



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Efecto de métodos de sacrificio y secado
en el contenido de ácido carmínico de
Dactylopius coccus Costa**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

P R E S E N T A N:

FRIDA FRANCO FRÍAS

OCTAVIO CHAVARRIA SILVA

ASESORA: DRA. MARTHA ELENA DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ

CO-ASESORA: DRA. GABRIELA ARROYO FIGUEROA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Efecto de métodos de sacrificio y secado en el contenido de ácido carmínico de Dactylopius coccus Costa

Que presenta el pasante: **Octavio Chavarria Silva.**

Con número de cuenta: **308018545** para obtener el Título de: **Ingeniero Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 23 de Mayo de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>Dra. Martha Elena Domínguez Hernández</u>	
VOCAL	<u>Ing. Gustavo Mendoza Rivera</u>	
SECRETARIO	<u>M. en C. Nancy Berenice Martínez Valles</u>	
1er. SUPLENTE	<u>Ing. Ana Karen Granados Mayorga</u>	
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Orlando Nieves Moreno</u>	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Efecto de métodos de sacrificio y secado en el contenido de ácido carmínico de *Dactylopius coccus* Costa

Que presenta la pasante: **Frida Franco Frías.**

Con número de cuenta: **312162238** para obtener el Título de: **Ingeniera Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 23 de Mayo de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>Dra. Martha Elena Domínguez Hernández</u>	<u></u>
VOCAL	<u>Ing. Gustavo Mendoza Rivera</u>	<u></u>
SECRETARIO	<u>M. en C. Nancy Berenice Martínez Valles</u>	<u></u>
1er. SUPLENTE	<u>Ing. Ana Karen Granados Mayorga</u>	<u></u>
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Orlando Nieves Moreno</u>	<u></u>

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

Agradecimientos de Frida Franco Frías

Este trabajo lo dedico a mis papás J. Miguel Franco Dorantes y Leonor Frías Domínguez, por su apoyo incondicional en cada etapa y sueño de mi vida, doy gracias a Dios y a la vida por darme a los mejores padres del mundo, completamente este logro es para ustedes y por ustedes, gracias infinitas por todo su amor y nunca dejar de creer en mí.

Les doy gracias infinitas a mis hermanos, Fabiola, Fernando, Fabián, por todo su amor, su apoyo, por las experiencias tan bonitas que me han regalado y que me hacen lograr cada propósito, porque sé que no estoy sola y siempre tendré su luz maravillosa en mi vida. A mi cuñado Edgar, a mi cuñada Tatiana, por sus consejos, su apoyo, su amor y por darme a los mejores sobrinos del mundo. Este logro también es para mis pequeños que nunca me dejan de enseñar lo bonita que es la vida, Jonathan, Diego, Iker e Itzia.

A mis abuelitos que están en el cielo, y a mi abuelita Domitila Domínguez Rojas, quién me ha enseñado el significado de luchar y creer en uno mismo, por todos los valores que inculco en nuestra familia y por su espontaneidad que tanto amo, gracias abuelita por ser el pilar de nuestra hermosa familia.

Gracias a mis tíos, primos, sobrinos, por enseñarme el significado de la familia, por la felicidad de compartir con ustedes esta aventura llamada vida, gracias por sus actos de amor y por los seres extraordinarios que son. Gracias infinitas y especiales a mi prima Dany por ser esa hermana pequeña, mejor amiga que siempre está al pendiente, que me apoya, todo es reciproco e incondicional.

Gracias a mis amigos, quiénes son la familia que escogí en el camino. Desde el CCH mis mejores amigas, Neycita y Brendis, gracias por todas las locuras compartidas y gracias por seguir compartiendo este andar. A mis amigos de la universidad, quiénes fuimos más que compañeros de clase y formamos una familia para estudiar y disfrutar de la vida, Matchi, Viri, Normis, Gabito, Sebas, Lú, Dianita, Elisita, Anica, Dieguirrin, Alancito, Covita, Axellito.

A las personas especiales con las que he coincidido en mi vida, que me enseñaron y me enseñan cosas maravillosas en este andar.

Gracias a la Microempresa rural “Color es Natural” Grana Cochinilla Nopaltepec por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis con ellos, especialmente al señor Benigno León y a la maestra María De La Paz, por todo el aprendizaje y brindarme el material para realizar mi trabajo de tesis.

A la mejor maestra y doctora de este mundo, Martha Elena Domínguez, le dedico mi tesis y agradezco todo su apoyo, gracias por enseñarme la sencillez de una persona inteligente y brillante, gracias por creer en mí y en Octavio para cumplir, realizar y terminar nuestro trabajo de titulación.

Gracias infinitas a la Dra. Gabriela Arroyo por mostrarme el mundo maravilloso que es la grana cochinilla, por abrirme las puertas de su laboratorio y por todo el conocimiento que ha compartido conmigo.

Muchas gracias a la mejor universidad del país, mi querida UNAM, gracias por tus instalaciones, gracias por mis queridos profesores, por los compañeros y amigos con los que me hiciste coincidir. Gracias por toda la experiencia cultural que significa pertenecer a la UNAM, llevaré tatuado siempre en mi ser, mi número de cuenta y mi querido GOYA.

A mi querida Ingeniería Agrícola por brindarme las bases para desarrollarme profesionalmente con éxito y pasión en el campo mexicano. Porque la universidad siempre se vista de pueblo y siembre semillas de conciencia para cosechar nuevas sociedades.

Agradecimientos de Octavio Chavarria Silva

Le agradezco a la vida, a mis padres y mi familia la oportunidad de vivir estos años maravillosos de aprendizaje.

Contenido

Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
Introducción	1
Objetivos	4
General.....	4
Específicos.....	4
Marco teórico	5
1. Colorantes.....	5
1.1 Colorantes naturales	5
1.2 Colorantes artificiales	5
1.3 Grana cochinilla.....	6
1.3.1 Historia de la grana cochinilla	6
1.3.2 Producción y cultivo de la grana cochinilla	8
1.3.3 Sistemas de producción	9
1.4 Factores para la producción de grana cochinilla	10
1.4.1 Características del insecto	10
1.4.2 Pie de cría	14
1.4.3 Hospedero	14
1.4.4 Selección de cladodios	14
1.4.5 Enemigos naturales	15
1.5 Nopal hospedero de la grana cochinilla.....	15
1.5.1 Características de <i>Opuntia ficus indica</i>	15
1.5.2 Requerimientos del cultivo de nopal	16
1.6 Etapas en el cultivo de la grana cochinilla	18
1.7 Cosecha y manejo poscosecha.....	18
1.7.1 Cosecha	18

1.7.2 Postcosecha	19
1.7.3 Sacrificio o matanza	20
1.7.4 Secado o deshidratación	21
1.8 Calidad y comercialización de la grana cochinilla	22
1.8.1 Contenido de humedad	22
1.8.2 Ácido carmínico	23
1.8.3 Función del ácido carmínico	24
1.8.4 Carmín	24
1.8.5 Color	24
1.9 Importancia y uso de la grana cochinilla	25
1.10 Contexto físico municipio Nopaltepec, Estado de México	26
1.10.1 Características físicas municipio Nopaltepec	27
1.10.2 Contexto social	27
1.10.3 Contexto económico	28
II. Materiales y métodos	29
2.1 Contexto geográfico de la investigación	29
2.2 Producción de grana en la Microempresa Grana Cochinilla Nopaltepec A.L.P.R.	29
2.2.1 Contexto agronómico de Grana Cochinilla Nopaltepec	30
2.2.2 Producción de grana cochinilla	31
2.2.3 Invernaderos y plantación de nopal	32
2.2.4 Cosecha de la grana	34
2.2.5 Sacrificio de la grana	35
Sacrificio por asfixia	35
Sacrificio por congelador	35
Sacrificio por agua caliente	35
2.2.6 Secado	36
Secador o deshidratador solar	36
Secado al sol	37
Secado a la sombra	38
Secado en estufa	38

2.2.7 Determinación del contenido de ácido carmínico	39
Laboratorio de Nopaltepec	39
Laboratorio de productos naturales de la sede Mayorazgo del Campus Celaya	
Salvatierra de la Universidad de Guanajuato	41
2.2.8 Medición del color en el colorímetro	42
2.2.9 Costo de los procesos de sacrificio y secado	43
III. Resultados y discusión	46
3.1 Condiciones ambientales en el secado.....	46
3.2 Peso fresco.....	46
3.3 Peso seco	47
3.4 Porcentaje materia seca	47
3.5 Tiempo de secado	48
3.6 Absorbancia y porcentaje de ácido carmínico.....	49
3.6.1 Laboratorio en Nopaltepec, Estado de México	49
3.6.2 Laboratorio de productos naturales de la sede Mayorazgo del Campus Celaya	
Salvatierra de la Universidad de Guanajuato	52
3.6.3 Color	55
3.6.4 Costo de los procesos de sacrificio y secado	56
IV. Conclusiones	59
Referencias	61

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de la grana cochinilla	11
Tabla 2. Factores climáticos para la producción de grana cochinilla	14
Tabla 3. Características principales del suelo para el cultivo del nopal	17
Tabla 4. Denominaciones del ácido carmínico	23
Tabla 5. Características orográficas, climáticas, edáficas e hidrográficas de Nopaltepec	27
Tabla 6. Costo del sacrificio	44
Tabla 7. Costo del secado	44
Tabla 8. Costo de mano de obra por muestra seca	45
Tabla 9. Peso fresco	47
Tabla 10. Peso seco	47
Tabla 11. Porcentaje de materia seca de los tratamientos	48
Tabla 12. Tiempo de secado de las muestras	49
Tabla 13. Absorbancia y porcentaje de ácido carmínico en el Laboratorio de Nopaltepec	50
Tabla 14. Absorbancia de los tratamientos obtenida en el Laboratorio de productos naturales de la sede Mayorazgo del Campus Celaya Salvatierra de la Universidad de Guanajuato	53
Tabla 15. Comparación de medias de los tratamientos de sacrificio y secado por el método de Tukey	55
Tabla 16. Color de la grana recién molida	55
Tabla 17. Color de la grana molida almacenada	56
Tabla 18. Color de la grana entera	56
Tabla 19. Costo total y porcentaje de utilidad por tratamiento	57

Índice de figuras

Figura 1. Instares de la grana cochinilla	12
Figura 2. Ciclo biológico de la grana cochinilla.	13
Figura 3. Plantación de nopal de la Microempresa Rural Grana Cochinilla Nopaltepec A.L.P.R.	16
Figura 4. Mapa de Nopaltepec, Estado de México.	26
Figura 5. Ubicación geográfica de la oficina de la Microempresa Rural Grana Cochinilla Nopaltepec A.L.P.R..	29
Figura 6. Ubicación geográfica de los invernaderos de grana cochinilla y la plantación de nopal.	32
Figura 7. Características de la Nopaloteca.	33
Figura 8. Método de cosecha de la grana cochinilla.	34
Figura 9. Sacrificio por asfixia	35
Figura 10. Sacrificio por congelador	35
Figura 11. Sacrificio por agua caliente	36
Figura 12. Secador solar	37
Figura 13. Secado al sol	37
Figura 14. Secado a la sombra	38
Figura 15. Secado en estufa	39
Figura 16. Análisis de ácido carmínico en Nopaltepec.	40
Figura 17. Análisis de ácido carmínico en el Laboratorio de productos naturales de la Universidad de Guanajuato	42
Figura 18. Medición del color en el colorímetro.	43
Figura 19. Porcentaje de ácido carmínico en relación con el método de sacrificio.	50
Figura 20. Porcentaje de ácido carmínico en relación con el método de secado.	51
Figura 21. Porcentaje de ácido carmínico en los diferentes tratamientos Nopaltepec.	52
Figura 22. Porcentaje de ácido carmínico de los tratamientos en Laboratorio de productos naturales de la sede Mayorazgo del Campus Celaya Salvatierra	54

Introducción

La importancia de la grana cochinilla data de la época prehispánica; este producto se ha utilizado para dar color a alimentos, textiles, pinturas, cosméticos y fármacos entre otros; en la época de la colonia tuvo una gran importancia económica ya que fue el tercer artículo de exportación de la Nueva España (Pérez y Becerra, 2001).

La grana cochinilla es un insecto que se conocen comúnmente como cochinilla del carmín que pertenecen a la familia *Dactyopiidae*, es nativa de América y se relaciona en forma muy cercana con las cactáceas. Se ubican de forma gregaria en los cladodios del hospedero y tienen un tamaño de entre 3 y 5 mm, su presencia se reconoce por una secreción algodonosa, en el caso de la cochinilla silvestre, que cubre su cuerpo y por la hemolinfa que es de color púrpura (Claps, 2010). La reproducción de las cochinillas del carmín es sexual, después del apareamiento se incrementa el volumen del cuerpo de la hembra, la cual puede depositar tantos huevos como ninfas en un periodo de 17 días, la progenie promedio por hembra es de 172 huevos (Ramírez y Llanderal, 2010).

