajo invernadero con la finalidad de determinar el efecto de la fertilización de nopales de la especie *Opuntia ficus-indica*, variedad Atlixco, sobre los rendimientos y calidad de grana (*Dactylopius coccus* Costa).

El pie de cría del insecto fue proporcionado por la Sociedad de Producción Rural Campo Carmín.

El método de infestación (o propagación) utilizado fue el de “cladodio infestador”, el cual consiste en colocar cladodios de nopal colgados en posición invertida en el estrato superior de la nopaloteca, dichos cladodios contienen hembras adultas en plena oviposición, y en el estrato inferior, una cama de cladodios sobre la cual caen huevos y ninfas. Cuando las ninfas se han anclado a la penca se introducen ganchos de alambre, mediante los cuales las pencas son colgadas en travesaños (Figura 2).



Figura 2. Método de infestación mediante “cladodio infestador”

El sistema de cría de grana empleado fue el de cladodio colgado invertido (cladodio suspendido) en invernadero. Este método de producción permite un eficiente aprovechamiento del espacio, fácil inspección y manejo de los cladodios, generalmente no presenta deformación ni rebrote y pese a que no es el que arroja mejores rendimientos su buen manejo y bajo costo justifican su utilización (Aldama-Aguilera y Llanderal-Cazáres, 2003)

Por medio de las variables respuesta rendimientos y calidad de grana, se evaluaron cuatro tratamientos de fertilización, química y orgánica, de nopal. Los cladodios de cada tratamiento de fertilización se obtuvieron de cuatro diferentes plantaciones, todas ellas ya establecidas en campo y con dosis de fertilización determinada por los propios productores. Los cladodios seleccionados fueron de seis meses de edad, turgentes, sanos y con tamaño aproximado de 40 por 20 cm. En el Cuadro 2 se describen las características de los tratamientos de fertilización.

Cuadro 2. Características de los tratamientos de fertilización

Tratamiento	Procedencia	Fertilización
Químico- orgánico (Fqo)	Atlixco, Puebla	1½ t Urea ha ⁻¹ año ⁻¹ y estiércol vacuno dos veces por año.
Orgánico (Fo)	Emiliano Zapata, Morelos	1lt NUTRIPRO forte® en 200 L de agua ha ⁻¹ mes ⁻¹ y estiércol vacuno y gallinaza una vez al año.
Químico (Fq)	Atlixco, Puebla	1½ t urea ha ⁻¹ al año
Sin Fertilización (sF)	Villanueva, Zacatecas	Ninguna

Los rendimientos de producción de grana se midieron a través de cuatro indicadores: número de hembras por cladodio, duración del ciclo biológico (días), peso fresco y seco por cladodio, estos últimos medidos en gramos (g).

La calidad de la grana se midió a través de la talla del insecto (mm) y del porcentaje de ácido carmínico.

A continuación se define cada uno de los indicadores:

- **Número de hembras por penca:** número total de hembras por unidad experimental (cladodio de nopal), en cara de infestación y cara opuesta.
- **Ciclo biológico:** número de días que tardan las hembras insecto *Dactylopius coccus* Costa en completar su desarrollo (huevo a inicio de reproducción).
- **Peso fresco:** peso de las hembras oviplenas obtenido al momento de la cosecha.
- **Peso seco:** peso de las hembras posterior a su sacrificio por desecación por 30 días a la sombra y eliminación de impurezas (ceras, resinas).
- **Porcentaje de ácido carmínico:** determinación de la cantidad de ácido carmínico por medio de un análisis espectrofotométrico de las muestras obtenidas a partir de la grana cosechada, empleando el método propuesto por González et al, 2002.
- **Talla:** medición del eje mayor y menor de cada insecto en milímetros.

4.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de parcelas divididas, para estudiar simultáneamente el efecto de dos factores, la altura con respecto al suelo y los tratamientos de fertilización, así como su interacción (Cochran y Cox, 1974). La altura que corresponde a la parcela principal cuenta con tres niveles 0.5 m, 1.0 m y 1.5 m del suelo. La modalidad de fertilización que corresponde a la subparcela cuenta con cuatro niveles, anidados dentro de la parcela principal, y son fertilización química (Fq), fertilización orgánica (Fo), fertilización química orgánica (Fqo) y sin aplicación de fertilizante (sF).

El factor correspondiente a las parcelas grandes se asignó a éstas utilizando un esquema de bloques al azar, con cuatro bloques como repeticiones. Las subparcelas se asignaron al azar dentro de cada parcela principal. Cada unidad

experimental estuvo conformada por cinco cladodios de nopal. Este diseño se representa simbólicamente en la Figura 3.

		Bloque 1			
		Régimen de fertilización (T _i)			
Altura (A _i)	A ₁ T ₁	A ₁ T ₂	A ₁ T ₃	A ₁ T ₄	
	A ₂ T ₁	A ₂ T ₂	A ₂ T ₃	A ₂ T ₄	
	A ₃ T ₁	A ₃ T ₂	A ₃ T ₃	A ₃ T ₄	

		Bloque 2			
		Régimen de fertilización (T _i)			
Altura (A _i)	A ₁ T ₁	A ₁ T ₂	A ₁ T ₃	A ₁ T ₄	
	A ₂ T ₁	A ₂ T ₂	A ₂ T ₃	A ₂ T ₄	
	A ₃ T ₁	A ₃ T ₂	A ₃ T ₃	A ₃ T ₄	

		Bloque 3			
		Régimen de fertilización (T _i)			
Altura (A _i)	A ₁ T ₁	A ₁ T ₂	A ₁ T ₃	A ₁ T ₄	
	A ₂ T ₁	A ₂ T ₂	A ₂ T ₃	A ₂ T ₄	
	A ₃ T ₁	A ₃ T ₂	A ₃ T ₃	A ₃ T ₄	

		Bloque 4			
		Régimen de fertilización (T _i)			
Altura (A _i)	A ₁ T ₁	A ₁ T ₂	A ₁ T ₃	A ₁ T ₄	
	A ₂ T ₁	A ₂ T ₂	A ₂ T ₃	A ₂ T ₄	
	A ₃ T ₁	A ₃ T ₂	A ₃ T ₃	A ₃ T ₄	

Figura 3. Diseño de parcelas divididas

El modelo estadístico para este diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + T_j + \beta_k + \varepsilon_{ij} + V_k + FV_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, \dots, t$$

$$j = 1, \dots, b$$

Y_{ij} = observación del tratamiento i , repetición j

μ = media general

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento

β_j = efecto del j -ésimo bloque

ε_{ij} = error experimental de la parcela

ε_{ijk} = error experimental en la subparcela

4.4. Análisis estadístico empleado

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para probar la hipótesis nula y la comparación de medias. Las medias se compararon con la prueba de Duncan, ya

que de acuerdo con García *et al.*, (2001) este es el mejor método y menos conservador, pues al buscar el tratamiento con mejor media, selecciona conjuntos con menor número de tratamientos.

Asimismo, se realizó un análisis de correlación de Pearson para determinar el grado de asociación entre la concentración inicial de elementos químicos presentes en los cladodios de nopal y el peso seco, número de hembras y porcentaje de ácido carmínico de los tratamientos de fertilización.

Los datos se procesaron mediante el paquete estadístico SAS versión 9.1 para Windows, utilizando el procedimiento GLM (SAS, 2003).

4.5. Caracterización del estado nutricional de las pencas de nopal de los tratamientos de fertilización

Para conocer el estado nutricional de los cladodios de *Opuntia ficus-indica* de cada tratamiento, se realizaron análisis químicos de suelo de las plantaciones donde se colectaron los nopales, y análisis químicos de tejido vegetal antes de la infestación y después de la cosecha de grana. Adicionalmente se midió el grosor de cutícula y se contabilizaron oxalatos de calcio de los cladodios de nopal de cada tratamiento.

4.5.1. Análisis químico de suelo

Se tomaron muestras de suelo de las plantaciones donde se colectaron los cladodios de cada tratamiento, siguiendo el procedimiento de muestreo para determinar fertilidad de suelos de la NOM-021-RECNAT-2000.

Se utilizó el método de muestreo sistemático en zig-zag debido a que toma en cuenta los gradientes de fertilidad, y combina los métodos de muestreo aleatorio irrestricto y el sistemático (Aguilar, 1987; Aguilar *et al.*, 1987). Después de definir las

unidades de muestreo, se trazó un curso en zig-zag iniciando por un lado del terreno, escogiendo al azar el punto de partida para definir el plano de muestreo (NOM-021-RECNAT-2000).

Definido el plano de muestreo, y debido a que las unidades de muestreo fueron inferiores a dos hectáreas, se tomaron 30 submuestras de volumen similar y grosor uniforme (NOM-021-RECNAT-2000). Para tomar las muestras se removieron residuos orgánicos no descompuestos y se evitaron irregularidades y bordes del terreno (Aguilar, 1987), la profundidad del muestreo fue de 0-30 cm (Aguilar *et al.*, 1987).

Se formó una muestra compuesta al mezclar y homogeneizar las submuestras, y se utilizó el procedimiento de “cuarteo diagonal” para reducir el tamaño de la muestra; se extendió la muestra sobre una superficie limpia y dividió en cuatro partes iguales de las cuales se desecharon dos (Aguilar, 1987), éste procedimiento se repitió hasta tener aproximadamente 1 kg de suelo (Aguilar *et al.*, 1987).

Las muestras provenientes del campo se secaron, extendiéndolas sobre una superficie limpia, aireada y posteriormente se colocaron en bolsas de plástico rotuladas para preservarlas hasta su análisis en laboratorio (Aguilar, 1987).

En las muestras de suelo se determinaron densidad aparente (Dap), textura, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, materia orgánica (M.O), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), zinc (Zn), sodio (Na), nitratos y nitrógeno amoniacal. Las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de nutrición vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

4.5.2. Análisis químico de tejido vegetal

Las determinaciones de nutrientes minerales fueron realizadas utilizando cinco cladodios de cada tratamiento como repeticiones. Se obtuvieron muestras de tejido vegetal de 1 cm² aproximadamente, se pesaron en una balanza semi analítica (Ohaus) y secaron en estufa (Genlab Limited) a 60°C hasta llegar a peso constante. Ésta temperatura es suficientemente alta para inactivar las enzimas responsables del proceso de descomposición de las muestras de tejido vegetal y retirar toda la humedad, sin originar una descomposición térmica de la muestra (Alcántar y Sandoval, 1999). Finalmente se registró el peso, se realizó una muestra compuesta de cada tratamiento y se preservó para su posterior análisis en bolsas plásticas rotuladas.

Se determinaron los niveles de N, K, P, S y Ca, que son los elementos determinantes de la calidad del carmín (Vigueras y Portillo, 1995), adicionalmente también se realizaron determinaciones de Fe, Zn, Mg y Na.

Para la determinación de N, K, P y Ca se utilizó la metodología de digestión húmeda con mezcla de doble ácido y para la evaluación del contenido de S el método de digestión ácida simple. Los análisis químicos de las muestras se realizaron en el Laboratorio de nutrición vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

4.5.3. Grosor de cutícula y epidermis

Las determinaciones de cutícula y epidermis se realizaron utilizando la metodología propuesta por Tovar (2006). Se utilizaron cuatro cladodios de cada tratamiento como repeticiones, obteniendo muestras de 4 cm² (2 x 2 cm) de cada cladodio. A cada muestra se le hicieron cuatro cortes transversales a mano, lo más finamente posible, utilizando un bisturí. Las cuatro submuestras resultantes se colocaron en cajas Petri con etanol al 70 % por una hora y posteriormente se

pasaron a hidróxido de potasio al 10 % por tres horas, para inmediatamente después ser observadas en el microscopio óptico (objetivo 10X/ 0.25 ACHRO160/0.17). Para realizar las mediciones de cutícula y epidermis se utilizó un ocular micrométrico 10XM, que se calibró con un micrómetro objetivo.

Las soluciones se prepararon como a continuación se detalla:

- a) Etanol al 70 % (C₂H₅OH), se colocaron 700 ml de etanol al 100 % (Productos químicos Monterrey S. A.) en un matraz (Kimax de 1000 ml±1.2 ml) y se aforó con agua destilada hasta un litro, la solución se preservó en una botella ámbar hasta su uso.
- b) Hidróxido de potasio al 10 % (KOH), se pesaron, en una balanza (Adventure Pro-AB2101), 117.647 gr de KOH purificado en escama al 85 % (Productos químicos Monterrey S. A.) y se colocaron en un matraz (Kimax de 1000 ml±1.2 ml), el cual se aforo a un litro con agua destilada. La solución se homogeneizó en una plancha de agitado CIMPREC Barnstead/thermolyne y posteriormente se colocó en una botella ámbar hasta su uso.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y posteriormente se compararon las medias con la prueba de Duncan (SAS, 2003).

4.5.4. Oxalatos de calcio

Se utilizó la metodología propuesta por Tovar-Puente *et al.* (2007). Las determinaciones del número de cristales de oxalatos de calcio por campo, se realizaron utilizando cuatro cladodios de cada cultivar como repeticiones.

Se obtuvieron muestras de 4 cm² (2 x 2 cm) de la parte media de cada cladodio; ya que de acuerdo a Tovar-Puente *et al.* (2007), no hay diferencias significativas en la densidad de cristales de oxalato de calcio entre la parte superior, media y basal de los cladodios.

Para la observación y cuantificación de los cristales se hicieron cuatro cortes transversales a mano, lo más finamente posible a la muestra antes mencionada. Estas submuestras se colocaron durante una hora en etanol al 70 % y posteriormente en hidróxido de potasio al 10 % por tres horas. Se observó y cuantificó el número de cristales de oxalato de calcio bajo microscopio óptico ((objetivo 10X/ 0.25 ACHRO160/0.17)), promediándose cuatro campos por tratamiento.

Se utilizó un análisis de varianza para comparar la densidad de cristales de oxalato de calcio entre los cultivares con diferentes tipos de fertilización, la comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Duncan (SAS, 2003).

4.6. Influencia de la fertilización de nopal sobre el rendimiento y calidad de *D. coccus*

4.6.1. Duración del ciclo de vida

La duración del ciclo biológico se determinó contando los días transcurridos entre la fecha de infestación y las fechas en las que se observaron las primeras hembras en oviposición en los diferentes tratamientos. A lo largo del ciclo de vida del insecto se registraron diariamente temperatura y humedad, debido a la importancia que tienen como limitantes abióticos del desarrollo de la grana. Los registros se realizaron tres veces al día; 8:30 a.m., 12:00 p.m. y 16:00 p.m. Se registró luminosidad en los tres estratos por medio de un medidor de luz Extech Lux Meter 401025.

4.6.2. Peso fresco de grana y número de insectos por penca

Al finalizar el ciclo biológico del insecto, que fue variable en cada tratamiento, y con el auxilio de brochas del número 6, pinceles y pinzas de disección se realizaron cosechas manuales por arrastre, es decir se “brocheo” la penca (Briseño, 2001) y se

colectó todo aquello que se encontraba en el cladodio (hembras, ninfas, machos, etc.), la grana se recuperó en palanganas y posteriormente se colocó en vasos plásticos con tapa hermética *Solo* P200 de 2 onzas, cada vaso se rótulo con el nombre del tratamiento, fecha de cosecha, número y lado de penca. La cosecha se realizó separando el material proveniente de cada lado de la penca, identificando el lado A como cara de infestación y el envés como cara B.

Posteriormente, la grana fue transportada al laboratorio 215 de la Escuela de Biología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, dónde se limpió manualmente utilizando pinzas de disección para eliminar restos de capullos, polvo, ninfas, machos y materiales heterogéneos (Figura 4).

Se determinó el número de hembras y peso fresco por lado de infestación, opuesto y total. El peso fresco se midió utilizando una balanza analítica #EP413-4A Ohaus (Máxima 410 gr- Mínima 1 mg), para estas determinaciones solo se consideraron hembras en plena oviposición.



Figura 4. Limpieza^{a,b} y medición de peso fresco de grana^c

4.6.3. Peso seco

Dentro de los métodos recomendados para sacrificio y secado de la grana cochinilla (Flores y Tekelenburg, 1995 en: Méndez, 2001), se utilizó en la presente investigación una modificación del método de muerte natural a la sombra post oviposición (Méndez, 2001). Debido a que este método provee mayor calidad, hasta 26.04 en porcentaje de ácido carmínico (Flores y Tekelenburg, 1995 en: Méndez, 2001).

El sacrificio y el secado se llevaron a cabo en el mismo módulo del invernadero donde se crió la grana. La muerte del insecto fue natural, post oviposición y consistió en colocar la grana limpia, recién pesada y medida en tamices al interior del invernadero.

Los tamices se realizaron para este fin y cuentan con 120 divisiones, cada división de 10 X 10 cm, con profundidad de 2 cm aproximadamente (Figura 5.).



Figura 5. Tamices para sacrificio y secado de grana

La grana se mantuvo durante 30 días en los tamices, al cabo de este tiempo se determinó peso seco del lado de infestación, opuesto y total; para cada cladodio de cada unidad experimental, de cada tratamiento. La grana se preservó en el Laboratorio de Fruticultura del Colegio de Postgraduados campus Puebla, en vasos plásticos con tapa hermética Solo P200 de 2 onzas que impiden la absorción de la humedad por el insecto (Méndez, 2001), cada vaso se rotuló con el nombre del tratamiento, número de penca y lado de penca.