La importancia de la cochinilla llevó a su domesticación generando cambios importantes en el insecto, la calidad del ácido carmínico que produce y la transformación de una cubierta algodonosa, como la que hay en la silvestre, a una cubierta cerosa. Los cambios que tuvo este insecto hacen que a este tipo de grana se le conozca como grana fina o cultivada y científicamente tiene el nombre de *Dactylopius coccus Costa*.

Actualmente, de acuerdo con Flores (2015), la importancia de este cultivo radica en sus características de calidad, como la estabilidad del color, la inocuidad para el uso alimenticio, farmacéutico o cosmético, así como por la gama e intensidad del color que se obtiene del ácido carmínico que contiene. Este producto tiene valor en el mercado de los colorantes porque, a diferencia de los colorantes artificiales que generan efectos negativos en el cuerpo humano, el ácido carmínico es inocuo. El ácido carmínico ($C_{22}H_{20}O_{13}$) se extrae de la grana cochinilla y comúnmente se aplica como colorante para lograr tonos rojos, se utiliza en cosméticos y como E-120 en la industria alimenticia; por su costo, el uso más común es en productos de alta gama (Mamani y Huamani, 2015).

La diversidad de usos que tiene el colorante obtenido de *Dactylopius coccus* Costa hacen que el sistema de producción sea una alternativa para el desarrollo ambiental, económico y social de los agricultores mexicanos (FONAES, 2011).

Por otra parte, la grana cochinilla es un cultivo muy sensible a factores ambientales como la temperatura, la precipitación y la radiación solar, estos afectan directamente el rendimiento y la calidad, por ello, en México se utilizan ambientes semi-controlados o controlados para su producción (Aldama, 2005).

El manejo poscosecha de la cochinilla para obtención del colorante es un proceso que inicia con el desprendimiento del insecto del cladodio y culmina con la extracción del ácido carmínico (López, 2005); este proceso es importante porque afecta directamente la calidad de la grana cochinilla. La calidad de la grana cochinilla es un indicador que se mide considerando elementos como el tamaño, edad de las hembras, contenido de ácido carmínico, donde esta calidad se ve directamente influenciada por los métodos de sacrificio y secado (Ávila, 2009).

El sacrificio implica cambios de temperatura (aumento o disminución) para provocar la muerte de la cochinilla; mientras que, el secado es el proceso de extracción deliberada del agua contenida en el insecto, ya sea de forma natural o artificial (López, 2005). El objetivo de los procesos de sacrificio y secado, que son parte fundamental de la postcosecha, es disminuir la humedad de la grana cochinilla hasta un rango entre 9 y 11% (Contreras, 1996). Tovar (2000), recomienda dar una muerte rápida al insecto para acelerar el secado y evitar la pérdida de peso y de ácido carmínico.

Algunos métodos de sacrificio son inmersión en agua hirviendo, exposición a vapor de agua, congelación e inmersión en hexano (Centeno, 2003). Después del sacrificio, el secado es un proceso indispensable en la producción de cochinilla para poder retirar la humedad que contiene el insecto, y posteriormente proceder al almacenamiento o a la extracción del colorante. En el secado se debe obtener grana con 11% de humedad para facilitar la manipulación y disminuir el volumen con el fin de reducir los costos de transporte por unidad de carga (Cázares, 2012). Los procesos de sacrificio y secado están directamente relacionados con la calidad y cantidad de colorante a obtener por lo que resulta fundamental realizarlos de manera adecuada (Mamani y Huamani, 2015).

López (2005), evaluó diferentes métodos de secado: al sol directo, en oscuridad, a temperatura ambiente y en estufa, encontrando un mayor rendimiento de peso seco de la grana cochinilla secada al sol con 4.7g, el rendimiento del resto de los tratamientos fue de, 4.44 g tratamiento oscuridad, 3.58g del tratamiento temperatura ambiente laboratorio, y 4.22 g el secado en la estufa; Sin embargo, el contenido de ácido carmínico fue mayor con el secado en la estufa con 8.47% de ácido carmínico, donde el secado al sol tuvo 7.82% de ácido carmínico.

Además de los factores ambientales y de manejo, existen factores económicos como la oferta y demanda que juegan un papel importante en los sistemas de producción. Perú es el mayor productor del mundo y por tanto determina la calidad y el precio para la comercialización (Ramírez s/a). El precio de la grana cochinilla depende del porcentaje de ácido carmínico que contiene el lote a comercializar; por ejemplo, la grana de primera calidad contiene al menos 19 % de dicho ácido. En 2021, el precio internacional fue de 30 USD por kilogramo (Marketwatch, 2021). El factor económico es determinante para definir la tecnificación del sistema de producción y el acceso a métodos de sacrificio y secado más eficientes.

En el Municipio de Nopaltepec, Estado de México desde hace veinte años opera la Microempresa Rural "Color es Natural" Grana Cochinilla Nopaltepec A. L. P. R., cuyo sistema de producción es bajo protección rústica, si bien es eficiente, podría mejorarse en la fase de postcosecha. Cabe agregar que los métodos de producción, a nivel nacional son similares, de baja tecnología. En el contexto internacional sucede lo mismo, en Perú, el principal productor se utilizan sistemas de baja tecnología en promedio y en España, donde se adoptó este cultivo desde la época de la colonia, se produce aun con baja tecnología.

Por ello, en el presente trabajo se evaluará el proceso de postcosecha con diferentes métodos de sacrificio y secado a través de indicadores analíticos y económicos con el fin de seleccionar el más adecuado para las condiciones de una microempresa.

Objetivos

General

Evaluar, mediante el uso de indicadores analíticos, diferentes métodos de sacrificio y secado de *Dactylopius coccus* Costa, determinando su efecto en el contenido de ácido carmínico en la microempresa de grana cochinilla Nopaltepec A.L.P.R.

Específicos

1. Describir, mediante revisión de literatura e investigación *in situ*, las características biofísicas, sociales, tecnológicas y de manejo del sistema de producción de *Dactylopius coccus* Costa en la Microempresa Grana Cochinilla Nopaltepec A.L.P.R.
2. Caracterizar física y químicamente, mediante colorimetría y espectrofotometría, muestras de grana cochinilla obtenidas con distintos métodos de sacrificio y secado identificando diferencias entre tratamientos.
3. Analizar económicamente los métodos de sacrificio y de secado evaluados para determinar la combinación más rentable.

Marco teórico

1. Colorantes

1.1 Colorantes naturales

Los colorantes naturales generalmente son extraídos de plantas e insectos, si bien los colores obtenidos de la grana pueden ser sustituidos por colorantes fosfatados, soluciones etanólicas, y pigmentos naturales como la paprika, colorante de achiote, entre otros, se ha comprobado que el colorante generado con *Dactylopius coccus* tiene mayor calidad y estabilidad comparado con sus posibles sustitutos (Mora *et al*, 1999). Otro colorante natural es el azul añil extraído de una planta nativa de Oaxaca, éste ofrece un tono azul de gran calidad para teñir textiles, de igual manera el caracol púrpura era uno de los colorantes más comunes en la antigüedad, extraído tradicionalmente de los caracoles púrpuras que viven en el mar mediterráneo ofrece un color púrpura violeta ideal para teñir textiles (Shirata 1996).

Cuando se descubrió que algunos colorantes artificiales causaban daños a la salud se tuvieron que sustituir nuevamente por los compuestos naturales que se utilizaban anteriormente; por ejemplo, el ácido carmínico es un sustituto de las anilinas rojas, a las que se les ha comprobado su acción carcinogénica cuando se utilizan en alimentos, cosméticos, medicamentos y textiles (López, 2005).

1.2 Colorantes artificiales

El gusto del humano por la estética de los objetos ha motivado la búsqueda de fuentes de pigmentación para dar color, Bonilla (1999), menciona que, el uso de compuestos químicos es más barato y fácil de adquirir en comparación con los colorantes obtenidos naturalmente, como la grana cochinilla. El primer colorante sintético fue obtenido en 1856 por William Henry Perkin, desencadenando la síntesis de otros compuestos similares gracias a las enormes ventajas comparativas, técnicas y económicas que tenían los colorantes artificiales sobre los naturales, es decir, fuerza colorante, brillo, estabilidad de obtención, facilidad de aplicación, bajos costos, enormes volúmenes de producción, entre otros. Este colorante fue la anilina malva que ofrece un color púrpura y fue la

síntesis de este compuesto lo que dio origen al descubrimiento de más colorantes artificiales en la segunda mitad del siglo XIX (Krishnaswamy 2013).

Las afectaciones a la salud y las restricciones de instituciones como la Agencia de Medicamentos y Alimentos (FDA) de los Estados Unidos y la Organización Mundial de la Salud (WHO) con respecto al uso de colorantes artificiales, ha favorecido la demanda de la cochinilla como fuente natural de ácido carmínico (Aldama & Llanderal, 2003).

Actualmente en distintos países existen legislaciones que regulan el uso de colorantes artificiales en alimentos o bien exigen que en el etiquetado se informe del contenido de algún colorante del que se tiene información que puede causar reacciones alérgicas o que pudiera ser cancerígeno. Un ejemplo claro es la tartrazina, causante de alergias y posible cancerígeno, el cual debe ser mencionado en las etiquetas de los productos que lo contengan (Sanchez 2013).

1.3 Grana cochinilla

1.3.1 Historia de la grana cochinilla

La grana cochinilla es un insecto que se cultiva en varias regiones del mundo, es originario del continente americano, en épocas pasadas la región más abundante y propicia para la propagación fue en la Nueva España (Vargas, 2004). México retomó la producción e investigación de este cultivo a finales del siglo pasado, sin embargo, aún no figura como un cultivo de importancia económica a nivel nacional (Hernández-Hernández, 2005).

El color rojo que se obtiene con la grana es la característica que le da un gran valor; de acuerdo con Ortiz (2010), el aprecio que se tenía por la cochinilla en el México antiguo se debía a que el color rojo era un componente esencial utilizado en cuestiones simbólicas y religiosas. Este color tenía diferente significado para cada cultura, por ejemplo, los Toltecas fueron conocidos como el país del rojo, Centeno (2003), establece que el origen del insecto coincide con el periodo de desarrollo de dicha cultura; mientras que, para los Tarascos el rojo representaba el Este y para los Chontales significaba fuerza.

El color obtenido de la grana se utilizaba para teñir diferentes objetos, los habitantes del México antiguo recolectaban al insecto de las nopaleras para utilizar su tinta en prendas de vestir, artesanías, para pintar edificios religiosos y públicos, así como para la

elaboración de códices; también se le atribuyen usos medicinales (Cruz, 2014). La grana era un insecto importante, los mexicas conocían bien su explotación y sabían la diferencia de la cochinilla fina con su pariente cercano la cochinilla silvestre, en 1480 se reportó que Moctezuma recibió como tributo anual del estado de Oaxaca 20 sacos de cochinilla (Centeno, 2003).

La llegada de los españoles al territorio mexicano generó intercambio cultural entre el nuevo y el viejo mundo; Colín & Beyer (2009), mencionan que, gracias a los regalos que mandaron los conquistadores al rey Carlos V de España, éste se interesó en los colores rojizos y le pidió a Cortés que investigara si era factible llevar la grana a la corte española. La primera exportación de grana a Europa fue en 1523 (Pérez & Becerra, 2001), e inmediatamente comenzó la producción comercial del insecto, también fue incorporada al sistema de tributos reales en el año 1530 (Centeno, 2003).

Autores como Pérez y Becerra (2001) y Pineda (2006), coinciden en que la grana se encontraba entre los primeros 4 productos de exportación a España; uno de los principales productores en la época colonial, fue el estado de Oaxaca (Coll-Hurtado, 1998).

Durante el periodo de Independencia, la riqueza que generaba la grana cochinilla fue utilizada por los insurgentes, el ejército libertador comandado por Morelos saqueó la grana de la ciudad de Oaxaca y con el dinero de la venta equipó al ejército para continuar la guerra (Hernández, Gil, Del Río, & Lanz, 2005). Después de la Independencia, comenzó la decadencia de la producción de la grana en el país (Bonilla, 1999), el producto fue usado en textiles artesanales. MacGregor (1976), citado por Bonilla (1999) establece que las causas de la decadencia fueron la sobre explotación de los indígenas cochinilleros, la adulteración de la grana, y la aparición de los colorantes sintéticos, esto último es mencionado también por Centeno (2003).

En el siglo XX, se reactivó el cultivo de grana porque se detectaron alergias y efectos cancerígenos asociados al uso de colorantes artificiales en alimentos industrializados (Pérez & Becerra, 2001). El colorante de la cochinilla, por ser un producto de origen natural, representa una opción para el reemplazo de los colorantes artificiales.