4.6.4. Talla

La medición de la talla se realizó en fresco, preoviposición, midiendo con vernier el eje mayor y menor de una muestra de 150 individuos tomados al azar de las caras A y B de cada unidad experimental. Es decir, por bloque se midieron 300 insectos de ambos lados del cladodio, 900 por tratamiento.

4.6.5 Determinación del contenido de ácido carmínico

Previo a la cuantificación de ácido carmínico se construyó una curva de calibración midiendo la absorbancia en veinte concentraciones (ppm) conocidas. Para la curva de calibración se prepararon dos soluciones, una de ácido clorhídrico 2 normal (HCl 2N), y una solución stock de ácido carmínico a partir de la cual se hicieron diluciones.

La primera se preparó agregando 165.901 ml de HCl (Química Meyer, Lote ACH0208071) a una base de agua destilada y posteriormente aforando a dos litros, a partir de los siguientes cálculos:

$$N = Eq \text{ gr/V} \quad (1)$$

Donde:

N = Normalidad

$Eq \text{ g}$ = Equivalente gramo

V= Volumen en litros

$$Eq\ gr = m/peq \quad (2)$$

Donde:

Eq g = Equivalente gramo

m = Masa en gramos

peq = Peso equivalente

$$peq = pm/p \quad (3)$$

Donde

peq = Peso equivalente

pm = Peso molecular del ácido

p = Número de protones

Sustituyendo (2) en (1) se obtiene:

$$N = (m/peq)/V \quad (4)$$

Sustituyendo valores en (3):

$$peq = 36.4609 \text{ g/1 eqg} \quad (3)$$

Despejando masa y sustituyendo en (4)

$$m = N V peq$$

$$m = 2N(2 \text{ l})(36.4609 \text{ g/1 eqg})$$

$$m = 72.9218 \text{ g}$$

Pero como HCl es líquido, entonces:

$$V_{\text{HCl}} = m / \left(\frac{p}{100} \right) (d) \quad (5)$$

Donde:

p = Pureza de HCl expresado en %

d = Densidad

Sustituyendo en (5):

La solución stock de AC se preparó colocando en un vaso de precipitado 95 ml HCl y 10 mg AC previamente pesados (Balanza analítica Ohaus Portable Advanced Modelo CT10 SN CA09297). Se homogeneizó en una plancha magnética y se colocó en tubos de ensaye la cantidad de solución stock y HCl previamente calculado para obtener las veinte concentraciones que constituirían la curva de calibración (Figura 6) misma que se realizó por triplicado.

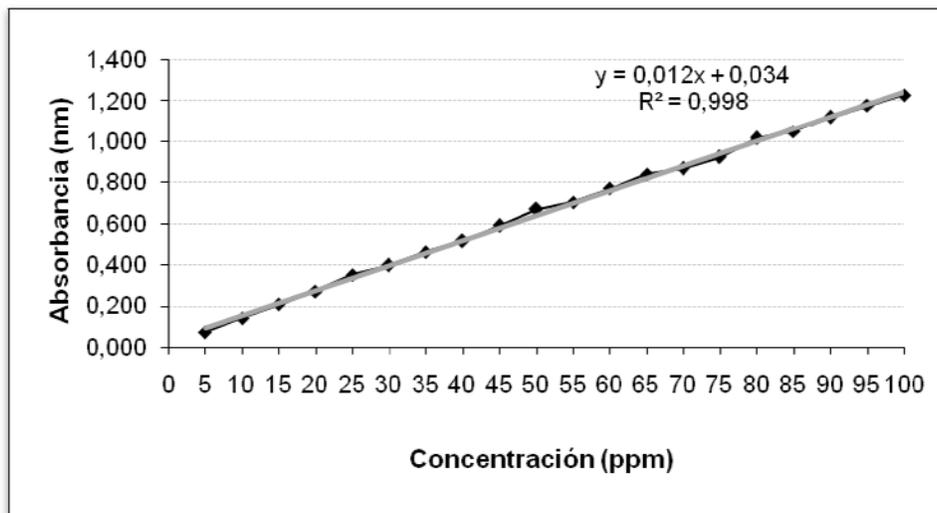


Figura 6. Curva de calibración para la determinación de ácido carmínico

Los tubos se cuantificaron a $\lambda=494$ nm, en un espectrofotómetro Spectronic Instruments Modelo 4001 /4. Antes de cada lectura se utilizó como blanco una muestra de HCl 2N.

La extracción y cuantificación del contenido de ácido carmínico se realizó en el Laboratorio de Química Analítica de la escuela de Biología (BUAP), por triplicado, utilizando la metodología propuesta por González *et al.* (2002). Los cuerpos secos de las hembras de cada tratamiento se molieron finamente en un mortero de cerámica. 0.125 g de grana molida se disolvió en 30 ml de HCl 2N, posteriormente la mezcla se

homogenizó durante un minuto en un agitador magnético modelo 1150, marca Mistral–Magnestir Lab line. El ácido carmínico fue extraído a baño maría (Clifton SN 68054) a 65°C durante 35 min, temperatura y tiempo de máxima extracción de AC; posteriormente los tubos se enfriaron en hielo picado por 10 min y sucesivamente las muestras se centrifugaron a 7000 rpm a 4 °C por 15 min (centrífuga Fisher Scientific Marathon 2100 R). El sobrenadante obtenido del primer riel se colocó en un matraz de 250 ml y al precipitado se le realizó una segunda extracción, debido a que la eficiencia de extracción permanece prácticamente constante con dos extracciones (González *et al*, 2002). Los dos sobrenadantes resultantes se mezclaron y diluyeron en 250 ml de agua destilada (Figura 7).

El AC se cuantificó a $\lambda=494$ nm (Spectronic Instruments Modelo 4001 /4), antes de cada lectura se utilizó un blanco de ácido clorhídrico 2N.

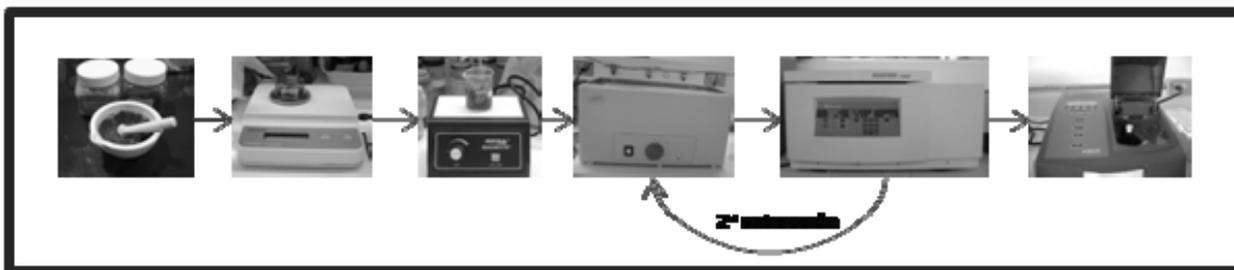


Figura 7. Esquema gráfico de la determinación de ácido carmínico

4.7. Evaluación financiera de la producción y comercialización de grana cochinilla

La información necesaria para la realización de la evaluación económica se recabo por medio de entrevistas con las productoras de grana cochinilla e información de campo.

Para determinar la rentabilidad del proyecto de producción de grana cochinilla, se utilizó el método de análisis que toma en cuenta el cambio del valor real del dinero a través del tiempo, mediante los dos indicadores fundamentales Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). En el proceso se calcularon los

costos de producción, de administración y de ventas, así como la inversión total inicial, proyección de ingresos y egresos, y los estados de resultados proforma.

En el cálculo de costos de producción se consideraron los costos fijos efectuados tales como invernaderos, nopalotecas, terreno, bodega y almacén. Para determinar el costo fijo se suma a los activos fijos adquiridos que se utilizaran durante varios ciclos productivos, los sueldos de los jornales y costos administrativos.

En los costos variables se consideraron básicamente todos los insumos utilizados que corresponden a pencas de nopal y materiales para limpieza del invernadero y monitoreo, cosecha, secado y empaçado de grana.

Los ingresos se determinaron utilizando la fórmula $I=PXQ$ (Baca, 2001), donde para este caso, P corresponde al precio de venta de la grana y Q a la producción total de grana en seco.

Posteriormente se realizó la proyección de ingresos y egresos, constituida por los siguientes elementos: ingresos, egresos, costos fijos, costos variables, utilidad de operación, activos fijos, depreciación de activos fijos, costo financiero, utilidad del proyecto, utilidad por socio y punto de equilibrio. La proyección se realizó por ciclo de producción del insecto a ocho años.

Los egresos fueron considerados como la sumatoria de los costos fijos y variables de producción. La utilidad de operación fue el resultado de descontar los costos de operación a los ingresos. La utilidad del proyecto se obtuvo restando el impuesto a la utilidad de operación.

El punto de equilibrio se calculó mediante la siguiente fórmula (Baca, 2001):

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{PQ}}$$

Donde:

CF= Costos fijos totales

CV= Costos variables totales

P= Precio

Q= Volumen vendido

Finalmente con los elementos anteriores, se calculó el VPN utilizando la fórmula (Morales y Morales, 2004) que se presenta a continuación, y consistió en restar a la suma de los flujos netos de efectivo la inversión inicial:

$$VPN=VAN=\frac{FNE_1}{(1+i)^1}+\frac{FNE_2}{(1+i)^2}+\frac{FNE_3}{(1+i)^3}+\dots+\frac{FNE_n}{(1+i)^n}-\left[IIN-\frac{VS}{(1+i)^n}\right]$$

Donde:

VPN= Valor Presente Neto

VAN= Valor Actual Neto

FNE= Flujo Neto de Efectivo

IIN= Inversión Inicial Neta

i= Tasa de interés a la que se descuentan los flujos de efectivos

n = Corresponde al año en que se genera el flujo de efectivo que se trate

Se consideró una tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) de 15%, de acuerdo a los criterios de Baca (2001), ya que esta TMAR aplicada al cálculo del VPN supera la tasa inflacionaria anualizada. Con esto se espera que si el valor del VPN fuese igual o mayor a cero hubiese una ganancia adicional después de recuperar la inversión y la tasa mínima de rendimiento del proyecto. En contraste, si el VPN fuese negativo, representaría el importe de dinero faltante para cumplir con la recuperación de la inversión y la tasa mínima de rendimiento.

La Tasa Interna de Rendimiento (TIR) se calculo por medio de la fórmula (Morales y Morales, 2004):

$$\text{TIR.:VPN=VAN} = \sum_{1}^n \frac{\text{FNE}}{(1+i)^n} - \left[\text{IIN} - \frac{\text{VS}}{(1+i)^n} \right] = 0$$

Donde:

TIR=Tasa Interna de Rendimiento

VPN= Valor Presente Neto

VAN= Valor Actual Neto

FNE= Flujo Neto de Efectivo

VS= Valor de salvamento

IIN= Inversión Inicial Neta

I= Tasa de interés a la que se descuentan los flujos de efectivos

N = Corresponde al año en que se genera el flujo de efectivo que se trate

De acuerdo al criterio de aceptación de la TIR, si el valor de ésta supera al de la TMAR el proyecto se consideraría rentable (Baca, 2001).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización del estado nutricional de los cladodios de los tratamientos de fertilización

El calcio fue el elemento más abundante en las pencas de todos los tratamientos de fertilización, resultados que coinciden con los reportes de Nobel (1983); Retamal *et al.* (1987 citado por Lara,1990); Nobel (1988); Azocar (2003); Tegegne (2003); Nezfaoui (2003); Magallanes-Quintanar (citado por Tovar, 2006); quienes sostienen que éste es el principal elemento constitutivo de los cladodios de nopal.

Nobel (1983) observó que los nutrimentos constitutivos de los cladodios de nopal, de la especie *Opuntia ficus-indica*, en orden decreciente son calcio, nitrógeno, magnesio, potasio y fósforo. En el presente trabajo se encontró la misma distribución del calcio, magnesio, potasio y fósforo en los tratamientos químico (Fq), químico orgánico (Fqo) y orgánico (Fo). El tratamiento sin fertilización (sF), en cambio, presentó el comportamiento reportado por Retamal *et al.* (1987 citado por Lara,1990).

En el Cuadro 3, se presentan los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc y sodio en los cladodios de nopal de los cuatro tratamientos de fertilización, donde posteriormente se crío grana.

Cuadro 3. Contenido de elementos químicos en tratamientos de fertilización de nopal para la cría de grana

Tratamiento	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Fe ppm	Zn ppm	Na ppm
Fq	1.02	0.15	1.97	2.67	2.362	47.48	88.45	277.52
Fqo	0.51	0.06	0.58	1.26	1.11	21.44	48.33	222.75
Fo	0.86	0.18	1.14	6.56	3.70	53.30	147.13	308.74
Sf	0.59	0.15	2.72	4.38	1.43	30.28	72.57	240.42

Los cladodios del tratamiento Fq presentaron mayor contenido de nitrógeno (1.02 %), seguidos por Fo, sF y finalmente el tratamiento Fqo con 0.59 % (Figura 8).

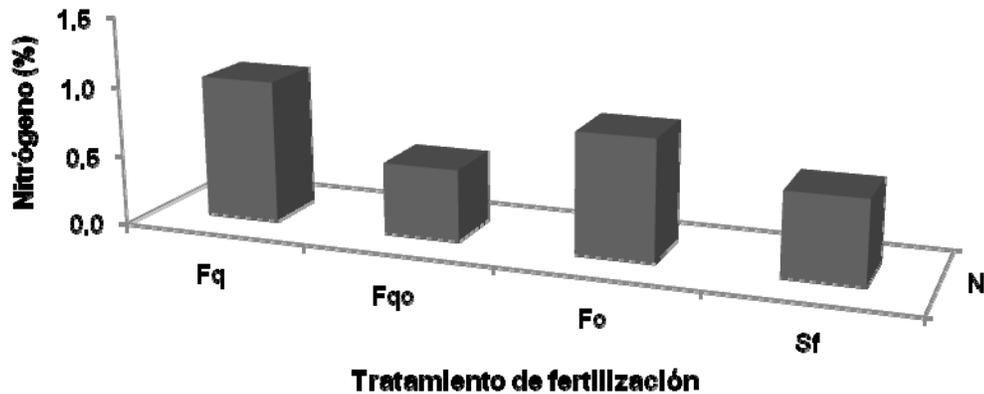


Figura 8. Porcentaje inicial de nitrógeno en cladodios de nopal de tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica, y sin aplicación de fertilizante.

Nobel (2003) reporta que concentraciones de nitrógeno alrededor de 1 % en base seca son muy bajas y suelen deberse a la pobreza de los suelos en cuanto al nutrimento.

Fanzone (1991, citado por Méndez y Gallegos, 2001) reporta que la concentración óptima de nitrógeno total en suelo para el crecimiento del nopal es de 0,5 a 1 %. Los suelos de donde se obtuvieron los cladodios de los tratamientos Fq y Fo presentan 0,0019 y 0,0005 %, concentraciones muy bajas, que no llegan al mínimo de la concentración óptima recomendada por éste autor.

En el suelo del tratamiento de Fq, el contenido de nitrógeno disponible (NO_3^-) fue de 7.9 ppm y el de nitrógeno reducido (NH_4^+) de 11.84 ppm, se observa que la cantidad de amonio es superior a los nitratos, por lo que en este suelo el fenómeno de inmovilización de nitrógeno se realiza en mayor proporción que la mineralización del mismo, lo que quiere decir que hay más nitrógeno de reserva en suelo que el asimilable por las plantas; y en el suelo del tratamiento de Fo sucede lo contrario, el

fenómeno de mineralización se realiza en mayor proporción que el de inmovilización por lo que hay mayor cantidad de nitrógeno asimilable por las plantas que el fijado en el suelo; el contenido de nitrógeno disponible en el suelo de este tratamiento (NO_3^-) fue de 3.29 ppm y el de nitrógeno reducido (NH_4^+) de 1.97 ppm.

Las concentraciones de fósforo, encontradas en los cladodios de nopal de los cuatro tratamientos, fueron superiores a los reportes de Nezfaoui (2003) de 0.04 %, e inferiores al 0.3 % reportado por Nobel (1983) para el mismo nutrimento. El tratamiento con mayor concentración de fósforo fue el orgánico (0.18 %), seguido por los tratamientos de fertilización química y sin adición de fertilizante, ambos con 0.15 %; el tratamiento químico orgánico presentó los valores más bajos con 0.06 % (Figura 9).

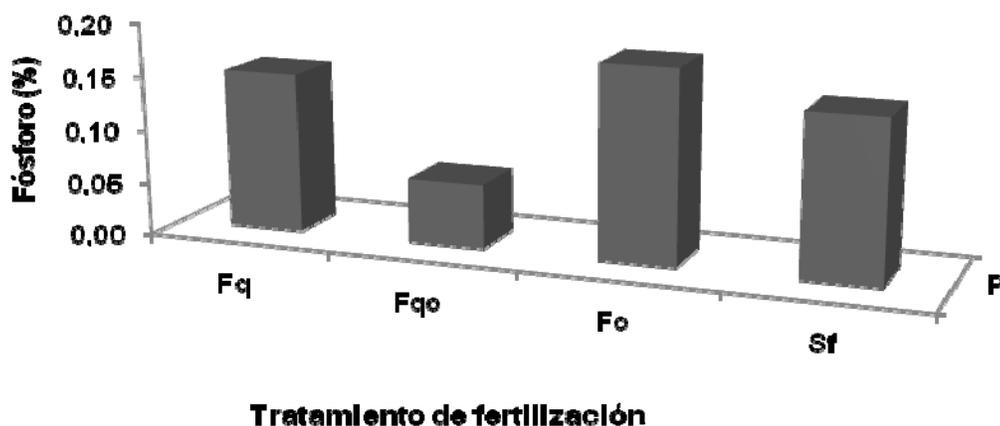


Figura 9. Porcentaje inicial de fósforo en cladodios de nopal en los tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica y sin aplicación de fertilizante.

La baja concentración de fósforo en los cladodios de Fqo, en comparación con el resto de los tratamientos, puede ser consecuencia de la fertilización con urea y estiércol que recibe este tratamiento, ya que se genera una alta relación de N/P y se ha reportado efecto antagónico de N sobre el P, pues al incrementar dosis de fertilización del N la concentración de P en cladodios decrece (Nobel *et al.*, 1987 citado por Lara, 1990).

Por otro lado, a pesar de que los suelos de donde se obtuvieron los cladodios de los tratamientos químico y orgánico presentan 28 y 16,6 ppm de fósforo extraíble, concentraciones consideradas altas de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000; en ambos hay baja disponibilidad del nutrimento causada por el potencial de iones hidrógeno (pH).

El suelo del tratamiento Fq es moderadamente ácido con un pH de 5.45 unidades y el Fo es medianamente alcalino con un valor de 7.8 (NOM-021-SEMARNAT-2000). En el primer caso la disponibilidad de fósforo es baja debido a que a este pH el fierro y aluminio se encuentran muy solubilizados y provocan la formación de fosfatos insolubles y en la Fo debido a que cuando el pH es superior a 7.5 el calcio provoca la formación de compuestos insolubles y por tanto no disponibles.

Los reportes de concentraciones de potasio en cladodios de nopal de la especie *Opuntia ficus-indica* son heterogéneos y oscilan entre 0.11 %, 1.09 %, 1.42 %, 2.3 % y 3.04 %; de acuerdo con Azocar (2003), Nezfaoui (2003), Nobel (1983), Cordeiro y Gonzaga (2003) y Hoffman y Walker (1912, citado en Nezfaoui, 2003), respectivamente. Las concentraciones de todos los tratamientos fueron superiores a los reportes de Azocar (2003), como se puede observar en la Figura 10.

Lara (1990) observó que la concentración de potasio en los cladodios de *Opuntia ficus-indica* en crecimiento se mantiene constante en el rango de 1.2 a 2.2 % y supone que este rango de concentración es la necesaria para el desarrollo del cladodio. Los tratamientos de fertilización química y orgánica se encuentran dentro de estos valores. El tratamiento Sf por encima y el Fqo por debajo.

Pese a que no se aplicó, en ninguno de los tratamientos, fertilización a base de potasio se observan valores altos del nutrimento en el cladodio, de acuerdo a Mondragón *et al.* (2003) este nutrimento muestra una alta acumulación en cladodio

de hasta 5,96 %.y Lara (1990) observó que las concentraciones K se incrementan después de la cosecha.

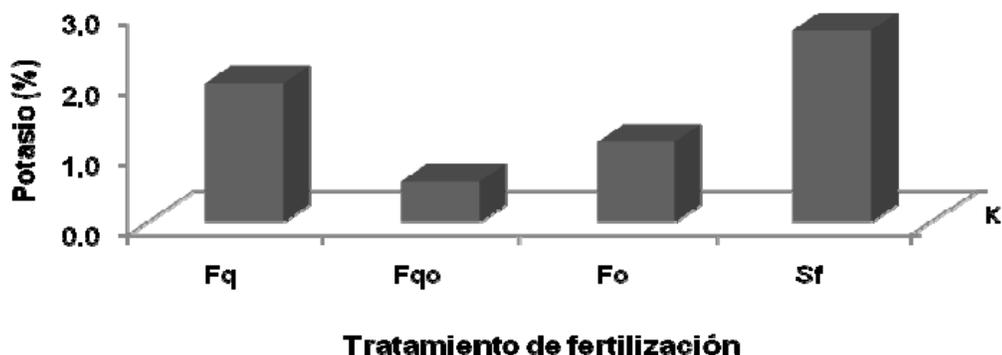


Figura 10. Porcentaje inicial de potasio en cladodios de nopal en los tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica y sin aplicación de fertilizante.

Por otro lado, el contenido de potasio en suelo del tratamiento Fq es medio y el de la Fo bajo, de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, sin embargo la disponibilidad del nutrimento es alta para ambos tipos de suelo ya que no presenta problemas de solubilidad ante los valores de pH que presentan los suelos.

Con respecto a los niveles de calcio en tejido vegetal, el tratamiento con mayor concentración fue el Fo con 6.56 %, seguido por sF con 4.38 %, posteriormente el Fq con 2.67 % y finalmente Fqo con 1.26 % (Figura 11) . Todas las concentraciones son superiores al 1.03 % reportado por Tegegne (2003) y al 2.01 % reportado por Azocar (2003) para cladodios de nopal de la misma especie. Sin embargo, también hay reportes de concentraciones superiores de este elemento; Hoffman y Walker (1912, citado en Nezfaoui, 2003) reportan valores para el nivel de calcio en materia seca de nopal que oscilan entre 2.84 y 13.85 %, rango dentro del cual se encuentran los tratamientos químico, orgánico y sin fertilizante.

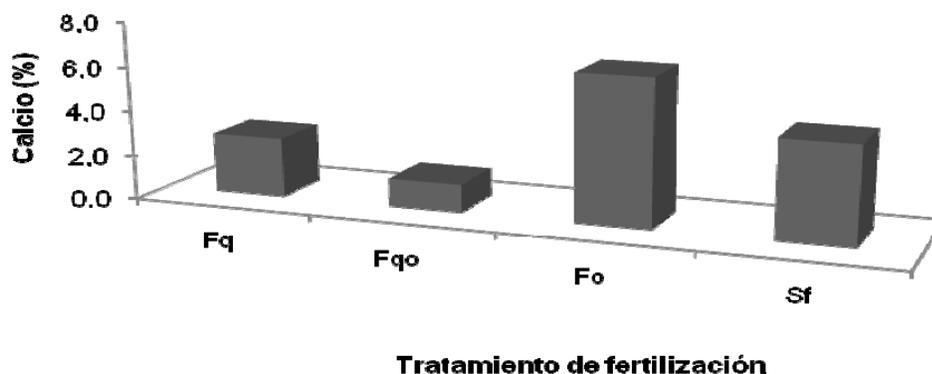


Figura 11. Porcentaje inicial de calcio en cladodios de nopal en los tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica y sin aplicación de fertilizante.

El Ca es utilizado principalmente en la síntesis de pectina de la lámina media de la pared celular (Bidwell, 1979) y las altas concentraciones encontradas en los cladodios se relacionan con la acumulación del nutrimento en forma de oxalatos (Nobel, 1983).

Las altas concentraciones de Ca encontradas en el tratamiento Fo, concuerdan los reportes de Lara (1990), quien observó que la aplicación de gallinaza aumenta la concentración de calcio en cladodios de nopal, debido a que posee mayor contenido de Ca hasta 8.8 %.

Aunado a lo anterior, el contenido de Ca^{2+} en el suelo del tratamiento Fq fue de $72.92 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$ y el de Fo de $57.11 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$, en ambos tratamientos fue alto (NOM-021-SEMARNAT-2000) y supera aproximadamente cuatro veces el señalado como óptimo por Fanzone (1991, en Méndez y Gallegos, 2001); no obstante, la disponibilidad del nutrimento fue mayor en el suelo del tratamiento Fo, debido a que la disponibilidad del Ca^{2+} aumenta conforme se incrementa el pH.

La concentración de magnesio en orden descendiente fue de 3.7 % en el tratamiento orgánico, 2.36 % en el químico, 1.44 % en el tratamiento sin fertilización y 1.11 % en el químico orgánico (Figura 12). Los tres primeros tratamientos superan las concentraciones reportadas por Nobel (1983) y Cordeiro y Gonzaga (2003), y el 1.6 % reportado por Hoffman y Walker (1912) citado en: Nezfaoui, (2003). El tratamiento químico orgánico tiene un nivel inferior a los antes mencionados.

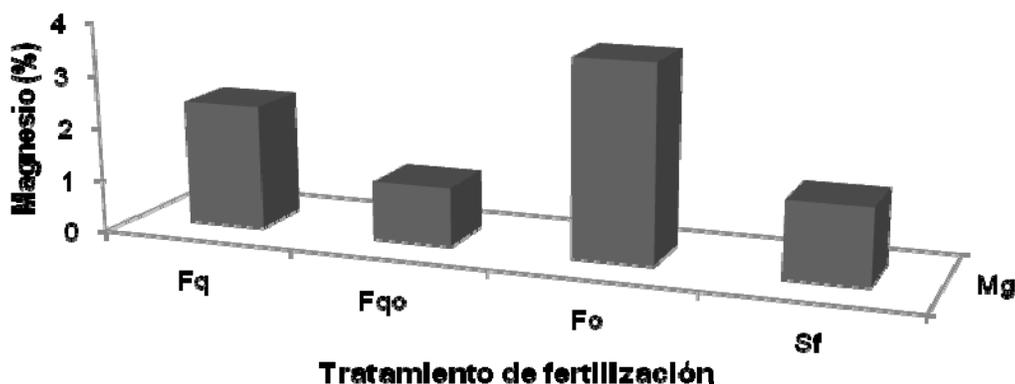


Figura 12. Porcentaje inicial de magnesio en cladodios de nopal en los tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica y sin aplicación de fertilizante.

La concentración de Mg^{2+} en los suelos de los tratamientos Fo y Fq fue alta (4.78 y 5.78 me 100 g^{-1}) y la disponibilidad mayor en Fo, debido a que el valor del pH es superior.

Las concentraciones de fierro, zinc y sodio presentaron el mismo comportamiento, se encontraron en orden decreciente en los tratamientos orgánico, químico, sin fertilizante y químico orgánico (Figura 13).

Las concentraciones de fierro de los cuatro tratamientos fueron inferiores al 92 ± 5 ppm reportado por Nobel (1983), como se puede observar en la Figura 13. Esto

debido en parte a las deficiencias del nutriente presentadas en suelo y a la baja disponibilidad generada por los valores de pH.

El tratamiento de Fo presentó un contenido deficiente de Fe en suelo (1.59 ppm) y el de Fq adecuado (30.63 ppm) de acuerdo a NOM-021-SEMARNAT-2000, sin embargo la disponibilidad del nutriente fue muy baja, ya que la solubilidad del Fe aumenta conforme disminuye el pH (Fuentes, 1994).

La concentración de sodio (Figura 13) en los cladodios de todos los tratamientos es superior a los reportes de Nobel (1983) y semejante a la reportada en raíz de *Opuntia amyclaea* (286 ppm) por Lara (1990).

Se observa alta acumulación de Na en cladodios, contrario a lo observado por Nobel (2003) quien menciona que el Na no es transportado fácilmente de las raíces a la parte aérea.

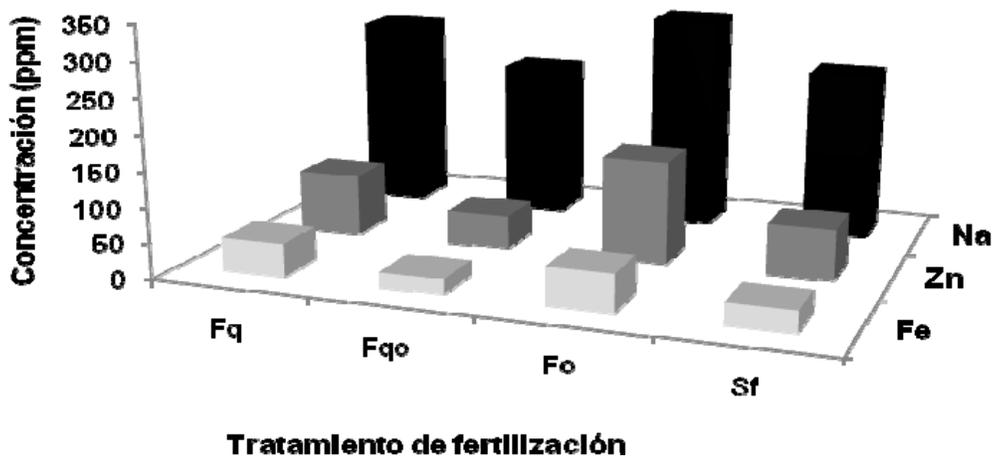


Figura 13. Porcentaje inicial de hierro, zinc y sodio en cladodios de nopal en los tratamientos de fertilización química, química orgánica, orgánica y sin aplicación de fertilizante.

Finalmente, el contenido de Zinc en los cladodios de todos los tratamientos es superior a los reportes de Nobel (1983) de 25 ppm. El tratamiento de Fqo está dentro

del rango reportado por Lara (1990) en cladodios en crecimiento y en producción (16 a 52 ppm). Cabe mencionar que el Zn es un activador enzimático y elemento requerido para el crecimiento de los tejidos (Bidwell, 1979).

En suma, el estado nutricional de las pencas de nopal depende de factores tales como la cantidad y disponibilidad de nutrimentos en suelo (Nobel, 2003), de la interacción de ellos, y de la condición fisiológica (Lara, 1990); y conocerlo es de importancia ya que se utiliza como sustrato y alimento de la grana cochinilla, por lo que la ausencia o sobreabundancia de ciertos nutrimentos pueden afectar su valor alimenticio y consecuentemente repercutir en el óptimo desarrollo del ciclo de vida del insecto, o en el porcentaje de ácido carmínico (AC) que se extrae de su hemolinfa y que representa el producto final del cultivo.

Por otro lado, al realizar la determinación analítica de los nutrimentos presentes en cladodios posterior a la cosecha del insecto, se esperaba obtener niveles más bajos de los elementos que fuesen consumidos en mayor proporción por la grana, sin embargo, esta situación no se presentó, se obtuvo a excepción del tratamiento sin fertilización, un aumento generalizado del contenido de nutrimentos, especialmente en el tratamiento Fqo que es el que presenta mayor porcentaje de AC, en este tratamiento para el Na se encontró un aumento del 17.5 %, 34.36 % para el Zn, 70.38 % para Fe, 176.9 % para Mg y 229.12 % para Ca, 269.7 % para K, 67.9 % para P y 29.4 % para N, por encima del contenido inicial del elemento.

Los cladodios del tratamiento sF, donde la grana que se cultivó en ellas presentó 20.96 % de AC, tuvieron un comportamiento completamente distinto a las del tratamiento Fqo, pues presentaron disminución en todos los nutrimentos después de la infestación y cosecha de la grana. El N disminuyó 11.8 %, el P 46 %, el K 7.4 %, el Ca 39 %, el Mg 37.8 %, el Fe 35.3 %, el Zn 30.5 % y el Na 9.7 %.

En los cladodios del tratamiento Fo; el Ca y Mg aumentaron 12.6 % y 10.8 % respectivamente, el resto de los elementos disminuyó su contenido, en el caso del N 11.6 %, el P 47.9 %, el K 48.9 %, Fe 52.7 %, Zn 6.3 % y el Na 10.4 %.

Finalmente, en el tratamiento Fq, los niveles de K, Ca, Mg y Zn aumentaron 3.4 %, 75.9 %, 60.5 % y 63.6 %; N, P, Fe y Na disminuyeron su valores en 22.5 %, 53.8 %, 17.5 %, y 7.27 %, respectivamente.

El comportamiento antes descrito fue observado también por Camarillo (s.f.), quién utilizando la misma especie de grana y nopal, obtuvo mayor contenido de nutrimentos en cladodios al aumentar el porcentaje de infestación. También observó disminución en los niveles de P, Cu y Zn en los cladodios y aumento de éstos nutrimentos en el insecto, sugiriendo un mayor consumo de ellos por parte de la cochinilla. En la presente, a excepción de las pencas de del tratamiento Fqo hubo una disminución en el contenido de N, P y Mg, sin embargo los datos obtenidos no aportan suficiente información que ayude a inferir el tipo de nutrimentos que asimila la grana, por lo que se requiere de investigaciones más específicas en este sentido.