Por la estabilidad de sus características, el colorante obtenido de la grana se usa para teñir diferentes objetos, de acuerdo con Pérez & Becerra (2001), a partir de 1960, el uso del colorante de la grana se ha incrementado en la industria alimentaria, cosmética y

farmacéutica, ya que se considera un producto inocuo; la utilización de este producto está reglamentada por la Comunidad Económica Europea y la FDA (Food and Drug Administration) de Estados Unidos.

1.3.2 Producción y cultivo de la grana cochinilla

El mayor productor de cochinilla a nivel mundial es Perú (Marketwatch,2021), este nivel de producción se favorece por las condiciones físicas como de los Valles Interandinos de Ayacucho, el clima que permite el desarrollo natural de *Dactylopius coccus* y *Opuntia ficus indica*, y las condiciones socioeconómicas de la región. En México, las condiciones biofísicas no son óptimas para la producción del insecto de forma silvestre, sin embargo, la producción es favorecida por el interés de algunas comunidades rurales cuya principal actividad económica es la agricultura.

Determinar la cifra exacta de la producción y demanda de grana es complicado porque la información no proviene de fuentes institucionales. De acuerdo con Tovar (2000), la producción de grana estimada para finales de la década de los 90 a nivel global era cercana a las 900 toneladas, mientras que, la demanda aproximada fue de 1,200 toneladas. Para el año 2001 se aprecia un aumento de la producción a 1,000 ton (Portillo & Viguera, Cría de la Grana Cochinilla del Nopal, 2013).

La producción y la demanda de la grana cochinilla han ido en aumento, se considera un producto rentable por el precio de venta que alcanza. Desde los 90, la cadena productiva evolucionó positivamente, el insecto se exportaba principalmente como materia prima, para 2012, la mayor parte se exportó como carmín y ácido carmínico (Molero & Herrera, 2013). En 2012 Portillo & Viguera (2013), reportaron una producción mundial de 3,500 t.

El principal exportador de cochinilla a nivel mundial es Perú; Anculle, Castro, & Julca (2017), indican que Perú produce el 90% de la cochinilla en el mundo y la región de Arequipa concentra el 70% de dicha producción, siendo el 60% proveniente del distrito La Joya con una producción de 1,968.66 t.

La producción de grana no está regulada, por ello, los precios se determinan por la calidad del lote y son directamente proporcionales al contenido de ácido carmínico que oscila entre 18 y 22 % (Centeno, 2003 y Molero & Herrera, 2013).

Por la importancia que tiene Perú en la producción de cochinilla, los precios se relacionan con su oferta; Contreras *et al.* (1996), consideran que el mercado del insecto es de tipo oligopolio y que no existe un control de los precios, lo que da libertad de competencia al elegir el precio al que se quiere vender; el precio varía dependiendo el mercado y el vendedor, en 2021 el precio de ácido carmínico rondaba los 128 dólares por kilo y la grana seca los 30 dólares el kilo.

1.3.3 Sistemas de producción

La producción de grana puede ser extensiva e intensiva, dependiendo de la extensión de la unidad de producción y la tecnología aplicada, de acuerdo con Díaz (2000), las características de estos sistemas son:

- **Producción Extensiva:** se realiza en huertos familiares, es la forma más común; tradicionalmente es utilizada en el estado en Oaxaca. Las nopaleras tienen dimensiones de 100-200 m², esta forma de producción se recomienda en épocas de bajas precipitaciones y temperaturas moderadas; este sistema utiliza mano de obra familiar.
- **Producción Intensiva:** En este tipo de sistema se busca limitar el impacto de los factores bióticos y abióticos en la producción de grana, por ello se han desarrollado formas de producción bajo túnel y en módulos de producción llamados “nopalotecas”.

En todos los países en los que se produce grana cochinilla hay diferentes sistemas de producción, la implementación de cada uno depende del capital con el que cuente el productor. De acuerdo con Aldama, Llanderal, Soto, & Castillo (2005) la mayor producción de grana se obtiene en los micro túneles con cubierta de plástico.

En México la mayor parte de la producción de cochinilla fina se realiza a penca cortada, utilizando estructuras que protejan la grana del entorno (Campos 2003). Campos & Llanderal (2003), consideran que en la producción de grana en invernadero es importante un control óptimo de las variables ambientales que influyen en el desarrollo del insecto, lo que está relacionado con los elementos constitutivos, operativos y técnicos que permiten mayor producción al menor costo.

La producción de grana requiere un cultivo intensivo y cuidadoso del insecto que implica seleccionar y recolectar a mano los insectos, penca por penca (Hernández, Gil, Del Río, & Lanz, 2005).

En México, el cultivo de grana no tiene gran relevancia económica, sin embargo, Pineda (2006) menciona que es posible criar la cochinilla en gran escala en regiones semiáridas y subhúmedas de México, zonas donde no es factible establecer otros cultivos tradicionales como el maíz. Cázares (2012) considera que el país tiene las condiciones adecuadas para el impulso de la producción de grana cochinilla en el 78.3 % del territorio, las entidades donde se puede producir nopal y grana son: Oaxaca, Yucatán, Veracruz, Chiapas, Nuevo León, Estado de México, Coahuila, San Luis Potosí y Michoacán. Ortiz (2010), señala que la distribución de *Dactylopius coccus* Costa en México se da principalmente en los estados de Oaxaca, Guerrero y Puebla; entonces la producción de la cochinilla es una alternativa para generar ingresos en una parte importante del territorio nacional.

Entre los factores que afectan la producción de cochinilla en México se encuentran la existencia de cochinillas silvestre, la presencia de enemigos naturales, las temperaturas extremas, las lluvias fuera de temporada, la alta luminosidad y los fuertes vientos (Cázares, 2012; Llanderal & Campos, 2001), por ello se requieren ambientes acondicionados para controlar dichos factores, por ejemplo, cobertizos, micro túneles o invernaderos.

1.4 Factores para la producción de grana cochinilla

1.4.1 Características del insecto

Al insecto *Dactylopius coccus* Costa se le conoce como cochinilla del carmín, grana cochinilla, cochinilla grana o nocheztli (Cruz, 2014), pero también se le denomina grana, grana del carmín, cochinilla fina, cochinilla del nopal, cochinilla carmín o simplemente cochinilla (Portillo & Viguera, 2013).

El primero en clasificar la grana cochinilla fue Lineo, sin embargo, la clasificación generaba confusión con otras especies, por ello, se utiliza la propuesta por Costa (Tabla 1), quién en 1835 la clasificó como *Dactylopius coccus*, nombre que se ha mantenido

hasta nuestros días, bajo la siguiente sistemática según Comstock (1972) (Portillo, Viguera, & Arreola, 2012).

Tabla 1. Clasificación de la grana cochinilla

Reino	Animal
Phyllum	Arthropoda
Subphyllum	Mandibulata
Clase	Insecta
Orden	Hemiptera
Suborden	Sternorrhyncha
Superfamilia	Coccoidea
Familia	<i>Dactylopiidae</i>
Género	<i>Dactylopius</i>
Especie	<i>D. coccus</i> Costa

De acuerdo con Montiel (1995), la grana cochinilla es un insecto con dimorfismo sexual: las hembras tienen metamorfosis hemimetábola (incompleta), en su estado inmaduro se les denomina ninfas, las hembras adultas son ápteras, inmóviles, con un tamaño promedio de 6 mm, su forma es oval y están cubiertas de una cera a manera de talco que se desprende con facilidad al soplar; mientras que, los machos presentan una metamorfosis holometábola (completa), a los estados inmaduros del macho se les denomina larvas, en su instar adulto presentan alas, son móviles y de menor tamaño que las hembras.

Marín y Cisneros (1997), citados por Portillo, Viguera, & Arreola (2012), describen los instares de la grana cochinilla (Figura 1). El ciclo biológico del insecto se muestra en la Figura 2.

Las condiciones que requiere la grana cochinilla para su desarrollo se asemejan a las que requiere el nopal, sin embargo, la grana es afectada por la lluvia y los vientos fuertes, limitando la producción a cielo abierto (Campos & Llanderal, 2003). Los factores que inciden en el desarrollo biológico del insecto son abióticos como la lluvia, la temperatura, la humedad relativa, la altitud, el viento y la luz; y los factores bióticos relacionados con el hospedero como la variedad, la edad, condición nutricional e hidratación, así como la presencia de enemigos naturales (Bonilla, 1999).

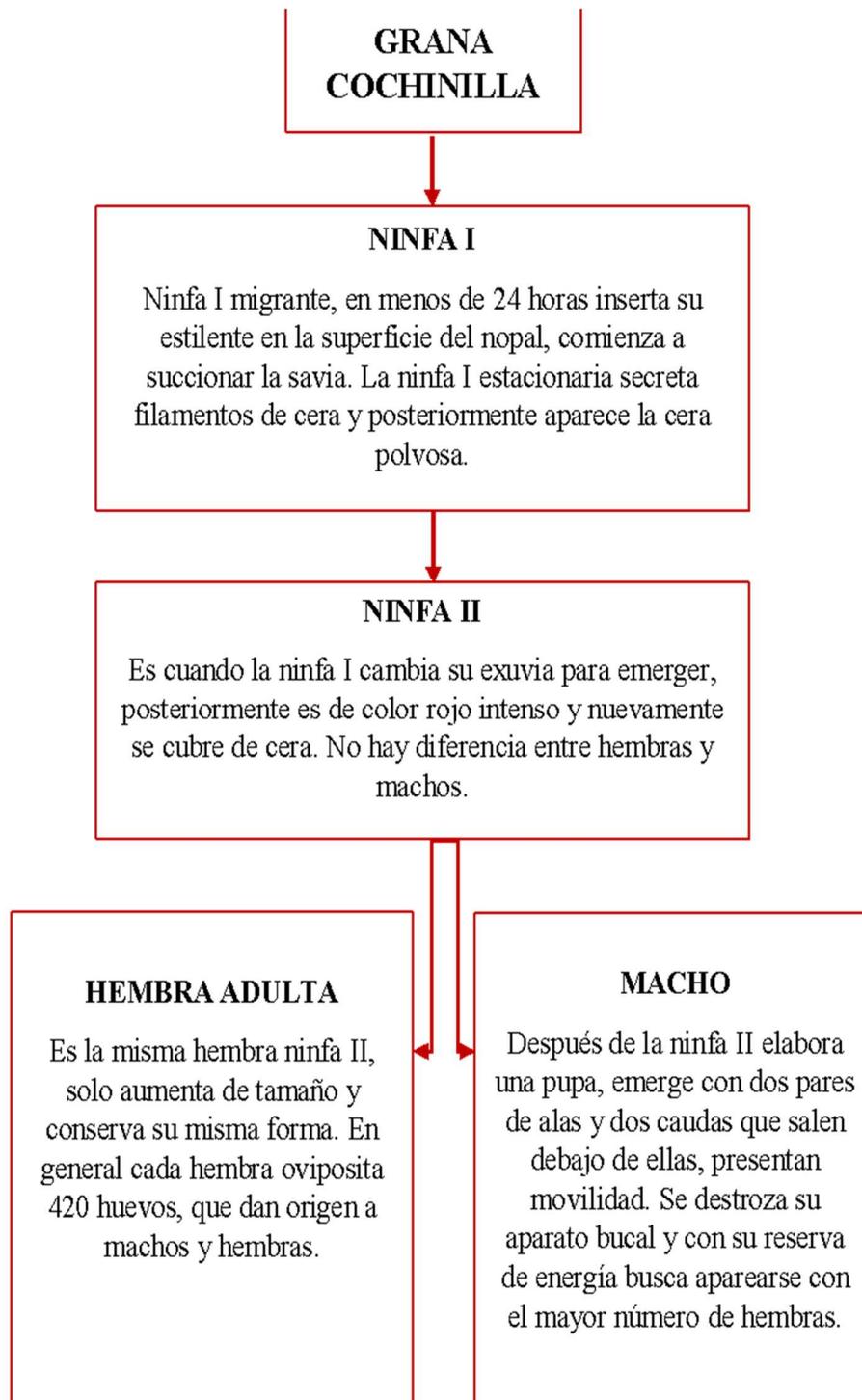
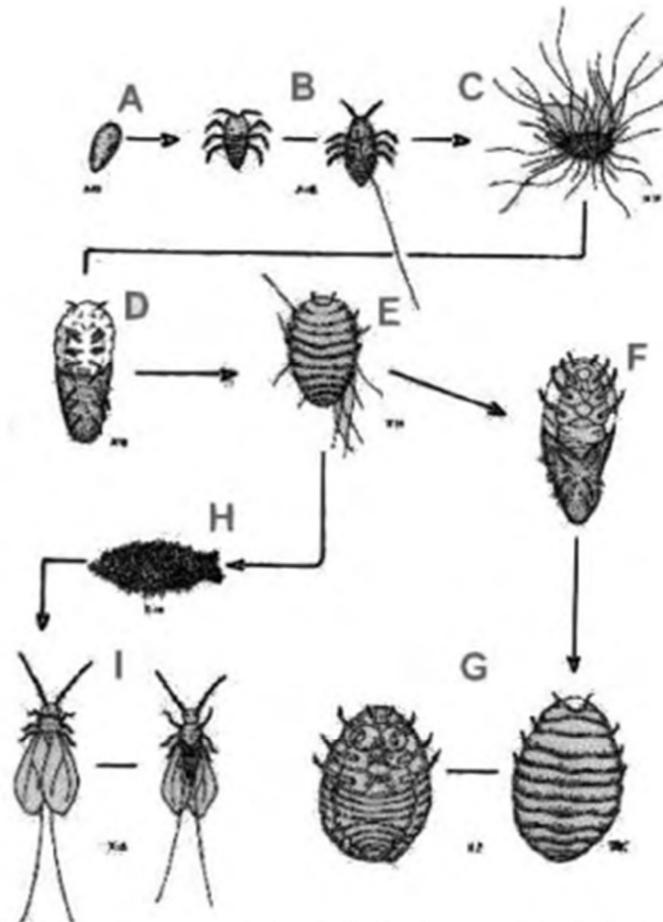


Figura 1. Instares de la grana cochinilla



a) huevo, b) vista dorsal y ventral de ninfa I migrante, c) ninfa I establecida, d) muda a ninfa II, e) ninfa II, f) muda a hembra adulta, g) vista ventral y dorsal de hembra adulta, h) capullo de macho, i) vista dorsal y ventral de macho adulto. Esto incluirlo en la imagen

Figura 2. Ciclo biológico de la grana cochinilla. Fuente: Portillo, Viguera, & Arreola (2012).