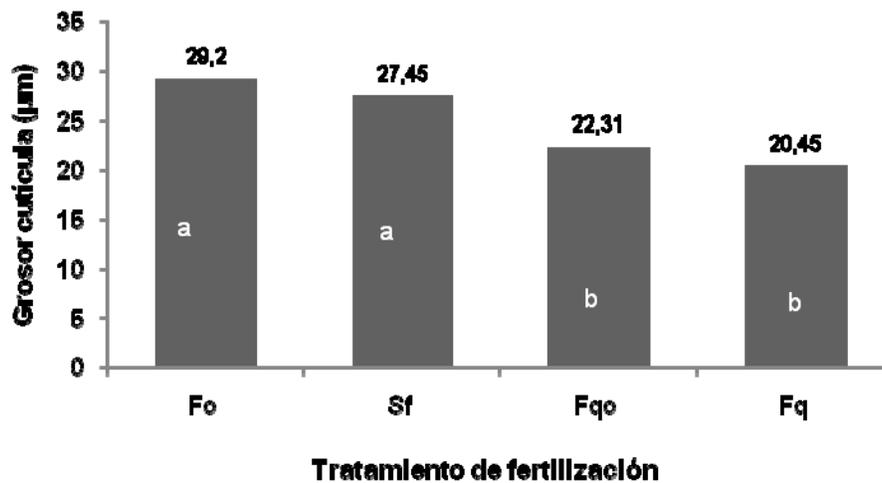
5.1.1. Grosor de cutícula y epidermis

Se encontró efecto del tipo de fertilización sobre el grosor de cutícula ($p \leq 0.01$), observándose dos grupos claramente diferenciados. Los tratamientos Fo y sF poseen la cutícula más gruesa y entre ellos no hay diferencia estadística; pero si con los tratamientos Fq y Fqo que poseen cutícula más delgada (Figura 14).

El grosor cuticular de los cuatro tratamientos es superior a los señalados por Tovar *et al.* (2008), quienes encontraron valores que oscilan entre 7.83 y 14.08 μm , para quince cultivares de nopal de la misma especie; pero inferiores a los encontrados por Silva *et al.* (2001), quienes reportan, en cladodios de *Opuntia* expuestos a diferentes niveles de radiación, valores entre 142.7 ± 1.1 y 209.5 ± 0.7

μm . El grosor de la cutícula de todos tratamientos se encuentra dentro del rango reportado por Nobel (2003) de 5 a 30 μm .

Se observó que el grosor cuticular esta correlacionado positivamente con el contenido de oxalatos de Ca (0.984), el calcio se encuentra principalmente en la pared celular proveyendo soporte mecánico a las células y como oxalato en drusas y cristales (Mondragón, 2003). El grosor cuticular es por un lado una adecuación para condiciones de pluvimetría limitada ya que reduce la pérdida de agua por transpiración y por otro lado impide la entrada de microorganismos al cladodio (Silva *et al.*, 2001).

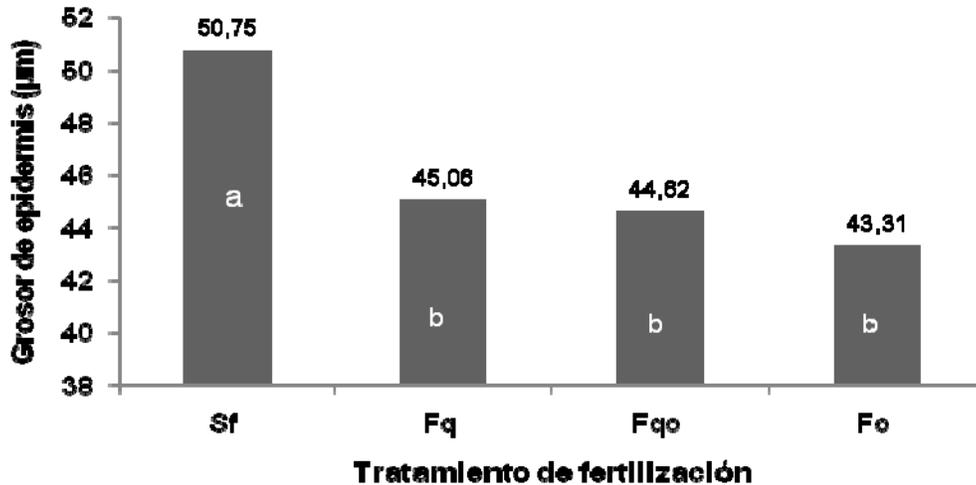


*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Figura 14. Grosor de cutícula para los tratamientos de fertilización

El grosor de la epidermis, también estuvo en función de la fertilización ($p \leq 0.01$), encontrándose diferencias estadísticas entre el grosor de la epidermis de los nopales del tratamiento que no utilizó fertilizante y el resto de los tratamientos. En el tratamiento sF se encuentra la epidermis más gruesa con 50.75 μm . Entre los tratamientos Fq, Fqo y Fo no hay diferencias significativas, sin embargo, la epidermis de los nopales de la modalidad de fertilización orgánica es la más delgada y mide en promedio 43.31 μm (Figura 15).

El grosor de epidermis de las cuatro modalidades de fertilización es superior al observado por Tovar *et al.* (2006), quienes encontraron valores entre 10 y 12.66 μm .



*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Figura 15. Grosor de epidermis para los tratamientos de fertilización

5.1.2. Oxalatos de calcio

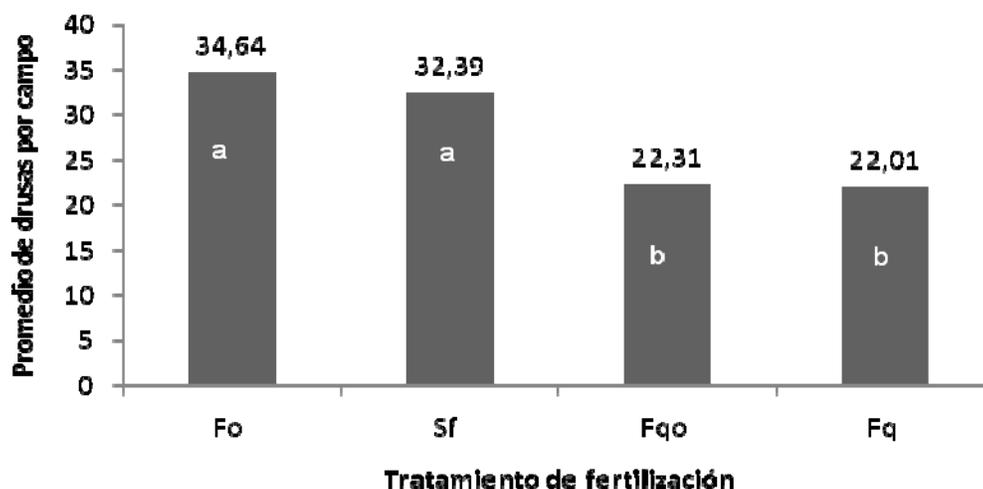
Se encontró efecto de la fertilización sobre número de cristales de oxalatos de calcio ($p \leq 0.01$). El número de cristales no presentó diferencia entre los tratamientos Fo y sF, pero sí de éstos con Fqo y Fq.

La media más alta presentada por el tratamiento Fo es de 34.64 cristales por campo, y la menor de 22.01 cristales corresponde a Fq (Figura 16). Tovar (2007) encontró entre 17.58 y 56.83 cristales por milímetro cuadrado.

Con el análisis de correlación de Pearson se encontró correlación positiva ($r = 0.916$) entre la cantidad de calcio en tejido vegetal y el número de cristales de oxalato de calcio, la alta concentración de calcio puede significar mayor acumulación de oxalatos de calcio (Nobel, 1983). Los oxalatos probablemente están ligados al Ca, haciendo este anión menos disponible (Nefzaoui y Ben, 2003) o bien cumplen la función de disminuir los niveles de toxicidad del ácido oxálico (Franceschi and

Loewus, 1995 citado por Tovar-Puente, 2007), que es un producto final del metabolismo potencialmente tóxico, sintetizado ante altos niveles de Ca (Kostman *et al.*, 2001).

Por otro lado, Rodríguez-García *et al.* (s.f.) mencionan que los cristales de oxalato de calcio se localizan principalmente en la parte externa del cladodio, en este sentido también se observó correlación positiva, altamente significativa, entre el número de cristales de oxalato de calcio y el grosor de la cutícula (0.984).



*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Figura 16. Oxalatos de calcio para los tratamientos de fertilización

5.2. Influencia de la fertilización de nopal sobre el rendimiento de *D. coccus*

5.2.1. Duración del ciclo de vida

La duración del ciclo de vida del insecto fue considerado a partir de la infestación hasta la reproducción: es decir, cuando se observó el inicio de la oviposición en la mayoría de las unidades experimentales. La duración de este período difirió entre tratamientos.

La duración del ciclo biológico de la cochinilla estuvo influida por el tratamiento de fertilización de los cladodios; el ciclo osciló entre los 87 y los 109 días, observándose

que existió una diferencia de 22 días entre los tratamientos. La cochinilla criada en aquellos cladodios provenientes del tratamiento de Fq iniciaron la oviposición a los 109 días en promedio. En tanto aquella cochinilla criada en cladodios con fertilización orgánica y sin fertilización completaron su ciclo en tan solo 87 días. En este período se registró una temperatura media de 30.2° C en el invernadero. La humedad relativa (H.R) promedio dentro del invernadero para este ciclo de vida fue de 32.7 %, oscilando entre una máxima de 36.4 % y una mínima de 29.8 % (Cuadro 4).

Cuadro 4. Duración del ciclo de vida de grana y parámetros físicos

Tratamiento	Ciclo de vida (días)	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)		
		Promedio	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima
Fqo	100	29.75	38.2	10.5	36.38	84	20
Fq	109	31.08	43.9	17.4	36.43	87	20
Fo	87	30.92	43.9	15.2	28.20	81	20
sF	87	29.41	43.8	13.4	29.80	73	20

Considerando que durante la cría comercial del insecto se requiere tener ciclos cortos con altos rendimientos y alta calidad a reserva de confirmar los demás parámetros, la cochinilla criada en cladodios con tratamiento orgánico y sin aplicación de fertilizante donde el ciclo fue de 87 días son adecuados para la cría. Esta duración del ciclo biológico está acorde con los observados por Velasco y García (1990).

El ciclo más largo se presentó en aquella cochinilla criada en cladodios con Fq la cual tuvo una duración de 109 días, aun así inferior a los 130 días señalados por Aldama-Aguilera y Llanderal-Cazáres (2003). Todos los tratamientos se encuentran dentro del período reportado por Méndez (2001), quien encontró que la duración del ciclo del insecto puede oscilar entre 60 y 150 días. Méndez (1992) menciona que la duración del ciclo de vida del insecto es una función lineal de la temperatura, de tal forma que cuando ésta se incrementa la duración del ciclo biológico tiende a disminuir; sin embargo, en la presente investigación también se observó que al

aumentar la humedad relativa, se alarga el periodo que tarda la grana en llegar al estado adulto.

Por otro lado, al final del ciclo de vida del insecto, se observó que el 56.6 % de los cladodios de nopal con Fqo se secaron, esto explicado quizá por el nivel crítico de los nutrimentos N, P y K (Alcántar y Sandoval, 1999) en los cladodios. El 16.6 % de aquellos con Fq presentaron pudrición. En la Fo el 11.5 % de los cladodios se secaron y el 1.6 % presentó pudrición, y en los provenientes del tratamiento sF no se observaron cladodios secos ni podridos.

En resumen los cladodios provenientes de los tratamientos de Fo y sF presentaron la menor duración del ciclo de vida del insecto y una mayor integridad del cladodio.

5.2.2. Peso fresco de grana

El análisis de varianza realizado mostró un efecto altamente significativo del tipo de fertilización sobre el peso fresco de la grana por cladodio ($p \leq 0.01$). No se encontraron diferencias entre los tratamientos de fertilización orgánico y sin fertilizante, pero sí de éstos con los tratamientos químico orgánico y químico.

La grana criada en aquellos cladodios con tratamiento de Fqo presenta mayor peso fresco por cladodio con promedio de 6.44 g y el tratamiento de fertilización química los menores rendimientos por penca con 3.64 g (Cuadro 5). Los tratamientos orgánico y sin fertilizante, que no difieren estadísticamente, presentan medias de 5.51 g y 5.42 g, respectivamente. Los rendimientos anteriormente señalados son inferiores a la media de 8.62 g obtenida por Campos-Figueroa y Llanderal-Cázares (2003) en condiciones similares. Sin embargo, la producción por cladodio fue superior a los 0.15 g reportados por Aldama *et al.* (2005), aunque bajo diferente sistema de cría (en planas en pie y a cielo abierto).

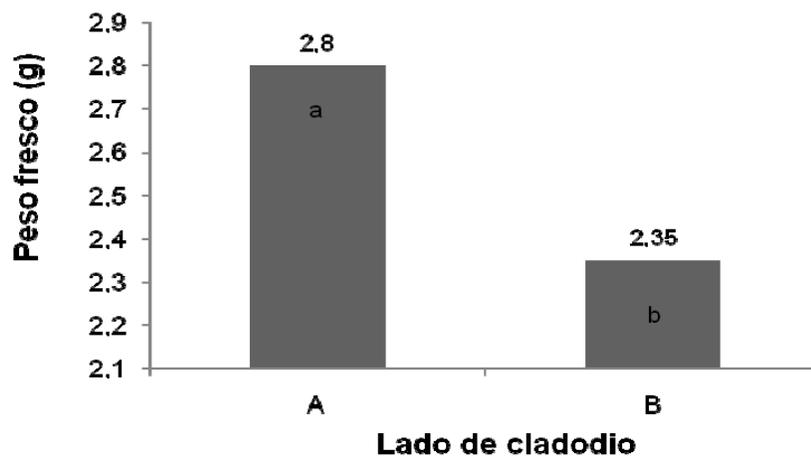
Cuadro 5. Prueba de comparación de medias de Duncan para peso fresco

Tratamiento	Media (gramos)	
Fqo	6,44	a
Fo	5,51	b
sF	5,42	b
Fq	3,64	c

Medias con distinta letra son significativamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.01$).

Por otro lado, también se encontraron diferencias estadísticas en relación al peso fresco de la grana ($p \leq 0.01$) entre la cara de infestación (A) y cara opuesta del cladodio (B).

La cara de infestación (A) presenta mayor peso fresco de grana por penca (2.80 g) y el envés (B) menor rendimiento (2.35 g), estos valores son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Duncan (Figura 17). Lo anterior pone de manifiesto la importancia de la manera en que se lleva a cabo la infestación, ya que la cara que está en mayor contacto con el nido o las crías, presenta una densidad de población más alta. Asimismo, vale la pena resaltar que las crías tienen movilidad reducida al preferir establecerse en la cara donde hacen el contacto inicial.

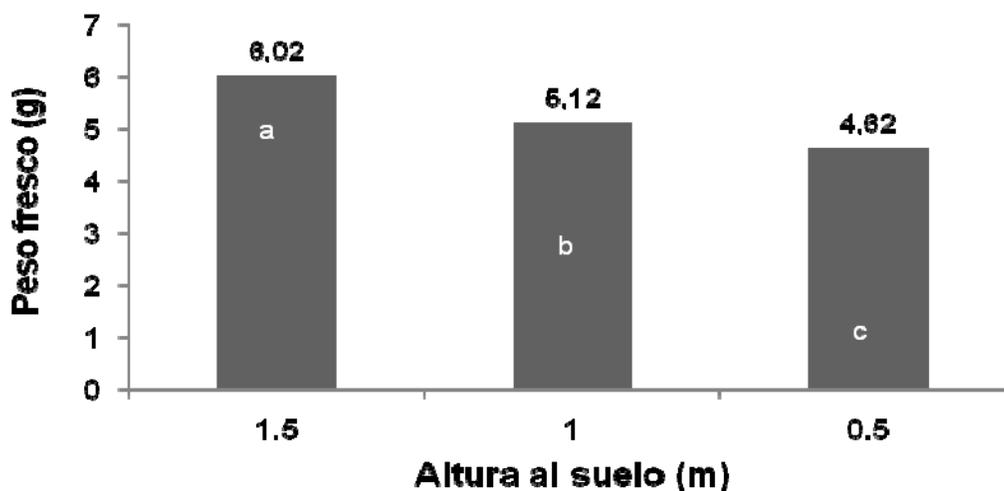


*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Figura 17. Peso fresco de grana por lado del cladodio

La altura que ocupan los cladodios en relación a la nopaloteca también presentó un efecto significativo sobre el peso fresco de la grana por cladodio ($p \leq 0.01$). La prueba de Duncan mostró diferencia entre los tres niveles de altura en estudio. Consistentemente el nivel superior de la nopaloteca que se encuentra a 1.5 m de altura presentó el mayor rendimiento de grana por cladodio (6.02 g), seguido por el nivel medio que se encuentra a 1 m de altura y que en promedio cosechó 5.12 g de grana fresca, y al final el nivel inferior con 4.62 g por penca (Figura 18.), contrario a lo que mencionan Campos-Figueroa y Llanderal-Cázares(2003) ,quienes al evaluar el efecto de la altura sobre el peso fresco de grana por cladodio en un invernadero techado con lámina de plástico transparente recubierta con sellador, no encontraron diferencias significativas.

Lo anterior puede estar relacionado a diferencias de temperatura y luminosidad que se presentan entre los diferentes estratos, dado que se observó una tendencia que al disminuir la altura al piso disminuye el peso fresco de los insectos.



*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Figura 18. Efecto de la altura sobre peso fresco de la grana por cladodio

5.2.3. Número de hembras por cladodio

Los diferentes tipos de fertilización a los que fueron sometidos los cladodios presentaron un efecto altamente significativo sobre el número de hembras por penca ($p \leq 0.01$). La comparación de medias indica que aquellos cladodios sometidos al tratamiento de fertilizante químico, son los que presentaron mayor número de hembras, en promedio 786 por cladodio y es diferente estadísticamente al número de hembras producidos con los tratamientos orgánico (626 insectos), químico orgánico y sin fertilizante, entre los dos últimos no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 6.).