De acuerdo con Tovar (2000), la temperatura es uno de los factores de mayor importancia para el establecimiento, sobrevivencia, crecimiento, desarrollo y reproducción de las cochinillas; con temperaturas bajas de entre 10 y 15° C durante más de 48 horas se inhibe el apareamiento, la fertilización y el desarrollo de los embriones; las temperaturas altas de entre 30 y 35° C pueden reducir el ciclo biológico de 90 a 60 días, disminuyendo la capacidad reproductiva y establecimiento de los insectos. Las condiciones óptimas para el desarrollo de la cochinilla se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Factores climáticos para la producción de grana cochinilla

Factores	Mamani & Huamani (2015)	Díaz (2000)	Solares (2007)
Temperatura	20 - 32° C	16 - 24° C	20 – 32° C
Humedad relativa	40 - 75 %	50 - 80° C	40 – 75° C
Luminosidad	40 - 60 %	La grana presenta fitotaxia negativa	40 – 60° C
Precipitación	100 - 700 mm	-	100 – 700 mm
Altitud	800 - 2500 msnm	-	-

Elaboración propia (2020)

1.4.2 Pie de cría

Las características del pie de cría influyen en la cantidad y calidad de la producción de grana, ya que son los insectos madre que darán origen a las nuevas generaciones que se produzcan; Flores (2015), establece que se debe hacer una selección rigurosa de las hembras que hayan iniciado oviposición, porque es posible que, a pesar de tener un buen volumen, no hayan sido fecundadas, con la aplicación de este proceso después de la oviposición se pueden obtener el 50% de las crías que nacen en los primeros 5 días.

1.4.3 Hospedero

Los nopales son el hospedero de excelencia de la grana cochinilla, aunque se ha encontrado que tiene preferencia por el género *Opuntia*, también vive en nopales del género *Nopalea*, los dos géneros antes mencionados son originarios del continente americano y han sido dispersados a diferentes regiones del mundo, en México el nopal es una especie importante por sus diversos usos y especialmente por ser una fuente de alimento (Tovar, 2000).

1.4.4 Selección de cladodios

Para comenzar la producción de grana cochinilla se deben seleccionar los cladodios más sanos y vigorosos, para posteriormente infestarlos de cochinilla, las características que deben tener las pencas son una cutícula no muy gruesa para que el insecto pueda insertar fácilmente su estilete, la turgencia de la penca debe ser moderada porque cuando es muy tierna tiende a deformarse y si es extremadamente turgente sus líquidos ejercen presión; los cladodios idóneos se logran cuando el nopal no es expuesto a factores ambientales extremos (Flores, 2015).

1.4.5 Enemigos naturales

Otro de los factores que influyen en la producción de grana cochinilla es la presencia de enemigos naturales; México por ser el centro de origen del insecto, tiene más plagas. Pérez & Becerra (2001), consideran que entre los enemigos naturales de la grana están: las catarinas (*Hyperaspis sp.* y *Chilocorus sp.*), el gusano aguja (*Sympherobius sp.*), el gusano telero (*Laetilia coccidivora*), el gusano tambor (*Bacca sp.*) y algunos ácaros, así como las cochinillas silvestres o corrientes (*Dactylopius sp.*). Además de los insectos, hay otros enemigos que deben ser considerados al establecer la producción, por ejemplo, aves, lagartijas, culebras, ratas, armadillos y (Tovar, 2000).

1.5 Nopal hospedero de la grana cochinilla

La producción de grana cochinilla requiere el establecimiento de una plantación de nopal, porque los cladodios de la planta son el hospedero del insecto; la planta tarda al menos dos años para tener las características requeridas por el insecto, las pencas cosechadas para ser infestadas tienen entre 4 y 6 meses de edad (B. Rodríguez, comunicación personal, 2019).

En el territorio nacional existen variedades de nopal adaptadas a diferentes climas, aunque la grana puede desarrollarse en muchas de ellas, hay características de ciertas especies que dificultan el desarrollo del insecto, entre ellas, el grosor de la cutícula de las pencas y la acidez de la savia; *Opuntia ficus indica* ha sido una de las especies preferidas por la cochinilla Flores (2015) y se considera la especie más adecuada para la producción de la grana, debido a la succulencia de las pencas y al fácil manejo en la infestación y cosecha del insecto por la ausencia de espinas.

1.5.1 Características de *Opuntia ficus indica*

Opuntia ficus indica es una planta arborecente que mide de 3 a 5 m de alto, tiene un troco leñoso bien definido, artículos oblongos o de forma elíptica de 30 a 60 cm de largo y 20 a 40 cm de ancho (Reyes 2005). El grosor de la penca va de 1 a 3 cm y las espinas usualmente están ausentes, hay algunos cladodios con una espina generalmente acicular hundida y blanca de 3 a 10 mm de longitud (Reyes 2005). La planta es de color verde opaco, las ramas están integradas por varios cladodios, tiene un fuerte y extenso sistema radicular (Flores, 2015) (Figura 3).

Esta especie es la que se prefiere como hospedero para la producción de grana fina debido a la facilidad de la grana de poder penetrar el cladodio para alimentarse y la ausencia o poca presencia de espinas que facilita el manejo por parte del productor.



Figura 3. Plantación de nopal de la Microempresa Rural Grana Cochinilla Nopaltepec A.L.P.R. Elaboración propia (2019).

El nopal lleva a cabo el intercambio de dióxido de carbono y agua principalmente por la noche (Reyes 2005). Ortiz (2010), menciona que la succulencia se manifiesta morfológicamente por el grueso de los cladodios y anatómicamente por sus grandes vacuolas llenas de agua y sus diversas capas de células almacenadoras de agua.

De acuerdo con Flores (2015), los requerimientos ambientales de *Opuntia ficus indica* son: temperatura cálida y precipitaciones pluviales superiores a los 200 mm anuales, las plantas son tolerantes a la sequía y poco exigentes en la calidad del suelo, pueden desarrollarse en terrenos arcillosos con pH entre 6 y 8.5 en presencia de materia orgánica.

1.5.2 Requerimientos del cultivo de nopal

El cultivo de nopal requiere de áreas con exposiciones soleadas durante la mayor parte del día con temperaturas que van de 18° a 28° C (Tabla 3), aunque se puede reproducir fuera de este rango (FONAES, 2011).

Tabla 3. Características principales del suelo para el cultivo del nopal

Suelos	Preferentemente de origen calcáreo. El suelo arcilloso es poco favorable, al igual que los suelos con drenaje deficiente, nivel freático superficial o impermeables
Textura	Franco- Franco Arenoso Franco-Arcilloso- Arenoso, Arena franca
Profundidad	10-25 cm, puede ser de hasta 70 cm
Permeabilidad	Rápida permeabilidad. Debe evitarse la concentración de la humedad
Pendiente	Las pendientes más adecuadas son entre 3 y 15°. En el caso de que la pendiente sea mayor, se deberán hacer terrazas.
Altitud	De 1200 a 2300 msnm. Para evitar la proliferación de plagas se recomienda que las plantaciones se encuentren por encima de 1000 msnm
pH	De 6.0 a 8.5 o neutro

Fuente: FONAES (2011).

El cultivo está adaptado a las sequías prolongadas, bajo condiciones de riego su rendimiento aumenta considerablemente; las necesidades del riego se determinan de acuerdo con los requerimientos hídricos del cultivo en sus diferentes etapas fenológicas (FONAES, 2011). La precipitación mínima que requiere el nopal es de 200 mm y la máxima de 1800 mm, estas plantas se pueden encontrar desde el nivel del mar hasta los 2 mil 675 msnm (IICA, 2017).

El estado nutrimental de la planta es importante dentro del manejo agronómico porque influye en el rendimiento del insecto, se recomienda aplicar estiércol ya que su descomposición es lenta y prolongada, entonces los nopales satisfacen continuamente sus necesidades nutrimentales (Tovar, 2000).

1.6 Etapas en el cultivo de la grana cochinilla

La producción de grana de acuerdo con Tovar (2000), tiene siete etapas:

- *Etapa 1 Selección de la grana:* en esta etapa se selecciona el pie de cría para infestar las pencas de nopal.
- *Etapa 2 Infestación:* para cada nido de infestación es necesario tener 10 cochinillas madre; en cada cladodio se coloca un nido que se deja por un periodo de entre 15 y 20 días.
- *Etapa 3 Cosecha:* los insectos son colectados una vez finalizado su ciclo de vida, esta etapa sucede en un periodo entre 90 y 120 días.
- *Etapa 4 Sacrificio:* la grana colectada es sacrificada rápidamente para acelerar el secado y evitar la pérdida de peso y de carmín.
- *Etapa 5 Secado:* para retirar la humedad se utilizan secadores solares, estufas con focos, sol directo o sombra; en esta etapa es importante verificar que el sitio esté completamente seco.
- *Etapa 6 Clasificación y empaque:* se eliminan las impurezas que pudieron generarse en el proceso de producción, posteriormente la grana es clasificada y empacada.
- *Etapa 7 Comercialización:* es el proceso de venta de la grana seca o procesada.

1.7 Cosecha y manejo poscosecha

1.7.1 Cosecha

La cosecha clave para conservar la mayor cantidad de ácido carmínico que la grana acumuló durante su ciclo de vida; en esta etapa del cultivo se desprende la cochinilla de los cladodios cuando ha llegado a su madurez fisiológica que ocurre cuando el insecto comienza a ovopositar las ninfas que dan origen a la próxima generación de grana (M. Zamorano, comunicación personal, 2019).

Identificar el momento en que la grana se debe cosechar es clave para obtener lotes de alta calidad. Ávila, Berdeja, & Cuevas (2009), establecen que, la recolección debe efectuarse cuando las hembras estén oviplenas pero antes de que ovipositen, para que haya una concentración máxima del colorante, lo cual también concuerda con lo dicho por Centeno (2003) y Mamani & Huamani (2015), quienes también mencionan que el

momento de cosecha se distingue porque el insecto ha aumentado de tamaño, ha perdido algo de cera y presenta un aspecto humedecido en su superficie, además de aparecer el “ojo de hormiga”, que es un punto oscuro que se presenta en la parte posterior del abdomen.

Aquino (s.f.), establece que el punto de cosecha cuando la penca fue infestada por rotación de nidos se logra cuando en el 60% de los cladodios se observan al menos 5 hembras en reproducción activa; mientras que, si la penca se infestó utilizando otro método, la cosecha será cuando al menos 30% de la población de hembras inicie su reproducción. En caso de que no se pretenda alta precisión en el porcentaje de hembras ovíparas para cosechar, el proceso se hará tres días después de que se observe que algunas hembras hayan iniciado la oviposición (Flores, 2015).

Un factor importante durante la cosecha son los utensilios con los que se desprenderá el insecto, porque su exuvia es muy sensible y no es deseable aplastarlo (Portillo, Viguera, & Arreola, 2012). La cosecha depende de la zona productora y las instalaciones con las que cuente, puede ser manual utilizando brochas, pinceles u otras herramientas o mecanizada utilizando aire comprimido, succión y vibraciones (Flores, 2015).

La colecta del insecto se realiza en recipientes poco profundos de tela o plástico para evitar daños físicos y pérdida de calidad (Díaz, 2000).

1.7.2 Postcosecha

Después de desprender al insecto del nopal, éste se debe sacrificar y secar para poder comercializarlo. En esta etapa se puede perder parte del ácido carmínico acumulado por el insecto durante su ciclo biológico, una de las causas es que el sacrificio no se realizó en forma rápida y la hembra sigue ovopositando y perdiendo colorante en cada ninfa. En el sacrificio se debe evitar tanto quemar al insecto y no eliminar la humedad necesaria, ya que esto último puede provocar putrefacción (M. Zamorano, comunicación personal, 2019).

Algunos autores consideran como manejo postcosecha al sacrificio y secado de la grana; mientras que, otros consideran la inclusión de todos los procesos después de la cosecha hasta la extracción (López, 2005). Este proceso es importante porque puede afectar la conservación y la calidad del insecto y, en consecuencia, la calidad del colorante.

A pesar del tiempo que se lleva produciendo grana cochinilla los sistemas de producción no han evolucionado considerablemente en cuanto a la tecnología que utilizan; entre los métodos de sacrificio Centeno (2003), menciona: inmersión en agua hirviendo, exposición al vapor de agua, congelación e inmersión en hexano.

Durante la poscosecha se lleva a cabo la clasificación del insecto por tamaño, esta se hace utilizando un cernidor; se considera que la grana más grande tiene mayor cantidad de ácido carmínico. Los requisitos de calidad de la cochinilla son los establecidos por la Institución de Normas y Tecnología (INTINTEC) en Perú, donde consideran cinco parámetros: el porcentaje de ácido carmínico mínimo, el porcentaje de humedad máxima, la pureza, las cenizas y el tamaño de la grana cochinilla (Portillo, Viguera, & Arreola, 2012).

1.7.3 Sacrificio o matanza

El sacrificio del insecto se realiza para detener la oviposición de las hembras, ya que se considera que con cada ninfa se pierde ácido carmínico; Mamani & Huamani (2015), mencionan que, debe hacerse con la mayor rapidez posible para que la grana no pierda peso. Existen diferentes métodos para sacrificar el insecto, la selección de uno depende del tipo de sistema y la practicidad para realizarlo.

Portillo, Viguera, & Arreola (2012), caracterizan los métodos de sacrificio de la grana más comunes:

- a) *Inmersión en agua recién hervida* durante 1.5 a 2.5 minutos: la cochinilla se coloca en una caja con base milimétrica sobre un recipiente con agua hirviendo, sin sumergir al insecto para que el vapor de agua lo asfixie.
- b) *Por congelación* se debe someter a la grana a temperaturas menores de 10° C.
- c) *Aspersión con hexano*: se cubre la cochinilla para que los gases del hexano provoquen su muerte por asfixia, este método es muy empleado porque la volatilidad del solvente no deja residuos en la grana. Centeno (2003) menciona que, debe evitarse el uso de solventes orgánicos u otro tipo de soluciones capaces de dejar residuos orgánicos, que afecten la comercialización de la grana, por ejemplo, para uso en alimentos no deben quedar trazas de hexano.
- d) *Por asfixia*: se introducen 12 kg de cochinilla cosechada en una bolsa de ixtle, se cierra y se introduce a una bolsa de plástico cerrándolas lo más herméticamente

posible. La bolsa se expone al sol durante tres horas, en caso de no haber sol se utiliza una estufa a una temperatura máxima de 38° C por aproximadamente tres horas.

El sacrificio del insecto es una labor que algunas veces no se llega a practicar en los sistemas productivos de grana, principalmente porque no se le considera una actividad importante, pero diferentes conocedores de la cochinilla mencionan que tiene un impacto en el rendimiento final del ácido carmínico, después de realizar o no la matanza se procede al secado.

1.7.4 Secado o deshidratación

El secado es una actividad indispensable en la producción de cochinilla ya que permite retirar la humedad que contiene el insecto para almacenarlo o extraer el colorante. En el secado se debe obtener grana con 11% de humedad, con esto se facilita la manipulación y en caso de ser necesaria la transportación a grandes distancias se disminuye el volumen y por tanto los costos por unidad de carga (Cázares, 2012).

La calidad de la cochinilla se debe monitorear en todas las etapas del cultivo, se considera especialmente la deshidratación del insecto ya que en este proceso se puede perder el colorante acumulado durante el ciclo biológico y por tanto se disminuye la producción. El secado garantiza la calidad de la grana en relación con el contenido de ácido carmínico y el rendimiento del insecto.

Existen diferentes tipos de secado, por ejemplo, la exposición al sol que toma entre 6 y 8 días; en hornos de pan hechos con barro a temperaturas bajas, o el secado en sombra que tarda entre 18 y 20, este método considera poco eficiente porque reduce el contenido de ácido carmínico (Mamani & Huamani, 2015).

En esta etapa el insecto se expone a temperaturas un poco elevadas para que ocurra la pérdida de humedad, se pueden utilizar secadores solares y estufas con focos (Portillo, Viguera, & Arreola, 2012). En el secado a la sombra, el insecto libera una gran cantidad de huevecillo lo que disminuye la cantidad final de ácido carmínico; además, la variabilidad en las condiciones de temperatura y humedad extienden el tiempo de secado disminuyendo la calidad de la grana (Cruz, 2014).

Díaz (2000), propone dos tipos de secado: comercial e industrial, en el secado comercial se extiende la grana al sol por un periodo de 6 días o bien se coloca a la sombra, exponiéndola al sol por 3 horas al día, este proceso toma entre 25 y 30 días; mientras que, el método de secado en estufa a 56° C dura únicamente 4 horas.

Por otra parte, en el secado industrial se aplica aire caliente a una temperatura de 70° C durante un tiempo máximo de 4 horas, este método disminuye el tiempo de secado y las muestras obtenidas son uniformes y libres de contaminación, lo que permite obtener mejor calidad (Díaz, 2000).

1.8 Calidad y comercialización de la grana cochinilla

La calidad, que es el factor que determina el precio del producto, se determina por la cantidad de ácido carmínico, aunque también se consideran otros factores como el tamaño del insecto (M. Zamorano, comunicación personal, 2019). A nivel mundial se consideran los parámetros de calidad establecidos por el Instituto de Investigación Tecnológica y de Normas Técnicas (ITINTEC) de Perú. De acuerdo con Aldama *et al.* (2005) INTINTEC estableció que el contenido de ácido carmínico de la grana cochinilla de primera calidad debe ser de al menos 18 %.

Flores (2015), establece que las características de la cochinilla de primera calidad son: humedad máxima de 11 %, porcentaje máximo de cenizas 5 %, 20 % de ácido carmínico, y 5 % máximo de impurezas; la grana de segunda calidad debe tener una humedad máxima de 11 %, cantidad máxima de cenizas 12 %, porcentaje de ácido carmínico de 15 %, y un porcentaje máximo de impurezas de 8 %.

La calidad de la grana también se puede observar en otros rasgos como el color; Molero & Herrera (2013), mencionan que las cochinillas oscuras tienen mayor contenido de ácido carmínico, la cochinilla de baja calidad es de tonos rosáceos, lo que se relaciona con un secado inapropiado.

1.8.1 Contenido de humedad

Para obtener grana que sea fácil de manipular y libre de contaminación, es necesario que el contenido de humedad esté entre 10 y 12 % (Mamani & Huamani, 2015), cuando la grana tiene la humedad adecuada, el insecto se parte fácilmente con la fuerza de los dedos

a la mitad sin sentirse elástico, otra característica es que no tiene volumen prominente (B. Rodríguez, comunicación personal, 2019).

El almacenamiento de la grana seca debe hacerse en un lugar de acopio donde la temperatura sea menor a 20° C, con humedad relativa menor del 50 % y buena aireación (Aquino, s.f.).

1.8.2 Ácido carmínico

El ácido carmínico, colorante de la grana, se conoce con diferentes nombres y/o claves de identificación, cada una depende del país y/o institución que lo utilice (Tabla 4).

Tabla 4. Denominaciones del ácido carmínico

Denominaciones	Nombres/Números
Sistemático	Ácido 7-alfa-D-glucopiranosil-9,10-dihidro-3,5,6,8-tetrahidroxi-1-metil-9,10-dioxo-2-antracenocarboxílico
Nombre común	Ácido carmínico
CEE No.	E-120
CEE Denominación	Rojo cochinilla
C.I. No.	75470
C.I. Denominación	Rojo natural No. 4

Nota: 1. E: Es el número asignado al colorante en Europa. 2. CI: Es su Color Index, es decir: el número asignado por la Asociación Americana de textiles y coloristas (Centeno, 2003).

Díaz (2000), menciona que es importante cuantificar el contenido de ácido carmínico ya que de él depende el precio que se paga por el producto. La grana se clasifica por el contenido de ácido carmínico que contiene cada lote, aunque no todos los sistemas de producción generan grana de primera calidad, las concentraciones normales de ácido carmínico oscilan entre 17 y 22 % (Tello & Vargas, 2015).

El ácido carmínico sobresale entre los colorantes naturales por la tonalidad de colores que se pueden obtener, así como por la estabilidad a la luz, la oxidación, el pH y la temperatura (Cázares, 2012); otra ventaja de este ácido es no requiere certificación de la FDA (Food and Drug Administration) para su uso en la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y textil porque se considera inocuo (Flores, 2015).

El ácido carmínico es una masa oscura purpúrea, ligeramente soluble en agua y muy soluble en alcohol, ácido sulfúrico concentrado y en soluciones alcalinas; es insoluble en éter de petróleo, benceno y cloroformo; se descompone a 135° C, donde se encuentra su punto de fusión; a pH de 4.8 se presenta como rojo amarillo y a pH de 6.2 como violeta (Díaz, 2000).

La mayoría de los productores venden la grana seca como materia prima, por ello, el proceso de extracción del ácido carmínico lo hacen otras empresas. Se puede encontrar en diferentes presentaciones como lacas, polvos hidrosolubles o soluciones; los colores que se pueden obtener dependen del pH, con 3.0 de pH el color es naranja, a 7.0 de pH rojo y con 9.0 de pH el color es violeta (Cázares, 2012).

1.8.3 Función del ácido carmínico

La función fisiológica del ácido carmínico en el insecto es de protección ante los depredadores, también actúa como promotor de su sistema de defensa. El consumo de ácido carmínico en los humanos no ha causado problemas a la salud, por el contrario, se ha reportado que el ácido carmínico podría tener una actividad anticancerígena (Centeno, 2003)

1.8.4 Carmín

Aunque para algunos autores como Tovar (2000), el ácido carmínico y el carmín son sinónimos, en la mayoría de las fuentes se menciona que el carmín es el color que ya se extrajo de la grana seca (Díaz, 2000; Díaz & Ávila, 2002); la FDA define al carmín como la laca de aluminio cálcico o el sustrato de hidróxido de aluminio, cuya principal materia colorante es el ácido carmínico. Existe una diferencia entre la calidad del colorante dependiendo del tipo de grana de donde se obtenga, López (2005) trabajo con grana silvestre que es la grana que presenta cera algodonosa, que no ha sido domesticada y que ofrece un colorante de baja calidad a diferencia de la grana fina que presenta cera polvosa, el insecto domesticado que ofrece colorante de alta calidad.

1.8.5 Color

Para medir el color se utiliza el colorímetro, en él se obtiene las lecturas de los espacios CIELab* (es un sistema coordinado cartesiano definido por tres coordenadas colorimétricas L*, a*, y b*, de magnitudes adimensionales), es un instrumento

tricromático que tiene la ventaja de ser portátil por su pequeño tamaño. Este aparato mide el color directamente del objeto, en este caso una muestra seca y molida de grana. Existe una diferencia entre medir el color y la fuerza del color, donde se utilizan aparatos diferentes, para la fuerza del color se utiliza un espectrofotómetro y se obtienen las mediciones de absorbancia a partir de una solución diluida del colorante a medir, en este caso grana seca molida diluida en agua destilada. Donde el espectrofotómetro a través de un haz de luz que atraviesa la muestra mide la cantidad de luz que es absorbida por la muestra, entre mayor sea el valor de absorbancia mayor será la concentración del colorante en la muestra puesto que deja pasar menos luz (Arroyo, 2011). A diferencia del colorímetro donde un sensor de color mide la longitud de onda reflejada por la muestra asignando un color.

1.9 Importancia y uso de la grana cochinilla

La importancia de la grana ha cambiado a lo largo de la historia; en la época prehispánica era altamente valorada por diferentes culturas, particularmente por los habitantes que pertenecían a la nobleza; durante la época de la Colonia los conquistadores la llevaron al viejo mundo donde la comercializaban entre la burguesía (Ortiz, 2010). Posteriormente, a mediados del siglo XIX la producción y comercialización de la grana pasó por una crisis debido a la creación de los colorantes rojos sintéticos, sin embargo, a la mitad del siglo pasado el colorante de la cochinilla retoma su importancia debido a los problemas de salud relacionados con el uso de colorantes químicos (Aldama & Llanderal, 2003).