El número de hembras por cladodio, obtenido en todos los tratamientos, fue superior a los que observaron Tekelenburg (1995), y Campos-Figueroa y Llanderal-Cázares (2003), quienes obtuvieron 194, y entre 214 y 222 hembras por cladodio, respectivamente.

El número de hembras por cladodio obtenido presentó una correlación positiva, altamente significativa al nivel de $\alpha=0.05$, con coeficiente de correlación de 0.971, con el contenido de nitrógeno en el tejido vegetal de los cladodios de nopal de los distintos tratamientos de fertilización. Estos resultados coinciden con Tovar *et al.* (2008) quienes mencionan que los contenidos de zinc y nitrógeno en tejido vegetal están relacionados positivamente con la producción de grana. En la presente investigación también se observa una correlación positiva entre el contenido de zinc y el número de hembras por penca, sin embargo, no es significativa ($r = 0.527$).

La diferencia observada entre el número de hembras obtenida en aquellos cladodios con fertilización orgánica y química orgánica, puede estar influida por la aplicación de abono orgánico en forma de gallinaza en la modalidad de fertilización orgánica y de estiércol vacuno en la fertilización química-orgánica; ya que de acuerdo a estudios de Tekelenburg (1995) la fertilización orgánica tiene efecto sobre

los niveles poblacionales de grana, obteniendo mejores resultados con la aplicación de gallinaza y, en menor grado, estiércol vacuno, porcino y composta.

Así mismo, se encontró una correlación negativa entre el grosor de cutícula de los cladodios (-0.343) y el número de insectos por cladodio, a su vez, el grosor de cutícula presenta correlación positiva altamente significativa con el contenido de oxalatos de calcio (0.984), es decir, conforme aumenta el contenido de oxalatos de calcio también el grosor de la cutícula, pero es posible que esto influya negativamente sobre el número de hembras establecidas en el cladodio. Méndez (1992) menciona que una de las respuestas de la planta al daño es la presencia y acumulación de una capa de oxalatos de calcio en la pared de las células epidermales, que posiblemente impiden la inserción de estiletes mandibulares del insecto, evitando con esto su anclaje y posterior alimentación.

Cuadro 6. Influencia de la fertilización sobre el número de hembras de cochinilla por cladodio

Tratamiento	Número de hembras	
Fq	785.63	a
Fo	626.08	b
Fqo	411.15	c
Sf	366.07	c

Medias con distinta letra son significativamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.01$).

Por otro lado, también se observaron diferencias significativas entre el número de insectos encontrados en el lado de infestación (A) y el envés del cladodio (B). Se observó que el lado A, tuvo mayor número de hembras, en promedio 305 individuos, y difirió significativamente del lado B, con 242 insectos (Cuadro 7). Es decir, el 55.7 % de la población total permaneció en la cara de infestación y 44.3 % en la cara opuesta.

En campo se ha observado que la ninfa migrante de primer instar busca superficies sombreadas de las pencas para establecerse (Condeña, 1997), por lo

que el lado A (orientado al oeste) que recibía la salida del sol, resultaba más adecuado para la fijación de las ninfas ya que estaba expuesto a menor luminosidad. Sin embargo, la infestación en ambas caras es alta, y superior a la reportada por Aldama-Aguilera y Llanderal-Cazáres (2003), en infestación con inmaduros a granel, en pencas horizontales individuales, con 79 % de hembras en cara de infestación y 21 % en cara opuesta.

Cuadro 7. Prueba de comparación de medias para número de hembras por lado de cladodio

Lado	Media Número de hembras	
A	304.78	a
B	242.45	b

Medias con distinta letra son significativamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.01$).

La altura también presentó un efecto significativo sobre el número de hembras por cladodio ($p \leq 0.01$). El número de hembras de los cladodios situados a 0.5 m del suelo fue significativamente diferente al de 1 y 1.5 m (Cuadro 8). El nivel inferior tiene mayor número de hembras, seguidas por las del cable que se encuentra a 1m del suelo y finalmente las de 1.5 m. Esto implica que a pesar de que se establecieron un alto número de insectos en el nivel más bajo, no tuvieron las condiciones de luminosidad para su normal desarrollo.

Cuadro 8. Prueba de comparación de medias para número de hembras por estrato

Estrato	Media Número de hembras	
0.5 m	619.74	a
1.0 m	538.79	b
1.5 m	483.18	b

Medias con distinta letra son significativamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.01$).

5.2.4 Peso seco de grana

Se encontró un efecto significativo de los tratamientos de fertilización sobre el peso seco de la cochinilla por cladodio ($p \leq 0.01$). No hay diferencias estadísticas entre el peso de la cochinilla obtenido en los cladodios provenientes de los tratamientos orgánico y químico, pero sí de éstos con el tratamiento sin fertilización y el de fertilización químico orgánico (Cuadro 9). Los promedios obtenidos están acorde a los consignados por Méndez (2001) entre 1 y 2 g de cochinilla seca por cladodio.

Se observó una correlación positiva, significativa al $\alpha=0.05$, entre los contenidos de magnesio ($r = 0.959$), fierro ($r = 0.983$) y sodio ($r = 0.984$) presentes en el tejido vegetal con el peso seco del insecto; es decir, conforme aumenta el contenido de magnesio, fierro y sodio, también hay un incremento en el peso seco de la grana; sin embargo en literatura no hay reportes en este sentido por lo que es necesario realizar estudios más detallados.

Cuadro 9. Prueba de comparación de medias de Duncan para peso seco

Tratamiento	Media (gramos)
Fo	1.72 a
Fq	1.66 a
sF	1.50 b
Fqo	1.48 b

Medias con distinta letra son significativamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.01$).

De acuerdo al número de hembras y peso seco obtenido en cladodios sometidos a fertilización orgánica se requieren 241 mil 935 insectos, equivalente a 581 pencas, para obtener un kilogramo de cochinilla seca. En aquellos cladodios con fertilización química se necesitan 240 mil 964 cuerpos secos o bien 604 pencas. En el tratamiento sin fertilizante 173 mil 913 hembras secas, equivalente a 662 pencas y finalmente en el tratamiento de fertilización químico orgánica son necesarias 277 mil

351 cochinillas, correspondiente a la cosecha de 675 cladodios de nopal, 94 cladodios más que en la fertilización orgánica (Figura 19).

El secado del insecto es una de las etapas que ejerce mayor influencia sobre la calidad de la grana (Méndez, 2001). La relación entre el peso fresco y seco (factor de secado) en el tratamiento de fertilización orgánico fue de 2.97:1, es decir se necesitan 2.97 g de grana fresca para obtener un gramo de grana seca; en el tratamiento de fertilización química de 2.19:1; el tratamiento sin fertilizante de 3.59: 1, y el factor de secado del tratamiento de fertilización química es de 4.35. El factor de secado de la grana de las pencas con fertilización orgánica y sin fertilizante concuerda con el reportado por Méndez (2001) de 2.5 a 3.5 g de peso fresco por cada gramo de peso seco. Sin embargo, el factor de secado de la grana de la fertilización química es inferior y el de la fertilización química orgánica superior a los reportados por este autor. El bajo factor de secado de la fertilización química sugeriría que las hembras se deshidratan menos, sin embargo, se observó en campo que el 16.6 % del total de cladodios de este tratamiento se pudrió para el final del ciclo de vida del insecto, interrumpiéndose el desarrollo del mismo, por lo que la disminución del peso fresco al seco es mínima y consecuentemente el factor de secado también es bajo.

No se observó efecto de la altura, ni de la cara de infestación del cladodio sobre el peso seco.

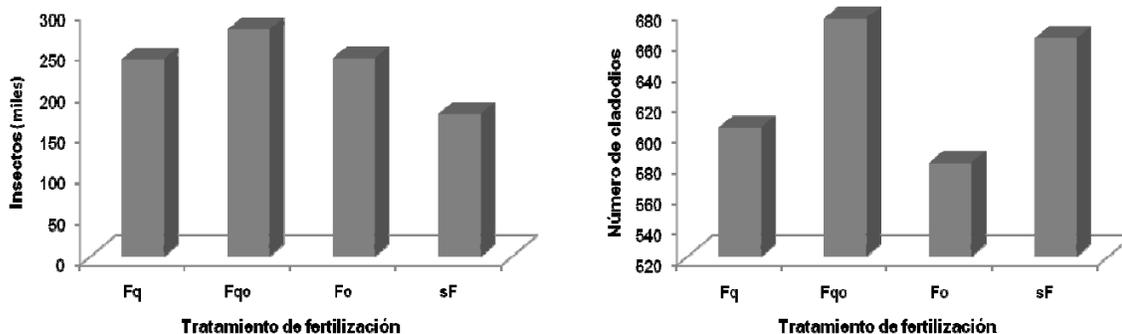


Figura 19. Requerimientos de cladodios de nopal e insectos deshidratados para obtener un kilogramo de grana seca

5.3. Influencia de la fertilización de nopal sobre la calidad de *D. coccus*

5.3.1. Talla de grana

El análisis de varianza mostró efecto de la fertilización sobre largo ($p \leq 0.01$) y ancho ($p \leq 0.01$) de los insectos *in vivo*.

Los insectos con mayor talla se desarrollaron en las pencas del tratamiento sin fertilizante y los de menor talla en la fertilización orgánica (Figura 20). La talla de los insectos observada en este estudio coincide con los valores señalados por Montiel (1995) quien menciona que las hembras adultas miden entre 3.29 y 5.13 mm de longitud y entre 2.26 y 3.55 mm de ancho, pero su tamaño es inferior al reportado por Briseño (2001) quien obtuvo grana con longitud promedio de 5.4 mm y ancho de 4.6 mm, aunque hay reportes de que las hembras próximas a ovipositar pueden llegar a medir hasta 6.24 por 4.71 mm (Marín y Cisneros, 1977).

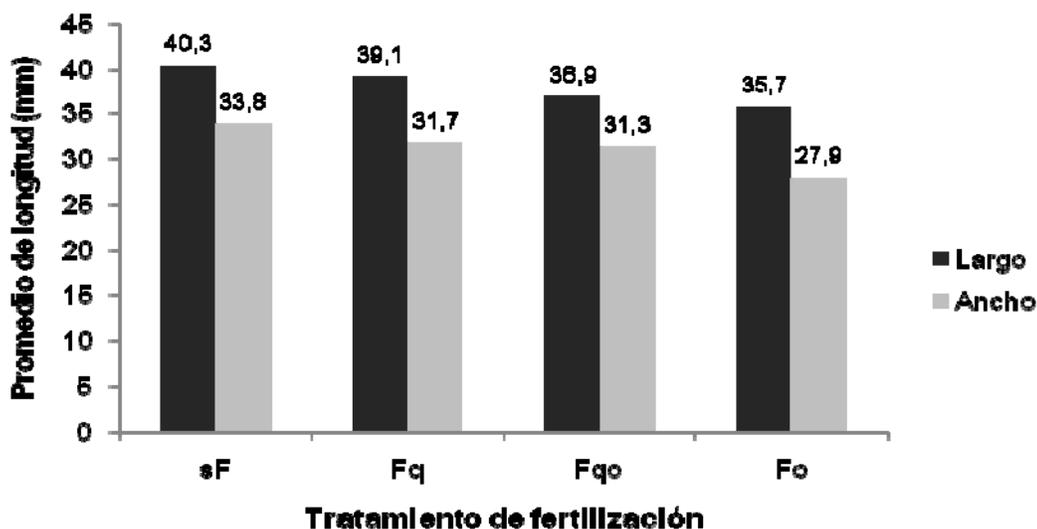


Figura 20. Talla de la grana en los tratamientos de fertilización

La altura de acomodo en la nopaloteca presentó efecto sobre el largo de la grana ($p \leq 0.05$). Se observó que hay diferencia significativa entre las longitudes del eje mayor del insecto en el cable superior y los cables medio e inferior. En los cables inferior y medio que se ubicaban a 0.5 m del suelo y 1 m, se encontró la grana de

mayor largo (38 mm) y en el cable superior la de menor longitud (37 mm). El ancho del insecto fue más homogéneo en las tres alturas.

Pese a que para la comercialización de grana existe una clasificación con base al tamaño de la grana en seco, la talla de los individuos *in vivo* no es un buen indicador de calidad, ya que las hembras provenientes de las pencas con fertilización química orgánica aunque son las que poseen mayor contenido de ácido carmínico, no son las de mayor talla; por lo que se observa que la talla *in vivo* no tiene relación con el contenido de ácido carmínico (Cervantes, 2004). En este sentido, es posible encontrar insectos de tamaño pequeño con mayor concentración de ácido carmínico (Tekelenburg, 1995), como es el caso de la grana proveniente de la fertilización orgánica, e insectos de talla superior con baja concentración de colorante (provenientes de fertilización química), es decir, el tamaño del insecto no tiene una relación directa sobre su calidad.

5.3.2. Determinación del contenido de ácido carmínico

En el Cuadro 10, se enlistan los porcentajes de ácido carmínico (AC) obtenidos para cada tratamiento de fertilización.

Cuadro 10. Porcentaje de ácido carmínico de grana.

Tratamiento	% AC
Fqo	21.58
sF	20.96
Fo	19.18
Fq	16.74

El contenido de AC de la grana de los tratamientos de fertilización químico orgánico, sin aplicación de fertilizante y orgánico es superior al mínimo requerido para ser considerada grana de primera calidad de acuerdo a las clasificaciones de La fundación Boliviana Exporta y La Joya Eximport E.I.R.L., quienes establecen

porcentajes de AC de 20% y de 19 a 25 %, respectivamente. Por otro lado, la grana proveniente de cladodios con fertilización química se encuentra en el rango de grana de segunda calidad, mayor a 12% y menor a 19% de ácido carminico (<http://www.lajoyaexport.com/cochinilla.html>).

Se encontró correlación negativa entre los ocho elementos analizados y el porcentaje de AC, sin embargo sólo es significativa al nivel $\alpha=0.05$, con un coeficiente de correlación de -0.980 para el nitrógeno. Vigueras y Portillo (1995) reportan que la ausencia de nitrógeno, potasio, y microelementos aumenta el porcentaje de AC.

Los cladodios con fertilización química presentaron el nivel más alto de nitrógeno con 1.02 %, pero este elemento tuvo un efecto negativo sobre el contenido de AC (16.74 %), los cladodios provenientes de la fertilización orgánica con 0.86% de nitrógeno obtuvieron 19.18% AC; el tratamiento sin fertilizante presentó 0.59 % de nitrógeno y 20.96 % AC y los cladodios con fertilización química orgánica que tuvieron el nivel más bajo de nitrógeno (0.51 %) presentaron la mayor concentración de AC con 21.58 %, por lo que se observa que a menor contenido de nitrógeno en el cladodio de nopal, mayor es la calidad de ácido carmínico obtenido. En contraparte, a mayor contenido de nitrógeno mayor es el número de hembras por penca. Los valores de AC obtenidos en esta investigación son superiores a los señalados por Méndez *et al.* (2010) pero inferiores a los consignados por Rodríguez *et al.* (2005).

5.4. Evaluación financiera de la producción y comercialización de grana en un esquema intensivo, en invernadero

En este apartado se presenta el estudio de la evaluación financiera como la parte culminante de toda la estructura de análisis de la factibilidad del proyecto de producción de grana, el caso de Campo Carmín, Morelos; por tal motivo, es el momento de mostrar si la inversión propuesta será financieramente rentable, para ello se realizó la evaluación económica utilizando el método de análisis que toma en

cuenta el cambio del valor del dinero a través del tiempo, mediante los dos indicadores fundamentales Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para determinar la rentabilidad del proyecto de producción de grana cochinilla. En el proceso se calcularon los costos de producción, de administración y de ventas, así como la inversión total inicial, el capital de trabajo, la depreciación, el punto de equilibrio y, los estados de resultados proforma.

Para contextualizar el estudio de caso, se describe a continuación brevemente el Proyecto Campo Carmín de producción de grana y las actividades que conforman el proceso de producción del insecto.

Campo Carmín S.P.R. de R.L., es una sociedad conformada en el año 2003, integrada por mujeres, en condición de vulnerabilidad: madres solteras o mujeres desempleadas; es un proyecto que tiene como objetivo la producción intensiva de grana cochinilla orgánica bajo condiciones controladas (invernadero) utilizando mano de obra femenina en el proceso productivo.

La planta se ubica en las colindancias de los municipios Emiliano Zapata y Xochitepec, Morelos, en las coordenadas geográficas 18°45'17" de latitud norte y 99°11'37" de longitud oeste; posición que goza de un clima favorable para este tipo de actividad y de las vías de comunicación adecuadas para optimizar la localización de la planta en los mercados locales, nacionales e internacionales.

En el proceso de producción de grana se utilizan únicamente insumos orgánicos fabricados por Ultraquímia Agrícola S.A. de C.V. y provistos por Promotora Técnica Industrial S.A. de C.V. La grana producida, se vende en seco al final del ciclo de producción del insecto a Promotora Técnica Industrial S.A. de C.V. ubicada en Jiutepec, Morelos.