En la actualidad, México ha perdido participación en la producción mundial de cochinilla, aunque existe interés de algunos sectores por retomarla (Drucker & Beyer, 2009). Las tendencias actuales para fomentar el consumo de sustancias naturales en sustitución de aquellos químicos perjudiciales para la salud hacen que la producción de grana sea una opción factible para el sector agroalimentario en México y el mundo.

Aquino (s.f.) y Cázares (2012), consideran que la producción de grana tiene algunas ventajas como que el producto no es perecedero, puede almacenarse hasta lograr un volumen importante para su venta y el precio de venta que ha llegado a los 100 dólares por kilogramo. Cuando se maneja un sistema de producción familiar que utiliza productos de la región, la producción de grana puede representar un ingreso considerable. Entre las desventajas del sistema se encuentran las relacionadas con un manejo deficiente de los

procesos por falta de conocimiento, así como que no existe regulación del precio lo que genera fluctuaciones que varían entre los 20 y 100 dólares por kilogramo, generando inestabilidad económica para los productores.

El ácido carmínico, colorante de la grana cochinilla, se utiliza para teñir una amplia gama de productos, se ha usado en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y textil, con el objetivo de mejorar la presentación (Molero & Herrera, 2013). El colorante obtenido de la grana permite obtener una tinción con un insumo de origen natural que no tiene efectos negativos conocidos en la salud humana (M. Zamorano, comunicación personal, 2019).

1.10 Contexto físico municipio Nopaltepec, Estado de México

El municipio de Nopaltepec se ubica en el vértice nororiental del Estado de México, colinda al norte y al este con el estado de Hidalgo, al sur y al oeste con el municipio de Axapusco (INAFED, 2016). Se localiza en las coordenadas 19°46'55'' de latitud norte y 98°42'45'' longitud oeste, a una altura de 2491 msnm (SMN, 2018) (Figura 4).

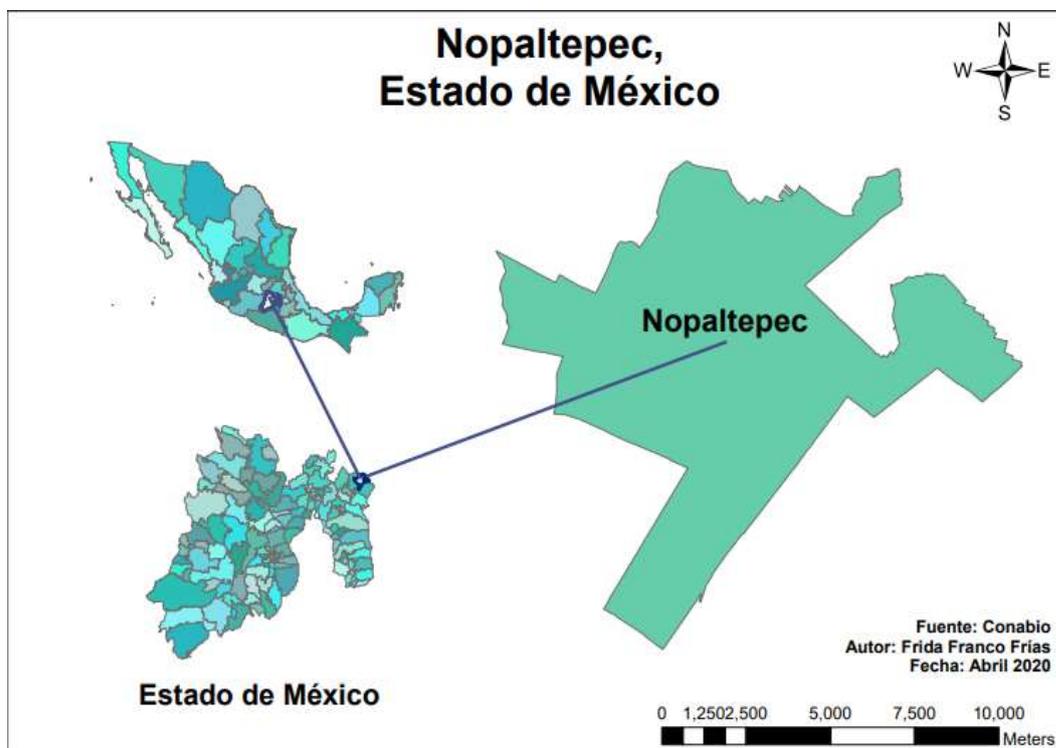


Figura 4. Mapa de Nopaltepec, Estado de México. Elaboración propia (2020).

1.10.1 Características físicas municipio Nopaltepec

Nopaltepec tiene una extensión territorial de 83.7 kilómetros cuadrados, las condiciones climáticas corresponden a una zona semidesértica; tiene flora natural característica de dichas regiones (Tabla 5).

Tabla 5. Características orográficas, climáticas, edáficas e hidrográficas de Nopaltepec

Nopaltepec, México	
Orografía	El municipio de Nopaltepec adopta la forma de llanuras con ondulaciones proporcionadas por lomas y pequeños cerros; se observa una ligera inclinación hacia el oeste y no cuenta con elevaciones de importancia (INAFED, 2016). En la región hay un clima BF’N (i) q, templado semiseco con lluvias escasas en verano y otoño (INAFED, 2016).
Clima	Temperatura media anual 16.8 °C Temperatura máxima anual 25.1 °C Temperatura mínima anual 8.5 °C Vientos dominantes N' Precipitación 559.7 mm (SMN, 2020)
Suelos	Los suelos predominantes son Feozem haplico, y con menor presencia cambisol eutrico y litosol (CONABIO, 2020).
Hidrografía	El municipio carece totalmente de recursos acuíferos, en épocas de lluvias existe un caudal mínimo denominado Rio del Papalote (INAFED, 2016).

Elaboración propia (2020)

1.10.2 Contexto social

El municipio de Nopaltepec tiene 8,895 habitantes, el 24.6% con edades entre los 15 y 29 años, el 9.2% es mayor de 60 años; la edad promedio es de 25 años (INEGI, 2010). La población económicamente activa representa el 38.2 %. El 54.4 % de los habitantes se encuentran en situación de pobreza y el 8.6 % estaba en situación de pobreza extrema (IEEM, 2019).

El 99.3% de la población del municipio sabe leer y escribir, el grado promedio de escolaridad de la población de 15 y más años es de 8.1, lo que equivale a estudiar hasta el segundo grado de secundaria; la población con estudios a nivel profesional es del 5.1%. (INEGI, 2020).

En este municipio solo la empresa Grana cochinilla Nopaltepec A.L.P.R. es la única asociación que se dedica a la producción de grana cochinilla.

1.10.3 Contexto económico

El principal productor de nopal a nivel nacional es el Estado de México, con una superficie total de 17,401 ha, siendo el municipio de Nopaltepec el tercer producto del estado (CESAVEM, 2015). De acuerdo con INEGI (2020) en el municipio de Nopaltepec la superficie sembrada fue de 6,685 ha, los cultivos principales son: avena forrajera, maíz grano, frijol y nopal; en la actividad pecuaria, destaca la producción de aves de corral (4,834 t anuales), bovinos (166 t) y porcino con 111 toneladas.

El 79 % del territorio municipal se destina a la agricultura, principalmente para el cultivo de nopal, maguey y granos básicos en sistema de temporal; para la producción pecuaria se utilizan 721 ha que representan el 8% del territorio (INAFED, 2016).

De acuerdo con los productores de la empresa Grana cochinilla Nopaltepec A.L.P.R. en el municipio se producen 120 kg de grana seca, la cual se vende a 2000 pesos mexicanos el kilo.

II. Materiales y métodos

2.1 Contexto geográfico de la investigación

El trabajo experimental se realizó en la Microempresa Rural Grana Cochinilla Nopaltepec A.L.P.R. (Figura 5), Municipio de Nopaltepec, Estado de México, localizada a los 19°46'34'' de latitud norte y 98°42'53'' de longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 2433 m (Google Earth, 2020).



Figura 5. Ubicación geográfica de la oficina de la Microempresa Rural Grana Cochinilla Nopaltepec A.L.P.R.. Fuente Google Earth, 2020.

2.2 Producción de grana en la Microempresa Grana Cochinilla Nopaltepec A.L.P.R.

La microempresa Grana Cochinilla Nopaltepec A.L.P.R., se registró el 28 de noviembre del 2000 ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público; en la creación no se contemplaron modelos productivos similares y los productores tampoco recibieron apoyo institucional para la implementación.

El material vegetal que se utilizó para establecer la plantación inicial del sistema productivo nopal-grana cochinilla, se adquirió en Milpa Alta, la planta pasó por una etapa de adaptación a las condiciones semidesérticas del municipio de Nopaltepec. Igual que las plantas de nopal, la cochinilla se adaptó a las condiciones del lugar, el insecto se adquirió en Oaxaca (B. Rodríguez, comunicación personal, 2019). Una vez adaptados el nopal y la grana, la producción de la organización fue aumentando. Ortiz (2010) quién

realizó un trabajo en la empresa dice que *“Los miembros de la asociación consideran que la grana se “aclimató” cuando finalmente se les dio el cultivo, sin embargo, cabe destacar que fueron ellos los que aprendieron a controlar las condiciones en que debía estar el insecto para obtener una producción. Entre las condiciones que afectaban a la grana, se dieron cuenta que eran sobre todo las climáticas las que en mayor medida influían, debido a que el frío o el calor por encima o por debajo de cierta temperatura las mata, así como también la lluvia”* (p.88)

Grana Cochinilla Nopaltepec cuenta con instalaciones propias para llevar a cabo la producción, tienen tres naves estilo invernadero con nopalotecas. Para abastecer la demanda de nopal tienen un sembradío de esta planta del que también venden pencas para establecer nuevas parcelas. Con estos elementos y el personal capacitado de la empresa, se tiene una capacidad de producción anual de entre 90 y 120 kg.

La actividad económica de la empresa se basa en la comercialización del insecto *Dactylopius coccus* Costa seco o como pie de cría, la venta de pencas madre para el establecimiento de nuevas plantaciones, la fabricación de productos hechos con los cladodios secos (fibra de nopal) como galletas y cápsulas, y otros como champú y cremas; adicionalmente, los cladodios que están en estado de descomposición se compostan y se utilizan como abono.

2.2.1 Contexto agronómico de Grana Cochinilla Nopaltepec

El manejo del cultivo de nopal que se realiza en los campos de la empresa Grana Cochinilla Nopaltepec es el siguiente:

- 1) Saneamiento: consiste en eliminar las malas hierbas que crecen en el sembradío de nopal, dicha actividad se realiza por lo menos dos veces al año, teniendo un costo de limpieza de \$5 por planta.
- 2) Fertilización: se hace con fuentes orgánicas, incorporando tres camiones de 6 t de estiércol de ovino preferentemente, con un costo de \$15,000.
- 3) Riego: esta labor se lleva a cabo en los meses de sequía para amortiguar la falta de agua, el número de riegos depende de la intensidad de la sequía y en un año se destinan \$5,000 en esta actividad.
- 4) Control de plagas y enfermedades: se hace de forma orgánica utilizando jabón biodegradable y agua de chile, la plaga más agresiva es la araña roja.

Las labores de manejo del nopal se realizan para obtener pencas sanas y vigorosas que se cosechan entre cinco y seis meses de edad para poder infestarlas con la grana cochinilla. La organización, con base en su experiencia, ha concluido que si se realiza el manejo adecuado del cultivo de nopal el tiempo de cosecha de las pencas se puede reducir uno o dos meses.

2.2.2 Producción de grana cochinilla

Cuando se tienen las pencas que se infestarán con la grana, el proceso que se realiza es el siguiente:

- 1) Infestación: se colocan las pencas nuevas debajo de las que tienen grana que está desovando para que las ninfas recién eclosionadas caigan sobre las pencas que serán su hospedero y éstas se infesten. Este proceso puede durar entre una y dos horas, pero se recomienda que sea un día entero para garantizar el prendimiento de las ninfas al cladodio.
- 2) Colgado: se realiza con ganchos de metal que se colocan a las raquetas ya infestadas para colgarlos sobre las nopalotecas, en este lugar las pencas permanecerán hasta que se complete el ciclo biológico del insecto que va de 90 a 120 días, dependiendo de la época del año, en las estaciones cálidas su ciclo de vida se acorta y en la frías se alarga.
- 3) Monitoreo: en el ciclo de vida de la cochinilla se deben hacer dos o tres visitas en cada estadio del insecto, para inspeccionar que la grana se esté desarrollando correctamente y poder hacer un control oportuno de las plagas o enfermedades en caso de ser necesario.
- 4) Cosecha: se realiza cuando la cochinilla llega a su madurez fisiológica, para ello se utilizan escobas, brochas o vasos que ayudan a desprender el insecto del nopal. Los insectos se colectan en una tina o una coladera. Posteriormente, la grana recolectada se clasifica de acuerdo con su calidad, como cochinilla de primera, segunda y tercera. La grana de primera calidad además de utilizarse para proceso también sirve como pie de cría o semilla.
- 5) Sacrificio: una vez seleccionado el insecto, se realiza el sacrificio por alguno de los métodos disponibles, en el caso de esta unidad de producción se hace sumergiéndolo en agua caliente.

- 6) Secado: se utiliza una estufa u horno de laboratorio para conseguir la deshidratación requerida para la venta, también puede dejarse al sol directo sobre cernidores grandes.

2.2.3 Invernaderos y plantación de nopal

La plantación de nopal de la que se obtuvo el material para inocular se localiza a las orillas de la cabecera municipal de Nopaltepec, las pencas se trasladaron en una camioneta de la empresa para llevarlas a los invernaderos o nopalotecas donde se cría la grana cochinilla (Figura 6).

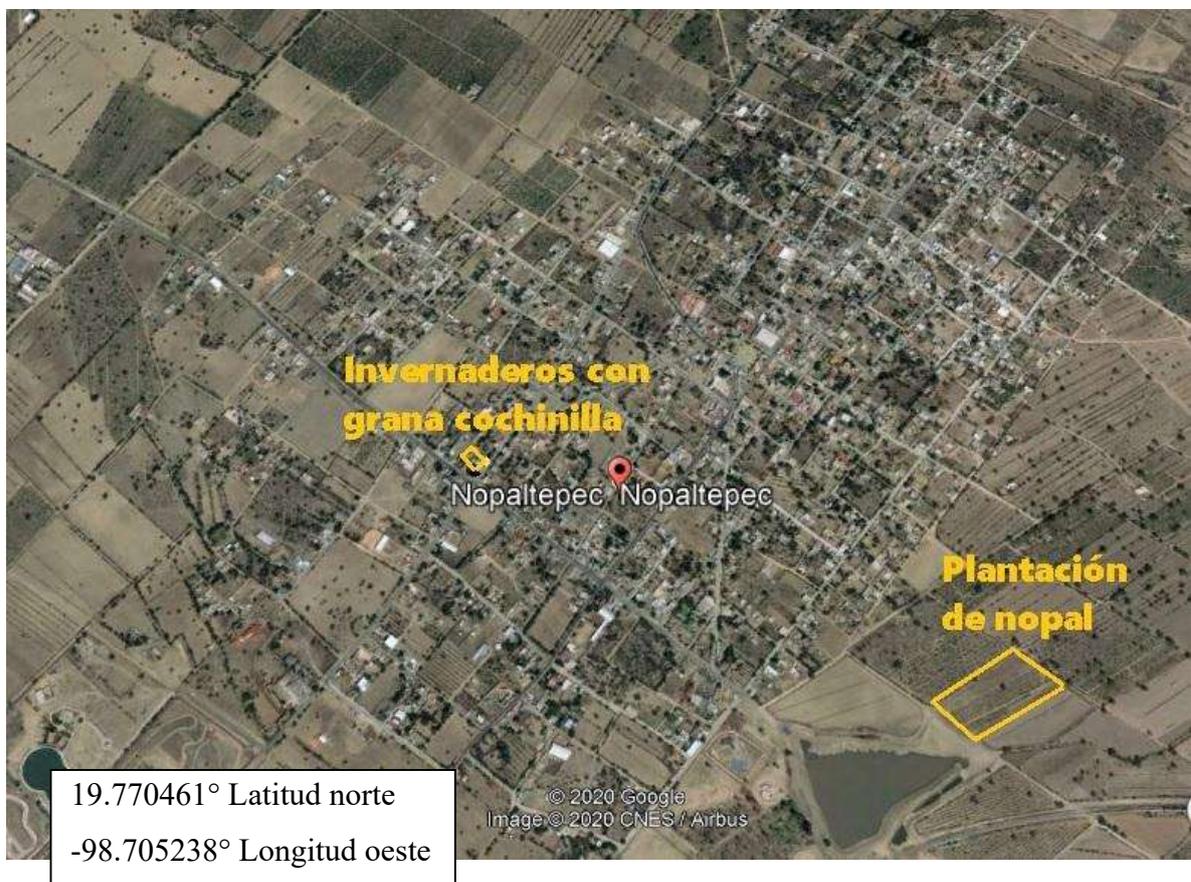


Figura 6. Ubicación geográfica de los invernaderos de grana cochinilla y la plantación de nopal. Fuente Google Earth, 2020.

Características de la nopaloteca

En las instalaciones de la Microempresa Rural Grana Cochinilla Nopaltepec hay dos nopalotecas de 10 x 8 m, dentro de cada una se ubican anaqueles para colgar las pencas (Figura 7).

Infestación de los cladodios

Los cladodios se cosechan en la parcela de la empresa que se localiza aproximadamente a 1.5 km de las nopalotecas; las nuevas pencas se infestan con los cladodios que tienen grana desovando (Figura 7).

Cosecha

Entre 90 y 120 días después de la infestación, se cosecha la grana que ha llegado a su madurez fisiológica, se utilizan brochas o escobas suaves para desprender la grana de la penca. Los insectos se recolectan en cajas de plástico o cernidores pequeños para evitar que se aplasten (Figura 7).



Figura 7. Características de la Nopaloteca. Elaboración propia (2020).

2.2.4 Cosecha de la grana

La grana cochinilla fue obtenida en estado de oviposición, que es el estadio recomendado para cosecha y el punto en el que se alcanza la madurez fisiológica, se caracteriza por la presencia de un punto rojo conocido como punto de hormiga que se localiza en la parte inferior de los insectos (Figura 8).

Una vez seleccionados los nopales a cosechar, la grana se desprendió cuidadosamente utilizando vasos de plástico, evitando cosechar la grana silvestre que puede confundirse con la grana fina (Figura 8). La grana se recolectó con escobas y brochas suaves, para tener mayor control y no contaminar la grana fina o lastimarla con las cerdas (Figura 8)



Figura 8. Método de cosecha de la grana cochinilla. Elaboración propia (2020).

Una vez cosechada la grana se recolectó en coladeras grandes de metal y cuando se tuvo una cantidad considerable del insecto fue cernida sobre los cladodios nuevos para la infestación; con esta agitación también se limpió parcialmente la cochinilla de la coccerina (la cubierta cerosa propia de la grana), con el fin de tener extractos más limpios para los procesos industriales. Flores (2015) menciona que no se sabe si la presencia de la cera tiene un efecto sobre el rendimiento de los procesos de extracción.

2.2.5 Sacrificio de la grana

La grana cosechada y parcialmente limpia fue pesada para conseguir una muestra de 362.2 g. Esta muestra fue dividida en tres partes iguales para realizar los tres métodos de sacrificio a evaluar.

Sacrificio por asfixia

La grana cochinilla se colocó adentro de una bolsa de plástico junto con dos trozos de algodón humedecidos con hexano, inmediatamente se sopló dentro de la bolsa para agregar aire y se cerró con una liga elástica; el insecto permaneció 1.2 horas dentro de la bolsa, tiempo suficiente para que ocurriera la muerte (Figura 9)



Figura 9. Sacrificio por asfixia

Sacrificio por congelador

Los insectos se extendieron en una charola de plástico que se dejó dentro del congelador a -4°C por dos horas para obtener una muerte homogénea de la grana (Figura 10)



Figura 10. Sacrificio por congelador

Sacrificio por agua caliente

Se colocó agua en el punto de ebullición en una olla donde se sumergieron muestras de 20 g de grana, cada muestra estuvo dos minutos en el agua, y posteriormente fue retirada

con una coladera mediana, finalmente se dejó escurrir en una coladera de plástico para que perdiera la mayor humedad posible (Figura 11)



Figura 11. Sacrificio por agua caliente

2.2.6 Secado

Las muestras de grana obtenidas con cada uno de los métodos de sacrificio se pesaron para fraccionarlos en 4 partes para evaluar los diferentes métodos de secado. Se registró la temperatura y humedad relativa de cada tratamiento para saber las condiciones ambientales en las que se deshidrató el insecto.

Secador o deshidratador solar

Para evaluar este método se construyó un secador solar tipo armario, que se caracteriza por tener un colector solar donde se calienta el aire, una cámara de secado donde se coloca lo que se va a deshidratar y un extractor, la estructura se fabricó con base en la “Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes” (Aldama M. C., 2005).

Dentro de la cámara de secado había dos cernidores que se dividieron con una hoja de papel en tres partes, en cada sección se colocó la grana sacrificada por asfixia, congelador y agua caliente. El secador se localizó en un lugar abierto, libre de sombra y se orientó de oeste a este, en la noche la cochinilla se guardó en el almacén (Figura 12).

SECADOR SOLAR



Figura 12. Secador solar

Secado al sol

Un cernidor de 50x50 cm se dividió con una hoja de papel en tres partes, en cada división se colocó la grana sacrificada por los diferentes métodos. Durante el día el cernidor se dejó en un lugar despejado con alta incidencia solar, en la noche y cuando llovía se protegió la grana en el almacén (Figura 13).

Este método de secado es muy utilizado en los sistemas de producción de grana en México, es práctico y económico, requiere entre 4 y 5 horas diarias de exposición durante 6 días (Cázares, 2012), los días a la exposición solar pueden variar dependiendo las condiciones ambientales (Figura 13).

SOL



Figura 13. Secado al sol

Secado a la sombra

Este método consiste en colocar en un lugar seco y sombreado la grana cosechada. El tiempo de secado varía entre 7 y 15 días, dependiendo de condiciones ambientales, con este método puede conservarse mejor la cantidad de ácido carmínico ya que el producto no está directamente expuesto a la radiación UV.

La cochinilla de cada método de sacrificio se colocó en un cernidor de 50x50 cm dividido en tres partes con una hoja de papel. El cernidor se dejó en el almacén de la empresa hasta que la grana tuvo el contenido de humedad requerido (Figura 14).



Figura 14. Secado a la sombra

Secado en estufa

El tipo de secado más rápido es en estufa, se utilizó una estufa de laboratorio Precision scientific/ Thelco Model 18 incubator oven de 120v y 200°C de máxima temperatura. Este método utiliza la convección del calor para secar la grana. Las muestras de los sacrificios se colocaron sobre cartón, permanecieron por tres horas en la estufa a una temperatura de 25° C para evitar que se quemará la muestra (Figura 15).

ESTUFA



Figura 15. Secado en estufa

2.2.7 Determinación del contenido de ácido carmínico

La determinación del ácido carmínico se llevó a cabo en Nopaltepec y en el Campus Celaya-Salvatierra de la Universidad de Guanajuato, Sede Mayorazgo en el laboratorio de productos naturales, para comparar y evaluar los diferentes métodos de sacrificio y secado, así como la interacción entre estos factores.

Laboratorio de Nopaltepec

La microempresa Grana Cochinilla Nopaltepec tiene un laboratorio en el que se analizó el contenido del ácido carmínico; el método utilizado se describe a continuación (Figura 16).

1. Se muele aproximadamente un gramo de grana cochinilla seca en un mortero, hasta tener partículas muy finas (casi polvo de grana). Cada muestra de grana molida se trabaja por triplicado para disminuir el margen de error.
2. En tres tubos de ensaye se colocan 0.025 g de grana molida, y se vierte en cada uno 7.5 ml de ácido clorhídrico 1N. Los tubos posteriormente estarán a baño maría (previamente preparado) durante treinta minutos.
3. Después del baño maría se filtra cada una de las muestras, el líquido se vierte en un matraz aforado de 250 ml. Al vaciarse el tubo de ensaye, se enjuaga perfectamente con agua desionizada. Se debe humedecer continuamente el papel donde se están filtrando las muestras con agua desionizada, para que las pequeñas partículas de ácido carmínico se desprendan del cuerpo de la grana.

4. Una vez aforado el matraz, se tapa y se agita la solución al menos tres veces para tener una muestra homogénea.
5. De cada solución se toma una alícuota de 25 ml, la cual se verterá en otro matraz aforado limpio de 250 ml. Se utiliza agua desionizada para aforar, y finalmente se agita la solución por lo menos tres veces para homogeneizarla.
6. Con la última dilución se toma la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro.
7. Una vez que se obtiene la lectura de la absorbancia de cada muestra, se captura la información en una hoja de cálculo de Excel.
8. El porcentaje de ácido carmínico que contienen las muestras se calcula con la fórmula $[\%AC = \frac{ABS \times 10}{1.39}]$, donde ABS= lectura de absorbancia y 1.39 = Absorbancia del ácido carmínico al 100%.