La producción de grana cochinilla consta de dos procesos, el primero que corresponde a la producción y obtención del nopal, y el segundo la cría de grana. A

continuación se enumeran únicamente las actividades necesarias para la cría y producción de grana en invernadero:

1. *Obtención de cladodios de nopal*, los cladodios destinados a la producción de grana deben tener una edad aproximada de 6 meses, de 35 a 40 cm de longitud, turgencia y no presentar daños por plagas aparentes.
2. *Limpieza de cladodios de nopal*, una vez seleccionados los cladodios se cepillan para eliminar restos de insectos, polvo y materiales heterogéneos, cuando el cepillado no es suficiente se lavan con sustancias sanitizantes y se secan.
3. *Transporte a camas de infestación*, los cladodios se transportan cuidadosamente al interior del invernadero en carretillas desinfectadas y se colocan 25 cladodios aproximadamente por sección de nopaloteca, traslapados, en posición horizontal. El estrato donde se les coloca depende del tipo de infestación al que sean sometidas.
4. *Infestación*, si la infestación se realiza con penca infestadora, los cladodios limpios se colocan en la nopaloteca debajo de las pencas infestadoras (con hembras en oviposición), en camas de aproximadamente 25 cladodios. Si la infestación se realiza con pie de cría se colocan 2 kg aproximadamente del insecto en tamices sobre cada cama de cladodios.
5. *Colocación de ganchos*, a cada cladodio se le inserta un gancho de acero inoxidable a 3 cm aproximadamente de la base.
6. *Levantado de camas y colgado de cladodio*, cuando se observa infestación homogénea en los cladodios y una vez seleccionada la nopaloteca y el estrato donde serán colocados se levantan las camas, teniendo cuidado de no lastimar o tirar a las ninfas del insecto y se cuelgan en el lugar elegido en posición vertical.
7. *Monitoreo*, durante el ciclo de producción del insecto se monitorean los cladodios para evitar el desarrollo de grana silvestre, larvas de insectos y pudrición de pencas de nopal, retirándolos si es necesario.

8. *Selección de cladodios infestadores*, cuando el insecto ha cumplido su ciclo, es decir de 90 a 120 días aproximadamente después de la infestación, se seleccionan aquellos cladodios que presentan una buena densidad de población para ser utilizados como cladodios infestadores y el resto se cosecha.
9. *Cosecha*, la cosecha se realiza barriendo a las hembras del cladodio y depositándolas en cajas contenedoras, auxiliándose de ser necesario con pinzas; es indispensable evitar lastimar a los insectos en este proceso.
10. *Sacrificio y secado*, la grana cosechada se esparce en tamices, donde se sacrifica por desecación y se seca por aproximadamente un mes al interior del invernadero.
11. *Selección de tamaño*, la grana deshidratada se pasa a través de una malla de 2 mm de apertura para eliminar cera, espinas, restos de nopal y grana inferior a esta medida (granilla).
12. *Empacado*, la grana seca se deposita en bolsas plásticas para mantenerla aislada de luz y humedad hasta su venta o transporte al laboratorio.
13. *Transporte al laboratorio y venta*, la grana es entregada al laboratorio donde se analiza el contenido de ácido carmínico para su venta y posterior transformación.

Para tener una mejor imagen y un ágil manejo del proceso, antes descrito, se presenta el siguiente diagrama de flujo que utiliza la simbología de Baca (2001), mismo que permitirá, simultáneamente, visualizar el tamaño óptimo, la distribución de la planta y, la cantidad de trabajadoras involucradas:

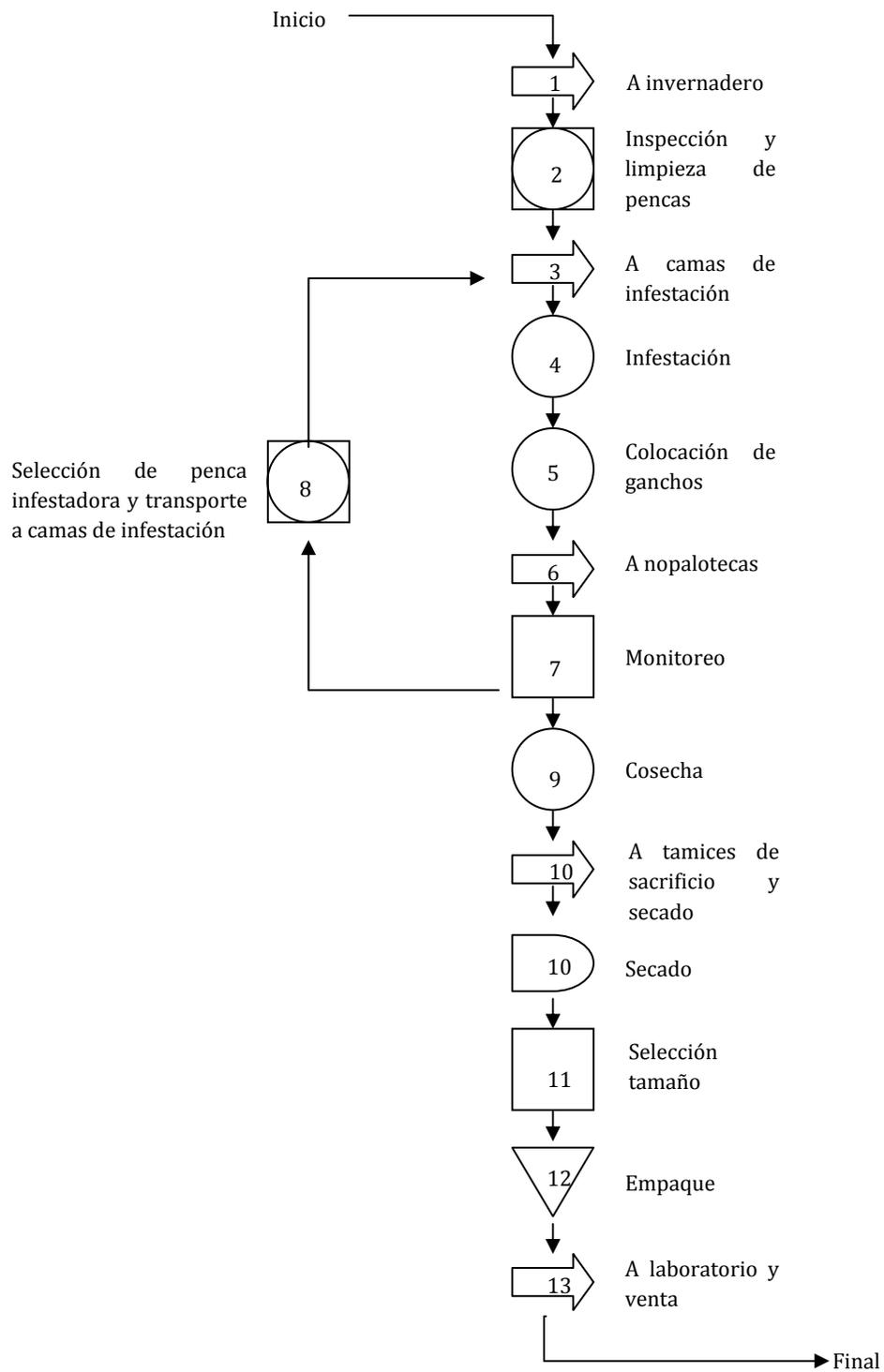


Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de producción de grana

Se calcularon los costos de producción fijos y los costos variables, para este proyecto. En los costos fijos se consideró el total de activos fijos adquiridos y la inversión realizada en el establecimiento y desarrollo del cultivo. En el primer rubro se incluye la construcción de invernaderos, adquisición de vehículo, ampliación de terreno, ampliación de invernaderos, construcción de bodegas y almacén. En la inversión destinada al establecimiento y desarrollo del cultivo se consideraron cursos de capacitación y pie de cría del insecto, únicamente para el primer año debido a que en los ciclos de producción subsecuentes se obtiene el propio pie de cría; así mismo se estimaron los costos de los insumos, como son: el agua, la electricidad, los combustibles y demás materiales para el correcto desarrollo del cultivo en condiciones de sustentabilidad.

El Cuadro 11, resume la inversión total correspondiente al proyecto.

Cuadro 11. Inversión total del proyecto de producción de grana

<i>Inversión (\$) en activos fijos</i>	<i>Año 1</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	<i>Total</i>
Invernadero 1	\$80,000	\$0	\$0	\$0	
Terreno	\$80,000	\$0	\$0	\$0	
Otros (ganchos)	\$50,000	\$0	\$0	\$0	
Vehículo	\$80.000	\$0	\$0	\$0	
Invernaderos 2 3 4	\$0	\$896.000	\$0	\$0	
Ampliación de terreno	\$0	\$448.320	\$0	\$0	
Bodegas	\$0	\$0	\$100.000	\$0	
Almacén	\$0	\$0	\$0	\$100.000	
Subtotal	\$290,000	1,344,320	\$100,000	\$100,000	\$1,834,320
<i>Costos de establecimiento y desarrollo del cultivo</i>	<i>Año 1</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	
Pie de cría	\$792.000	\$0	\$0	\$0	
Capacitación	\$60.000	\$0	\$0	\$0	
Subtotal	\$852.000	\$0	\$0	\$0	\$852.000

Para la estimación de los costos administrativos se consideró un monto de \$ 6,000.00 mensuales y adicionalmente en los costos variables se considera el pago de tres jornales que están directamente relacionados con la producción de la grana,

quienes además también desempeñan funciones administrativas, de distribución y de ventas.

Los costos variables se calcularon por ciclo de producción a ocho años, cada ciclo tuvo una duración de cuatro meses. Se consideró la materia prima, principalmente las pencas de nopal que sirven como substrato a la grana y materiales indirectos destinados a limpieza, protección, monitoreo, cosecha y empaque, tales como jabón, escobas, jergas, franelas, cepillos, guantes, paliacates, brochas, cajas recolectoras y de secado, palanganas, tamices y bolsas plásticas. Para este ejercicio se consideró que los cladodios de nopal se compraron con costo de \$ 0.50 centavos por unidad, los costos se calcularon con base en información directa proporcionada por productores de grana y nopal (Cuadro 12).

Los datos se calcularon utilizando para los ciclos 1 y 2 el 30% de la capacidad del invernadero 1, es decir, 21,000 pencas; para los ciclos 3 y 4 se utilizó el invernadero al 70% de su capacidad. En el ciclo 5 y 6 con la inclusión del invernadero 2 se consideran 84,000 pencas. A partir del ciclo 7 se integran cuatro invernaderos y se utilizan al 61 % de su capacidad.

En el cálculo de mano de obra directa se consideraron cuatro jornales en los seis primeros ciclos, a partir del ciclo siete, con la integración de tres invernaderos más, se incrementó a nueve el número de jornales.

Cuadro 12. Costos variables de producción para los primeros ocho años del proyecto de producción de grana

<i>Conceptos</i>	<i>Ciclo 1</i>	<i>Ciclo 2</i>	<i>Ciclo 3</i>	<i>Ciclo 4</i>	<i>Ciclo 5</i>	<i>Ciclo 6</i>	<i>Ciclo 7</i>	<i>Ciclo 8</i>	<i>Ciclo 9</i>	<i>Ciclo 10</i>
1. Materias primas										
Pencas nopal	\$5,250	\$5,250	\$10,500	\$10,500	\$21,000	\$21,000	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500
2. Mano de obra directa										
Jornales	\$38,400	\$38,400	\$38,400	\$38,400	\$38,400	\$38,400	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000
3. Materiales indirectos										
Limpieza, monitoreo y empaque	\$640	\$640	\$640	\$640	\$640	\$640	\$860	\$860	\$860	\$860
Total	\$44,290	\$44,290	\$49,540	\$49,540	\$60,040	\$60,040	\$159,360	\$159,360	\$159,360	\$159,360
<i>Conceptos</i>	<i>Ciclo 11</i>	<i>Ciclo 12</i>	<i>Ciclo 13</i>	<i>Ciclo 14</i>	<i>Ciclo 15</i>	<i>Ciclo 16</i>	<i>Ciclo 17</i>	<i>Ciclo 18</i>	<i>Ciclo 19</i>	<i>Ciclo 20</i>
1. Materias primas										
Pencas nopal	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500
2. Mano de obra directa										
Jornales	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000
3. Materiales indirectos										
Limpieza, monitoreo y empaque	\$860	\$860	\$860	\$860	\$860	\$860	\$860	\$860	\$860	\$860
Total	\$159,360									
<i>Conceptos</i>	<i>Ciclo 21</i>	<i>Ciclo 22</i>	<i>Ciclo 23</i>	<i>Ciclo 24</i>	<i>Ciclo 25</i>	<i>Ciclo 26</i>	<i>Ciclo 27</i>	<i>Ciclo 28</i>		
1. Materias primas										
Pencas nopal	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500	\$62,500		
2. Mano de obra directa										
Jornales	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000	\$96,000		
3. Materiales indirectos										
Limpieza, monitoreo y empaque	\$860	\$860	\$860	\$860	\$860	\$860	\$860	\$860		
Total	\$159,360									

Se muestra a continuación en el Cuadro 13 el desglose de los ingresos y egresos por ciclo. Los rendimientos calculados para los dos primeros ciclos de producción son de 36 kg, considerando un rendimiento ideal de 3 g de grana seca por cladodio, sin mermas, y la utilización del primer invernadero al 30%. En los ciclos tres y cuatro, con la producción propia de pie de cría, se considera la utilización del invernadero al 70% por lo cual se producen 126 kg de grana por ciclo. A partir del

ciclo siete la producción promedio es de 765 kg debido al establecimiento de tres invernaderos más y los rendimientos utilizados a partir de este ciclo son un promedio de los datos proporcionados por las productoras.

El precio de venta de la grana por kilogramo en promedio es de \$18.00 dólares, aproximadamente \$ 234.00 pesos mexicanos.

Cuadro 13. Ingresos en los ocho primeros años del proyecto de producción de grana

Conceptos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
Rendimiento (Kg)	36	36	126	126	252	252	765
Precio unitario	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234
Total de ingresos	\$8.424	\$8.424	\$29.484	\$29.484	\$58.968	\$58.968	\$179.010
Costos de producción							
Variables	\$5.890	\$5.890	\$11.140	\$11.140	\$21.640	\$21.640	\$63.360
Fijos	\$38.400	\$38.400	\$38.400	\$38.400	\$38.400	\$38.400	\$96.000
Total de egresos	\$44.290	\$44.290	\$49.540	\$49.540	\$60.040	\$60.040	\$159.360
Conceptos	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13	Ciclo 14
Rendimiento (Kg)	765	765	765	765	765	765	765
Precio unitario	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234
Total de ingresos	\$179.010						
Costos de producción							
Variables	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360
Fijos	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000
Total de egresos	\$159.360						
Conceptos	Ciclo 15	Ciclo 16	Ciclo 17	Ciclo 18	Ciclo 19	Ciclo 20	Ciclo 21
Rendimiento (Kg)	765	765	765	765	765	765	765
Precio unitario	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234
Total de ingresos	\$179.010						

Cuadro 13, continuación.

Costos de producción

Variables	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360
Fijos	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000
Total de egresos	\$159.360						

Conceptos	Ciclo 22	Ciclo 23	Ciclo 24	Ciclo 25	Ciclo 26	Ciclo 27	Ciclo 28
Rendimiento (Kg)	765	765	765	765	765	765	765
Precio unitario	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234	\$234
Total de ingresos	\$179.010						

Costos de producción

Variables	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360	\$63.360
Fijos	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000	\$96.000
Total de egresos	\$159.360						

Se observa que en los seis primeros ciclos el total de egresos supera al total de ingresos, debido a que los invernaderos no se utilizan al cien por ciento de su capacidad y consecuentemente el costo de producción de un kilogramo de grana supera el costo de venta de la misma.

En el Cuadro 14, se indican los cargos anuales por depreciación de activos tangibles. En la columna de la extrema derecha se indica el valor residual que tendrían los activos al finalizar el octavo año.

Finalmente, para llevar a cabo la evaluación económica se realizó el cálculo del VPN a partir de la definición de Baca (2001) que nos dice: “es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial”.

Cuadro 14. Depreciación de activos

Concepto	Inversión inicial	Vida útil	Tasa de depreciación anual (%)	Depreciación anual								Valor residual	
				1	2	3	4	5	6	7	8		
Invernadero 1 estructura	\$56.000	15	0,1	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	\$11.200
Invernadero1 plástico	\$24.000	4	0,25	6.000	6.000	6.000	6.000						\$0
Terreno	\$80.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$80.000
Camioneta	\$80.000		0,12	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	\$3.200
Otros	\$50.000	8	0,1	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	\$10.000
Invernadero 2 estructura	\$56.000	15	0,1	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	\$11.200
Invernadero 2 plástico	\$24.000	4	0,25	6.000	6.000	6.000	6.000						\$0
Invernadero 3 estructura	\$257.600	15	0,1	25.760	25.760	25.760	25.760	25.760	25.760	25.760	25.760	25.760	\$51.520
Invernadero 3 plástico	\$110.400	4	0,25	27.600	27.600	27.600	27.600						\$0
Invernadero 4 estructura	\$313.600	15	0,1	31.360	31.360	31.360	31.360	31.360	31.360	31.360	31.360	31.360	\$62.720
Invernadero 4 Plástico	\$134.400	4	0,25	33.600	33.600	33.600	33.600						\$0
Terreno ampliación	\$448.320		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$448.320
Bodega	\$100.000		0,1	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	\$20.000
Almacén	\$100.000		0,1	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	\$20.000
Total	\$1.834.320												\$718.160

Los Flujos Netos de Efectivo y la inversión inicial fueron los siguientes:

Cuadro 15. Flujos netos de efectivo de los ocho primeros años del proyecto

Concepto	Monto en pesos
Inversión inicial	1.834.320,00
FNE (Año 1)	-440.714,43
FNE (Año 2)	-1.546.595,71
FNE (Año 3)	-52.195,71
FNE (Año 4)	131.095,00
FNE (Año 5)	-52.195,00
FNE (Año 6)	131.095,00
FNE (Año 7)	-52.195,00
FNE (Año 8)	131.095,00

Llama la atención que los Flujos Netos de Efectivo de los tres primeros años son negativos, situación que resulta evidente y natural dado el comportamiento de

los costos fijos, los costos variables, el volumen de producción esperada y el precio de venta por unidad del producto; como se observa en los Cuadros 11, 12 y 13, y en particular en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Costos variables y fijos

Costos Fijos		Costos Variables	
Concepto	Pesos	Concepto	Pesos
Invernadero	80.000,00	Pie de cría	792.000,00
Vehículos	40.000,00	Pencas de nopal	5.250,00
Bodegas	20.000,00	Capacitación	60.000,00
Almacén	20.000,00	Otros materiales	640,00
Mano de Obra	38.400,00		
Total	198.400,00	Total	857.890,00

De donde se desprende que el costo variable por unidad producida (un kilogramo) es de 5106 pesos, dado que solo se producen 168 kg en el primer año y, tiene un precio de 234 pesos, de manera que desde aquí es evidente que es un proyecto no rentable económicamente y, que su subsistencia, tras casi ocho años de ejecución, solo se puede explicar por los apoyos y subsidios que, seguramente, recibe del gobierno federal y estatal.

De manera que no existe una Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable (TMAR), para la cual el VPN sea mayor que cero, en estas condiciones, ni siquiera igual a cero. Por lo tanto se puede afirmar que con el precio de 18 dólares kg^{-1} de grana y con las inversiones antes mencionadas este proyecto no es rentable económicamente.

En un segundo escenario, para que este proyecto resultará rentable, considerando la inversión inicial, sería necesaria una producción de 2000 kg de grana a partir del ciclo 7 (Anexo 1), sin embargo, los invernaderos trabajando al 100%, sólo tienen capacidad de producir 1110 kg de grana por ciclo; de los cuales sólo producen 765 kg, por lo que aun si la inversión inicial planteada se redujera al

61%, que es la capacidad a la que se considera están trabajando los invernaderos, los valores del VPN y TIR son negativos (Anexo 2).

En un tercer escenario, se calculó que la rentabilidad del proyecto se puede alcanzar, con las inversiones antes mencionadas, si el precio por kilogramo de grana iguala o supera los 42 dólares (Anexo 3).

Finalmente y como último escenario si se produjeran 1110 kg de grana por ciclo, que es la capacidad que tienen los invernaderos trabajando al 100 %, se requiere que el precio de la grana por kilogramo sea de 30 dólares para que el proyecto sea rentable (Anexo 4).

VI. CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo general al evaluar el efecto de la fertilización del nopal *Opuntia ficus-indica*; sobre la producción y calidad en función del ácido carmínico contenido en la grana o cochinilla *Dactylopius coccus* Costa, y al determinar su viabilidad económica.

El primer objetivo específico se cumplió al determinar el efecto de la fertilización de nopal, utilizado como sustrato sobre los rendimientos de grana por cladodio concluyendo lo siguiente:

- Los cladodios de los tratamientos de fertilización orgánica y sin fertilizante presentaron menor duración del ciclo de vida de la grana y mayor integridad del cladodio.
- Los cladodios del tratamiento de fertilizante químico presentaron mayor número de hembras, observándose que el contenido de nitrógeno en el tejido vegetal influye positivamente sobre el número de insectos por cladodio.
- El contenido de oxalatos de calcio influye positivamente sobre el grosor de la cutícula de los cladodios de nopal, pero esto influye negativamente sobre el número de hembras que se establecen en el cladodio.
- Los tratamientos de fertilización orgánica y química presentaron mayor peso seco por cladodio, observándose que el contenido de magnesio, fierro y sodio en el tejido vegetal esta correlacionado positivamente con el peso seco del insecto.

También se cumplió con el segundo objetivo específico al determinar el efecto de la fertilización de nopal sobre la calidad de la grana cochinilla concluyendo que:

- El tratamiento sin fertilizante generó los insectos con mayor talla *in vivo*, sin embargo la talla *in vivo* no tiene relación con el contenido de ácido carmínico de la grana.

- La grana criada sobre cladodios a los que se les aplicó fertilización química-orgánica presentaron los valores más altos de ácido carmínico.
- El contenido de nitrógeno en los cladodios de nopal influye negativamente en el contenido de ácido carmínico.

Finalmente también se cumplió con el tercer objetivo al evaluar la rentabilidad económica de la producción y comercialización de grana-cochinilla en un esquema intensivo en invernadero, en un sistema de producción a penca colgada, concluyendo que:

- Con la inversión inicial planteada en este trabajo y el precio actual de la grana, no es rentable económicamente producir y comercializar grana cochinilla en un esquema intensivo en invernadero, en un sistema de producción a penca colgada,

Con base en lo anterior no se rechaza la hipótesis general que sostenía que “El estado nutricional de *Opuntia ficus-indica*, proporcionado como substrato alimenticio, determina los rendimientos y calidad del ácido carmínico de la grana-cochinilla”; tampoco se rechazan la primera y segunda hipótesis específicas, debido a que los rendimientos en peso y número de insectos por cladodio fueron distintos entre los cuatro tratamientos de fertilización, y a que el estado nutricional del nopal hospedero determinó el porcentaje de ácido carmínico de la grana, en especial el contenido de nitrógeno.

Se rechaza la tercera hipótesis de investigación que sostenía que “La producción y comercialización de grana en un esquema intensivo en invernadero es una actividad viable económicamente”.

VII. ESTRATEGIA

La siguiente propuesta para la producción de grana se basa en los aspectos estudiados y los resultados encontrados en el presente trabajo.

Se observó que la producción de grana en un esquema intensivo, en invernadero, en penca colgada no es rentable económicamente, bajo los precios actuales de la grana en el mercado internacional.

Con los costos de producción y la inversión inicial este proyecto sólo es rentable si la producción aumenta a 2000 kg por ciclo, situación que no es real debido a que los invernaderos únicamente tienen la capacidad para producir 1100 kg trabajando al 100 %. Por otro lado si se reduce la inversión inicial, considerando la inversión en terreno a 80 mil pesos, área suficiente para soportar un invernadero con capacidad para 70 mil cladodios y un almacén, y se trabajará de forma ideal al 100 % con únicamente cuatro jornales, el proyecto sería rentable económicamente.

Como el precio de la grana fluctúa entre 10 y 100 dólares kg^{-1} , solo sería rentable el proyecto planteado cuando el precio sea igual o mayor a 42 dólares; o 30 dólares, si los invernaderos se utilizaran a toda su capacidad. Al mismo tiempo es recomendable ser autosuficiente en la producción de nopal para poder utilizar alternadamente distintos tipos de fertilización con mayor o menor contenido de nitrógeno, de acuerdo al precio de la grana. Cuando el precio de la grana aumenta se puede optar por disminuir la aplicación de nitrógeno a los cladodios de nopal para producir grana de mayor calidad; y cuando el precio por kilogramo de grana disminuya se puede recurrir a la utilización de mayor contenido de nitrógeno para incrementar la producción de grana. Ya que en el presente trabajo se observó que la concentración de nitrógeno afecta positivamente el establecimiento de hembras por penca, y tiene un efecto negativo sobre el contenido de ácido carmínico del insecto.

Por tanto, cuando lo que se necesita es tener mayores rendimientos de grana por penca, es recomendable utilizar fertilización química en los cladodios de nopal; y

si se requiere grana con mayor porcentaje de ácido carmínico, es decir mayor calidad, se puede recurrir a la fertilización química orgánica.

La fertilización orgánica, por otro lado, permite criar grana aun dentro del rango de primera calidad, con buenos rendimientos en peso seco y manteniendo la integridad del cladodio, lo que puede facilitar su reutilización en ciclos posteriores de producción, con el consecuente ahorro de materia prima que esto significa.

Los aspectos mencionados anteriormente pueden ser aplicados en la producción de nopal para la cría de grana como una alternativa en zonas con condiciones ecológicamente desfavorables (con baja precipitación y suelos pobres en nutrientes) para la producción de cultivos tradicionales. Condiciones que pueden ser aprovechadas para la cría de grana; ya que se ha observado que la baja humedad relativa permite el desarrollo del insecto y el bajo contenido nutricional de los suelos puede incluso favorecer la producción de grana de mayor calidad, como se observó en el tratamiento químico orgánico.

Finalmente, la producción de grana en un esquema intensivo, se recomienda que también se analice en estudios futuros desde la perspectiva de un proyecto de inversión de naturaleza social, dado que constituye un magnífico ejemplo de promocionar socialmente a un grupo de mujeres en condición de vulnerabilidad, como es el caso de las mujeres campesinas desempleadas y madres solteras, al mismo tiempo.

A este respecto es justo hacer mención a un conjunto de indicadores para realizar la evaluación social del proyecto de producción de grana:

1. Es la oportunidad de invertir en un proyecto de desarrollo social, involucrando, cuando menos a tres elementos: un proyecto de aprendizaje comunitario, un proyecto de desarrollo sustentable y un proyecto de promoción social;

generando activos sociales que permitirían competir en el mercado internacional de la grana.

2. Este proyecto ofrece la oportunidad de generar, lo que Vázquez (2005) ha denominado “las nuevas fuerzas del desarrollo local”: la integración de redes sociales, la vinculación con instituciones educativas y de investigación y, el desarrollo de nuevas tecnología e innovación de procesos productivos.
3. La inversión en proyectos de esta naturaleza permite potencializar y consolidar la presencia del país a escala mundial, como una potencia que invierte en el rescate y conservación de sus recursos naturales históricos.

En síntesis, si se comparan los beneficios sociales ya señalados, con los costos económicos de este proyecto, se puede determinar que es factible su ejecución dados los efectos que el proyecto tendrá sobre el bienestar de las familias actoras, la comunidad local y el desarrollo del país.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar S., A. 1987. Muestreo de suelos y el manejo de las muestras. In: El análisis químico de los suelos. Tah I., J. F. Coordinador. 1era edición. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Aguilar S., A., J. D. Etchevers B. y J. Z. Castellanos R. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad de suelos. Publicación especial 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo, A.C. Chapingo, México.
- Alcaraz R. R. 2006. El emprendedor de éxito. Tercera Edición. McGrawHill Interamericana. México. 312p.
- Aldama A., C. Llanderal C., M. Soto H., y L. E. Castillo M. 2005. Producción de grana cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en plantas de nopal a la intemperie y en microtúneles. *Agrociencia*. 39(2): 161-171.
- Aldama-Aguilera. C. y C. Llanderal-Cazáres, 2003. Grana cochinilla: comparación de métodos de producción en penca cortada. *Agrociencia*. 37(1): 11-19.
- Azocar P. 2003. Opuntia como alimento para rumiantes en Chile. In: El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169. Mondragón-Jacobo C. y Pérez-González S. (Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Baca U., G. 2001. Evaluación de proyectos. Quinta edición. McGrawHill Interamericana. México. 383 p.
- Berry W. L. y P. S. Nobel. 1985. Influence of soil and mineral stresses on cacti. *J. Plant Nutrition*. 8(8): 679-696.
- Bidwell R., G. S. 1979. Fisiología vegetal. Primera edición. AGT ADITOR S. A. 784 p.
- Briseño G. A. 2001. Contenido de ácido carmínico en la grana cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en relación con su edad y fecundación, e influencia de

clasificación y secado. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México. 80 p.

Camarillo S., I.B, H. Silos E., y H. Rodríguez C. s.f. Análisis minerales en nopal *Opuntia ficus-indica* L. Mill. infestado con grana cochinilla *Dactylopius coccus* Costa. Memorias, Instituto Tecnológico Agropecuario de Aguascalientes.

Campos-Figueroa, M., y C. Llanderal-Cázares. 2003. Producción de grana-cochinilla *Dactylopius coccus* (Homóptera: Dactylopiidae) en invernadero. *Agrociencia* 37(2): 149-155.

Cervantes M. 2004. La grana cochinilla del nopal: Patrimonio cultural y propuesta económica. Instituto Nacional de Antropología e Historia. 108 p.

Claps L. E. y M. E. De Haro. 2001. Coccoidea (Insecta: Hemiptera) associated with Cactaceae in Argentina. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. pp 77-83.

Cochran W. y G. Cox. 1974. Diseños experimentales. Editorial Trillas. México. 661 p.

Comisión Nacional de Agua. 2010. Estadísticas del agua en México, edición 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 249 pp.

Condeña A., F. 1997. Manejo integral de la tuna y cochinilla. Universidad nacional de San Cristóbal de Huamango. Ayacucho, Perú. 66 p.

Cordeiro D., S. D. y S. Gonzaga D. A. 2003. Opuntia como forraje en el noreste semiárido del Brasil. In: El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169. Mondragón-Jacobo C. y Pérez-González S. (Eds.). Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.

Díaz M., J. A., y L. M. Ávila. 2002. Sondeo del mercado mundial de cochinilla (*coccus cacti*). Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 27 p.

Diodato L., M. Iturre, y M. E. Paz. 2004. Especies de *Dactylopius* en Argentina y factores que inciden en su producción. *Quebracho*. 11:67-72.

European Union (EU). 1989. Community Directive 89/107/EEC; Official Journal of the European Union. L 40; European Community: Brussels, Belgium.

- European Union (EU). 1994. Community Directive 94/36/EEC; Official Journal of the European Union. L 237/13; European Community: Brussels, Belgium.
- Finck A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Ed.Reverté. España. 439 p.
- Flores-Alatorre H., L., F. C. Salinas P., J. Reyes E., M. P. Zamorano R., J. D. Martínez R., y M. Nuñez V. 2008. Evaluación de los glóbulos con ácido carmínico presentes en la hemolinfa de *Dactylopius coccus* Costa por citometría de flujo. *In: Grana cochinilla y colorantes naturales*. Llanderal C., D. H. Zetina, A. L. Viguera y L. Portillo (Eds.). Colegio de Postgraduados. México. pp 21-23.
- 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.
- Fuentes Y., J. L. 1994. El suelo y los fertilizantes. 4ª Edición. Ed. Mundi prensa. Madrid. 327 p.
- Fundación Boliviana Exporta y La Joya Eximport E.I.R.L. <http://www.lajoyaeximport.com/cochinilla.html>. Consultado octubre 2009.
- García V., A. 1972. Cultive nopal de verdura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp. 7-10.
- García V., J. A., A. Castillo M., M. E. Ramírez G., G. Rendón S., M. U. Larqué S. 2001. Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu, Bechhofer para la selección de medias. *Agrociencia*. 35(1):79-86.
- González M., J. Méndez, A. Carnero, M. G. Lobo, y A. Alfonso. 2002. Optimizing conditions for the extraction of pigments in cochineals (*Dactylopius coccus* Costa) using response surface methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 6968-6974.
- GRIN. 2005. Genetic Resources Information Network.U. S. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. <http://www.ars-grin.gov/>. Consultado noviembre 2010.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Carta de Climas, 1:1 000 000. Síntesis geográfica del estado de Morelos. México.

- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Carta de Uso del Suelo y Vegetación. 1:250 000. Síntesis geográfica del estado de Morelos. México.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Carta de Uso Potencial y Agricultura, 1:1 000 000. Síntesis geográfica del estado de Morelos. México.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:250 000. Síntesis geográfica del estado de Morelos. México.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Marco estadístico 2000 en INEGI, 2009. México.
- 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.
- Krebs Ch. J. 1985. Ecología, estudio de la distribución y la abundancia. Segunda edición. Ed. Harper and Row. México. 753 p.
- Lara S., R. 1992. Dinámica Nutritional del nopal tunero (*Opuntia amyclaea Tenore*) con diferentes fuentes de fertilización. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 70 p.
- Llanderal C., C. 2004. Cría de la grana cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae). *In*: Cría de insectos plaga y organismos benéficos. Colegio de Segunda edición. Postgraduados, CONABIO, Instituto de Fitosanidad. México.
- Llanderal C., C., y H. R. Nieto. 2001. Características biológicas de la grana cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa. *In*: Cría de la grana cochinilla para la producción de su pigmento. Llanderal C., C., y R. Nieto H. (eds). Colegio de Postgraduados. México. pp. 23-30.
- Marín L., R. y F. V. Cisneros. 1977. Biología y morfología de la grana del carmín *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae). *Revista Peruana de entomología*. 20(1):115-120.
- Méndez G., S 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. México. 70 p.

- Méndez G., S. J., G. Aquino P., y J. J. Martínez H. 1996. Experiencias en la producción de grana cochinilla *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera Dactylopiidae) en el Altiplano Potosinozacatecano, México. In: Flores F., V. I. (Comp.). Anales del primer seminario internacional de la cochinilla. Ayacucho, Perú. Pp.107-118.
- Méndez G., S., J. 2001. Cultivo y manejo de la grana cochinilla. In: Cría de la grana cochinilla para la producción de su pigmento. Llanderal C., C., y R. Nieto H. (eds). Colegio de Postgraduados. México. pp. 69-78.
- Méndez-Gallegos, S. de J., L. A. Tarango-Arámbula, A. Carnero, R. Tiberi y O. Díaz-Gómez. 2010. Crecimiento poblacional de la cochinilla *Dactylopius coccus* Costa criada en cinco cultivares de nopal *Opuntia ficus-indica* Mill. Agrociencia. 44: 225-234.
- Mondragón J., C., S. J. Méndez G. y G. Olmos O. 2003. El cultivo de *Opuntia* para la producción de forraje: de la reforestación al cultivo hidropónico. In: El nopal (*Opuntia spp.*) como forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169. Mondragón-Jacobo C. y Pérez-González S. (Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Monje P. V. y E. J. Baran. 2002. Characterization of calcium oxalates generated as biominerals in Cacti. Plant Physiology. 128:707-713.
- Montiel R., L. 1995. Morfología de *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) y su biología y producción en dos fotoperiodos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 104 p.
- Morales C., J. A. y A. Morales C. 2004. Proyectos de Inversión. Gasca. México. 212p.
- Morón M. A. y R. A. Terron. 1988. Entomología práctica. Instituto de Ecología. México. pp. 169-170.
- Nefzaoui A. y H. B. Salem. 2003. *Opuntia* forraje estratégico y herramienta eficiente para combatir la desertificación en la región Wana. In: El nopal (*Opuntia spp.*) como forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169. Mondragón-Jacobo C. y Pérez-González S. (Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- 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. New York: Cambridge Univ. Press.
- Nobel P., S. 2002. Cacti: Biology and uses. University of California Press. 280 p.
- Nobel P., S. 2003. Ecofisiología de *Opuntia ficus-indica*. In: El nopal (*Opuntia spp.*) como forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169. Mondragón-Jacobo C. y Pérez-González S. (Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Pérez-Sandi C., M. 1999. Referencias Históricas del Uso de la Grana Cochinilla. In: Cría de la grana cochinilla para la producción de su pigmento. Llanderal C., C., y R. Nieto H. (eds). Colegio de Postgraduados. México. pp. 1-22.
- Pérez-Sandi C., M. 2001. Comercialización de la Grana Cochinilla In: Cría de la grana cochinilla para la producción de su pigmento. Llanderal C., C., y R. Nieto H. (eds). Colegio de Postgraduados. México. pp. 119-136.
- Pérez-Sandi C., M. y R. Becerra. 2001. La Cochinilla. Biodiversitas. 6(36): 2-8.
- Portillo L., A. L. Viguera. 2006. A review on the cochineal species in Mexico, hosts and natural enemies. Acta Hort. 728:249-255.
- Programa Nacional de la Grana Cochinilla (PROGRANA). 1999. SEDESOL, SAGAR, FONAES, Colegio de Postgraduados.
- Ramos P., A. A. y Serna C., F. J. 2004. *Coccoidea* de Colombia con énfasis en las cochinillas harinosas (Homiptera: Pseudococcidae). Revista Facultad de Agronomía, Medellín. 57(2).
- Reyes-Agüero J. A., J. R. Aguirre R. y J. L. Flores F. Variación morfológica de opuntia (Cactaceae) en relación con su domesticación en la altiplanicie meridional de México. Interciencia (INCI). 30(8):476-484.
- Rodríguez L. C., E. Faúndez, J. Seymour, C. A. Escobar, L. Espinoza, M. Petroutsas, A. Ayres y H. M. Niemeyer. 2005. Factores bióticos y concentración de ácido carmínico en la cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa)(Homóptera: Dactylopidae). Agricultura Técnica (Chile). 65(3): 323-329.

- Rodríguez-García M. E., I. Rojas-Molina, C. De Lira, A. Cornejo-Villegas, A. Del Real, C. Muñoz Torres, A. Aguilera-Barreiro, E. Gutiérrez y Y. Durán-Miganjos. s.f. Estudio de la formación de cristales de oxalato de calcio en pencas de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en función de su etapa de desarrollo. 3 p.
- Sáenz C. H. Berger, J. Corrales G., L. Galletti, V. García de Cortázar, I. Higuera, C. Mondragón, A. Rodríguez-Félix, E. Sepúlveda, y M. T. Varnero. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas FAO, 162. Roma. 165p.
- Santibañez M., T. 1990. Ciclo biológico, cultivo y aprovechamiento de la cochinilla de nopal (*Dactylopius coccus*) en el Municipio de Villa Díaz Ordaz, Tlacolula, Oaxaca. Informe de servicio social. UAM Xochimilco. México. 198p.
- SAS. 2003. versión 9.1. USA.
- 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. 74:341-351.
- Tegegne F. 2003. Valor nutricional de *Opuntia ficus-indica* como forraje de rumiantes en Etiopía. In: El nopal (*Opuntia spp.*) como forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169. Mondragón-Jacobo C. y Pérez-González S. (Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Tekelenburg A. 1995. La producción de cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en ambientes semicontrolados. In: Memorias del conocimiento y aprovechamiento del nopal. 6to. Congreso Nacional y 4to. Internacional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. pp. 48-55.
- 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 (Homopter: Dactylopidae) in a semiarid area of northeastern Mexico. Economic Botany. 59(1):3-7.
- Tovar P., A., M. Pando M., H. González R., R. E. Vázquez A., y M. A. Madrigal A. 2006. Caracterización química y física de quince cultivares de nopal de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*. Bol. Nakari. 17(2):29-35.
- Tovar-Puente A., M. Pando-Moreno, H. González-Rodríguez, L. Scott-Morales, y S. J. Méndez-Gallegos. 2007. Densidad de cristales de oxalato de calcio en quince

cultivares de nopal. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 9: 91-98.

- Tovar-Puente A., M. Pando-Moreno, H. González-Rodríguez, L. Scott-Morales, y S. J. Méndez-Gallegos. 2008. Relación entre producción de grana (*Dactylopius coccus* Costa) (Homoptera Dactylopidae) y variables físicas y químicas del hospedante. *In: Grana cochinilla y colorantes naturales*. Llanderal C., D. H. Zetina, A. L. Vigueras y L. Portillo (Eds.). Colegio de Postgraduados. México. pp 62-66.
- U.S. Government. Code of Federal Regulations, Parts 70-82; Title 21; U.S. Government Printing Office: Washington, DC. 2002.
- Vigueras G., A. L. y L. Portillo M. 1995. Determinación de ácido carmínico en dos generaciones de *Dactylopius coccus* Costa, mediante cultivo hidropónico en nopal. *Nakari*. 6(3): 41-48.
- Vigueras G., A., y L. Portillo M. 2001. Factores limitantes en el cultivo de la grana cochinilla. *In: Cría de la grana cochinilla para la producción de su pigmento*, Llanderal C., C., y R. Nieto H. (Eds). Colegio de Postgraduados. México. pp. 79-92.
- Vigueras G., A., y L. Portillo M. 2001. Factores limitantes en el cultivo de la grana cochinilla. *In: Cría de la grana cochinilla para la producción de su pigmento*, Llanderal C., C., y R. Nieto H. (Eds). Colegio de Postgraduados. México. pp. 79-92.
- Vigueras G., A.L., L. Portillo M. y V.I. Flores F. 1993. Influencia de los macro y microelementos aplicados a cladodios de *Opuntia ficus-indica* sobre el desarrollo de la cochinilla. *Quepo*. 7:81-91. Perú.
- Villaseñor U., F. R.2010. La grana cochinilla y los errores en la interpretación de su historia. *Dugesiana*. 17(1):95-100.
- Volchansky C. R., J. H. Hoffmann, 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. *The Journal of Applied Ecology*. 36(1): 85-91.

ANEXO 1

Cuadro A-1. Estado de resultados para producción ideal de 2000 kilogramos de grana, proyectado a 8 años.

Concepto / Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8
+ Ingresos	8.424,0	8.424,0	29.484,0	29.484,0	58.968,0	58.968,0	468.000,0	468.000,0
- Costos de operación (producción)	44.290,0	44.290,0	49.540,0	49.540,0	60.040,0	60.040,0	159.360,0	159.360,0
= Utilidad de operación	-35.866,0	35.866,0	-20.056,0	-20.056,0	-1.072,0	-1.072,0	308.640,0	308.640,0
- Costos de administración	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0
- Costos de venta	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
- Gastos financieros (intereses pagados)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
= Utilidad bruta (antes de impuesto, después de crédito)	-42.366,0	42.366,0	-26.556,0	-26.556,0	-7.572,0	-7.572,0	302.140,0	302.140,0
- ISR								
- Otros impuestos / reparto utilidades								
= Utilidad neta disponible Con proyecto	-42.366,0	42.366,0	-26.556,0	-26.556,0	-7.572,0	-7.572,0	302.140,0	302.140,0
- Utilidad SIN proyecto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+ Otros beneficios								
- Inversión total	290.000,0			1.344.320,0	100.000,0	100.000,0		
+ Valor Residual								
- Incremento de capital de trabajo	34.175,7		39.425,7		49.925,7		91.645,7	
+ Recuperación de Capital de trabajo		34.175		39.425		49.925		91.645,0
= Flujo de efectivo después de crédito	366541,71	-8191	65981,714	-1331451	157497,71	-57647	210494,29	393785

VPN \$94.884

TIR 11 %

Cuadro A-1. Estado de resultados para producción ideal de 2000 kilogramos de grana (continuación).

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0
159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0
308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0
6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0
500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0
302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0
	91.645		91.645		91.645		91.645		91.645	
210495	393785	210495								

Cuadro A-1. Estado de resultados para producción ideal de 2000 kilogramos de grana (continuación).

20	21	22	23	24	25	26	27	28
468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0	468.000,0
159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0
308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0	308.640,0
6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0
500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0
302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0	302.140,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
								718.160,00
	91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0	
91.645		91.645		91.645		91.645		91.645
393785	210495	393785	210495	393785	210495	393785	210495	1111945

ANEXO 2

Cuadro A-2. Estado de resultados con inversión al 61%, proyectado a 8 años

Concepto /ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8
+ Ingresos	8424	8424	29484	29484	58968	58968	179010	179010
- Costos de operación (producción)	44290	44290	49540	49540	60040	60040	159360	159360
= Utilidad de operación	-35866	-35866	-20056	-20056	-1072	-1072	19650	19650
- Costos de administración	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
- Costos de venta	500	500	500	500	500	500	500	500
- Gastos financieros (intereses pagados)	0	0	0	0	0	0	0	0
= Utilidad bruta (antes de impuesto, después de crédito)	-42366	-42366	-26556	-26556	-7572	-7572	13150	13150
- ISR								
- Otros impuestos / reparto utilidades								
= Utilidad neta disponible Con proyecto	-42366	-42366	-26556	-26556	-7572	-7572	13150	13150
- Utilidad SIN proyecto	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Otros beneficios								
- Inversión total	176900			820035	61000	61000		
+ Valor Residual								
- Incremento de capital de trabajo	34175,7		39425,7		49925,7		91645,7	
+ Recuperación de Capital de trabajo		34175		39425		49925		91645
= Flujo de efectivo después de crédito	-253442	-8191	-65982	-807166	-118498	-18647	-78496	104795

VPN -\$ 844.578

TIR -2 %

Cuadro A-2. Estado de resultados con inversión al 61%, proyectado a 8 años (continuación).

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
179010	179010	179010	179010	179010	179010	179010	179010	179010	179010	179010
159360	159360	159360	159360	159360	159360	159360	159360	159360	159360	159360
19650	19650	19650	19650	19650	19650	19650	19650	19650	19650	19650
6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150
13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91645		91645		91645		91645		91645		91645
	91645		91645		91645		91645		91645	
-78495	104795	-78495								

Cuadro A-2. Estado de resultados con inversión al 61%, proyectado a 8 años (continuación).

20	21	22	23	24	25	26	27	28
179010	179010	179010	179010	179010	179010	179010	179010	179010
159360	159360	159360	159360	159360	159360	159360	159360	159360
19650	19650	19650	19650	19650	19650	19650	19650	19650
6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
500	500	500	500	500	500	500	500	500
0	0	0	0	0	0	0	0	0
13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150
13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150	13150
0	0	0	0	0	0	0	0	0
								491367
	91645		91645		91645		91645	
91645		91645		91645		91645		91645
104795	-78495	104795	-78495	104795	-78495	104795	-78495	596162

ANEXO 3

Cuadro A-3. Estado de resultados con precio de 42 dólares kg⁻¹ grana, proyectado a 8 años

Concepto /ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8
+ Ingresos	19.656,0	19.656,0	68.796,0	68.796,0	137.592,0	137.592,0	417.690,0	417.690,0
- Costos de operación (producción)	44.290,0	44.290,0	49.540,0	49.540,0	60.040,0	60.040,0	159.360,0	159.360,0
= Utilidad de operación	-24.634,0	-24.634,0	19.256,0	19.256,0	77.552,0	77.552,0	258.330,0	258.330,0
- Costos de administración	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0
- Costos de venta	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
- Gastos financieros (intereses pagados)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
= Utilidad bruta (antes de impuesto, después de crédito)	-31.134,0	-31.134,0	12.756,0	12.756,0	71.052,0	71.052,0	251.830,0	251.830,0
- ISR								
- Otros impuestos / reparto utilidades								
= Utilidad neta disponible Con proyecto	-31.134,0	-31.134,0	12.756,0	12.756,0	71.052,0	71.052,0	251.830,0	251.830,0
- Utilidad SIN proyecto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+ Otros beneficios								
- Inversión total	290.000,0			1.344.320,0	100.000,0	100.000,0		
+ Valor Residual								
- Incremento de capital de trabajo	34.175,7		39.425,7		49.925,7		91.645,7	
+ Recuperación de Capital de trabajo		34.175,0		39.425,0		49.925,0		91.645,0
= Flujo de efectivo después de credito	-355.309,7	3.041,0	-26.669,7	-1.292.139,0	-78.873,7	20.977,0	160.184,3	343.475,0

VPN \$14.864

TIR 10 %

Cuadro A-3. Estado de resultados con precio de 42 dólares kg⁻¹ grana, proyectado a 8 años (continuación)

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0
159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0
258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0
6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0
500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0
251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0
	91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0	
160.185,0	343.475,0	160.185,0	343.475,0	160.185,0	343.475,0	160.185,0	343.475,0	160.185,0	343.475,0	160.185,0

Cuadro A-3. Estado de resultados con precio de 42 dólares kg⁻¹ grana, proyectado a 8 años (continuación)

20	21	22	23	24	25	26	27	28
417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0	417.690,0
159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0
258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0	258.330,0
6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0
500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0
251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0	251.830,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
								718.160,0
	91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0	
91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0
343.475,0	160.185,0	343.475,0	160.185,0	343.475,0	160.185,0	343.475,0	160.185,0	1.061.635,0

ANEXO 4

Cuadro A-4. Estado de resultados para producción de 1110 kg grana, proyectado a 8 años

Concepto /ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8
							432.900,	432.900,
+ Ingresos	14.040,0	14.040,0	49.140,0	49.140,0	98.280,0	98.280,0	0	0
- Costos de operación (producción)	44.290,0	44.290,0	49.540,0	49.540,0	60.040,0	60.040,0	159.360,	159.360,
							0	0
= Utilidad de operación	-30.250,0	30.250,0	-400,0	-400,0	38.240,0	38.240,0	273.540,	273.540,
- Costos de administración	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	0	0
- Costos de venta	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	6.000,0	6.000,0
- Gastos financieros (intereses pagados)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	500,0	500,0
Utilidad bruta (antes de impuesto, después de crédito)	-36.750,0	36.750,0	-6.900,0	-6.900,0	31.740,0	31.740,0	0,0	0,0
- ISR							267.040,	267.040,
- Otros impuestos / reparto utilidades							0	0
= Utilidad neta disponible Con proyecto	-36.750,0	36.750,0	-6.900,0	-6.900,0	31.740,0	31.740,0	267.040,	267.040,
- Utilidad SIN proyecto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+ Otros beneficios								
- Inversión total	290.000,0			1.344.320,0	100.000,0		100.000,	
+ Valor Residual							0	
- Incremento de capital de trabajo	34.175,7		39.425,7		49.925,7		91.645,7	
+ Recuperación de Capital de trabajo		34.175,0		39.425,0		49.925,0		91.645,0
= Flujo de efectivo después de crédito	-360.925,7	-2.575,0	46.325,7	1.311.795,0	118.185,7	-18.335,0	175.394,	358.685,
							3	0

VPN \$5.633

TIR 10 %

Cuadro A-4. Estado de resultados para producción de 1110 kg grana, proyectado a 8 años (continuación)

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0
159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0
273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0
6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0
500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0
267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0
	91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0	
175.395,0	358.685,0	175.395,0	358.685,0	175.395,0	358.685,0	175.395,0	358.685,0	175.395,0	358.685,0	175.395,0

Cuadro A-4. Estado de resultados para producción de 1110 kg grana, proyectado a 8 años (continuación)

20	21	22	23	24	25	26	27	28
432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0	432.900,0
159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0	159.360,0
273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0	273.540,0
6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0
500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0
267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0	267.040,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
								718.160,0
	91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0	
91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0		91.645,0
358.685,0	175.395,0	358.685,0	175.395,0	358.685,0	175.395,0	358.685,0	175.395,0	107.684,5