Figura 16. Análisis de ácido carmínico en Nopaltepec. Elaboración propia (2020)

***Laboratorio de productos naturales de la sede Mayorazgo del Campus Celaya
Salvatierra de la Universidad de Guanajuato***

El procedimiento para analizar el contenido de ácido carmínico de la grana cochinilla fue propuesto por Marmion en 1984 (Figura 17).

1. De cada tratamiento se muele un gramo de grana cochinilla en un mortero.
2. Se pesan 0.025 g de grana molida y se vacían en un tubo de ensaye, a la vez se le agregan 7.5 ml de ácido clorhídrico 2N. Las muestras se manejan por triplicado para disminuir el margen de error.
3. Las tres repeticiones de cada muestra se dejan en un baño maría (previamente preparado) a una temperatura de 93.5 °C por media hora.
4. Al transcurrir los treinta minutos, los tubos se retiran de inmediato del baño maría, la solución se filtra y se vierte en un matraz aforado de 250 ml, se limpia perfectamente el tubo de ensaye con agua desionizada al igual que el papel filtro hasta llegar al aforo.
5. Al obtener la solución aforada esta se agita tres veces, y se desechan los primeros 50 ml utilizando un vaso volumétrico o un matraz aforado.
6. En un espectrofotómetro de la marca Thermo scientific modelo Genesys 10S vis, se tomó la lectura de la absorbancia con una longitud de onda de 494 nm, usando como blanco el ácido clorhídrico que sirvió para separar el ácido carmínico de los restos del cuerpo de la grana cochinilla.
7. Los resultados de la lectura de absorbancia que tuvieron las muestras se registraron en una hoja de cálculo, para posteriormente analizarlos estadísticamente en el programa Minitab 17.



Figura 17. Análisis de ácido carmínico en el Laboratorio de productos naturales de la Universidad de Guanajuato, sede Mayorazgo del campus Celaya Salvatierra. Elaboración propia (2020)

La evaluación de los métodos de sacrificio y secado se realizó con un experimento factorial 3 x 4, el método de sacrificio se evaluó en tres niveles: sacrificio por asfixia, congelador y agua caliente; el otro factor evaluado fue el método de secado con 4 niveles: secador solar, sol, sombra y en estufa. Las variables de respuesta fueron peso fresco, peso seco, porcentaje de materia seca, absorbancia, porcentaje de ácido carmínico y color. Con el software Minitab 17[®] se realizó un análisis de varianza y prueba de medias con el método de Tukey para los efectos e interacciones que generaron diferencias estadísticas, se consideró un nivel de significancia del 5 %.

2.2.8 Medición del color en el colorímetro

Para medir el color se utilizó un colorímetro *Precise Color Reader* modelo *WR-10QC* marca *ShenZhen Wave Optoelectronics Technology Co., Ltd* (Figura 18) se hizo la medición de la grana cochinilla entera, molida almacenada, y grana cochinilla recién molida de cada tratamiento. Se midió la luminosidad, y el porcentaje de rojo y amarillo, que posteriormente se convierten a valores en la escala RGB para obtener un color.

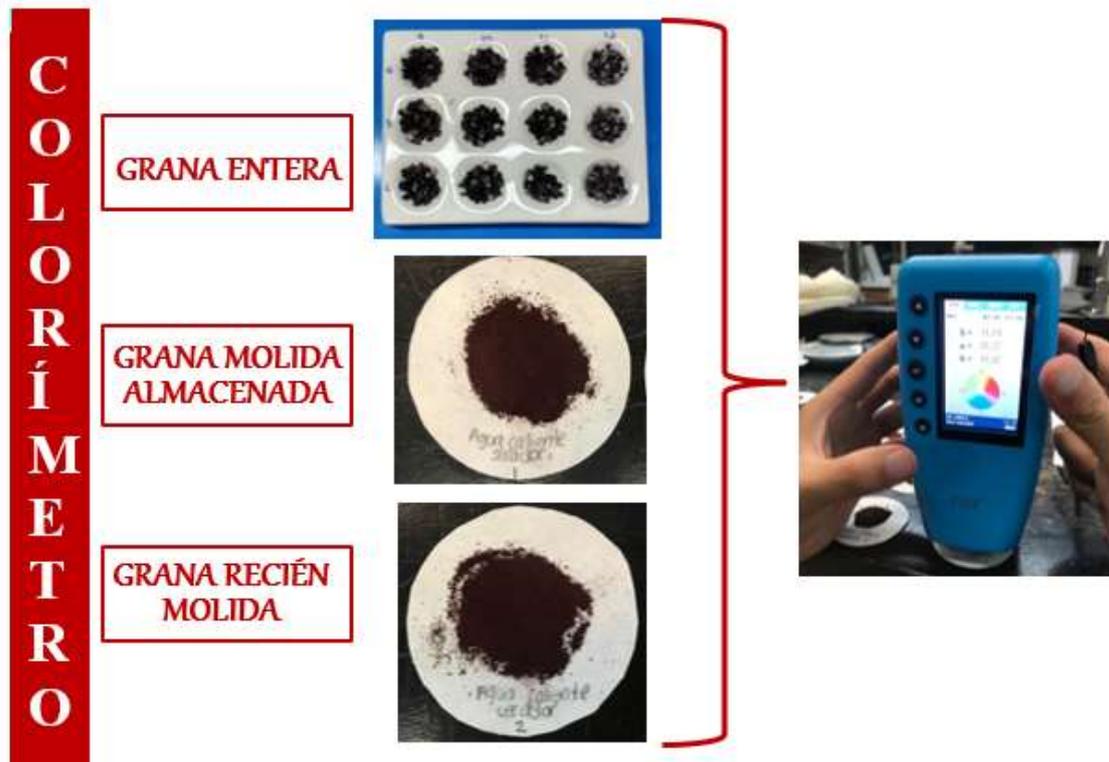


Figura 18. Medición del color en el colorímetro. Elaboración propia (2021)

2.2.9 Costo de los procesos de sacrificio y secado

Para estimar el costo de los diferentes métodos de sacrificio y secado se cuantificaron los materiales, energía y mano de obra utilizados en cada uno. La información se obtuvo directamente en la zona de estudio y los datos faltantes se estimaron en forma bibliográfica (Tablas 6, 7 y 8).

Tabla 6. Costo del sacrificio

Sacrificio	Descripción del producto	Costo por artículo (\$)
Asfixia	Bolsa de plástico, en mercado libre	0.14
	Dos torundas de algodón, mercado libre	1.28
	Hexano grado técnico, laboratorio Laboteca	0.63
	Liga de hule para cerrar la bolsa, mercado libre	0.40
	Precio total sacrificio por asfixia	2.4
Congelador	Energía utilizada del congelador	15
	charola de plástico, mercado libre	85
	Precio total sacrificio por congelador	100
Agua caliente	Energía utilizada por la por parrilla eléctrica	25
	Cacerola, mercado libre	119
	Coladera de metal mediana, mercado libre	132
	Caja de plástico con orificios, mil anuncios	82.80
	Precio total sacrificio por agua caliente	358

Elaboración propia (2020).

Tabla 7. Costo del secado

Secado	Descripción del producto	Costo (\$)
Secador solar	Acero inoxidable	350
	Vidrio	100
	Madera	120
	Pintura	60
	Tornillos	50
	Bisagras	50
	Papel aluminio	55
	Estructura de cernidor de madera	2.75
	Malla antiafidos para cernidor	8.15
	Precio total del secador	795.9
Sol	Cernidor de 50x50 cm	10.90

Sombra	Cernidor de 50x50 cm	10.90
Estufa	Gasto de luz del Horno de laboratorio	35
	Caja de cartón delgado con tapa y base separable	20
	Precio total del secador por estufa	55

Elaboración propia (2020).

Tabla 8. Costo de mano de obra por muestra seca

	Última muestra seca	Días	Jornal (\$)
Asfixia	Sombra	17	3,060
Congelador	Secador y Sombra	17	3,060
Agua Caliente	Sombra	6	1,080

Elaboración propia (2020).

III. Resultados y discusión

3.1 Condiciones ambientales en el secado

La temperatura y humedad relativa son factores que pueden afectar el proceso de secado cuando este se realiza con los métodos de secador solar, secado al sol y a la sombra. La temperatura promedio mayor se registró utilizando el secador solar (30 °C), este valor fue 7° y 6° C mayor que el obtenido cuando la grana se secó a la sombra y al sol, respectivamente. La humedad relativa promedio registrada en el secador solar fue de 50% y a la sombra fue de 49 %; el menor valor se presentó con el secado al sol (46%).

De acuerdo con Centeno (2003), el secado en sombra tiene inconvenientes porque está sujeto a variantes en cuanto a la temperatura y humedad, en este trabajo se observó que la utilización del secador solar incrementa la temperatura 2°C en promedio, pero también la humedad relativa, esta última condición puede generar afectaciones si no es monitoreada adecuadamente; el comportamiento de este parámetro es similar en el secado a la sombra.

3.2 Peso fresco

Las diferencias en el peso fresco y seco fueron generadas por el método de sacrificio. El sacrificio con agua caliente incrementa 6.7% el peso inicial de la muestra ya que hay una incorporación de agua y por tanto se incrementa el porcentaje de humedad; el sacrificio por congelador generó el menor peso seco del conjunto, se presentó una disminución de 0.79 % con respecto al peso inicial de la muestra. El sacrificio por asfixia incrementó el peso de la muestra 2.5 %, este método es el que presentó menor variación en el conjunto. No se obtuvieron diferencias en el peso por el método de secado (Tabla 9).

De acuerdo con la revisión bibliográfica, no existe un valor de referencia para el peso fresco ya que en general se acostumbra a pasar al secado directamente después de la cosecha de la grana.

Tabla 9. Peso fresco

	Asfixia		Congelador		Agua caliente	
	P.F.C. (g)	P.F.S. (g)	P.F.C. (g)	P.F.S. (g)	P.F.C. (g)	P.F.S. (g)
Secador solar	30.18	30.94	30.18	29.94	30.18	32.2
Sol	30.18	30.94	30.18	29.94	30.18	32.2
Sombra	30.18	30.94	30.18	29.94	30.18	32.2
Estufa	30.18	30.94	30.18	29.94	30.18	32.2

Elaboración propia (2020). P.F.C.= Peso fresco al momento de la cosecha P.F.S.= Peso fresco después del sacrificio, g= gramos.

3.3 Peso seco

El sacrificio en congelador generó el mayor peso seco, con una diferencia de 6.03% con respecto al método de asfixia y de 7.37% contra el agua caliente (Tabla 10). El método de secado con mayor peso seco fue el secador solar, cuyo valor fue 10.03 % mayor que el secado al sol, tratamiento que generó el menor peso del conjunto (Tabla 10).

Tabla 10. Peso seco

	Asfixia peso seco (g)	Congelador peso seco (g)	Agua caliente peso seco (g)	Total (g)
Secador solar	10	11	11.03	32.03
Sol	9.02	10.14	9.65	28.81
Sombra	10.63	11.06	8.26	29.95
Estufa	9.63	9.63	9.81	29.07
Total (g)	39.28	41.83	38.75	119.86

Elaboración propia (2020).

Los resultados obtenidos en esta investigación difieren de los obtenidos por López (2005), quien encontró que el mayor peso seco se obtuvo con el secado al sol (23.5g), consecutivamente la oscuridad con 22.2 g, el secado en la estufa (21.1g) y finalmente el secado a temperatura ambiente laboratorio que generó un peso promedio de 17.9 g.

3.4 Porcentaje materia seca

El promedio general del porcentaje de materia seca fue de 32.26%, de los métodos de sacrificio el de congelador fue el tratamiento que estuvo por arriba de la media; mientras que, para los métodos de secado, el secador solar y la sombra superaron la media general.

Tabla 11. Porcentaje de materia seca de los tratamientos

	Asfixia (%)	Congelador (%)	Agua caliente (%)	Promedio (%)
Secador solar	33.13	36.45	36.55	35.38
Sol	29.89	33.60	31.97	31.82
Sombra	35.22	36.65	27.37	33.08
Estufa	31.91	31.91	32.50	32.11
Promedio	32.54	34.65	32.10	33.10

Elaboración propia (2020).

De acuerdo con la Tabla 11 el sacrificio en congelador y el secado en secador solar fueron los métodos con mayor porcentaje de materia seca, pero su interacción no tuvo la mayor cantidad de materia seca de todos los tratamientos, el tratamiento de congelador-sombra fue el más alto, con 30.5 % mayor cantidad de materia seca que el tratamiento agua caliente-sombra, que tuvo el menor porcentaje.

3.5 Tiempo de secado

El tiempo de secado de las muestras se observa en la Tabla 12. El secado en la estufa fue el método más rápido, por ser una muestra pequeña de grana cochinilla la temperatura de la estufa osciló entre 28 y 26 °C por un lapso de tres horas, se monitoreo la muestra tres veces para verificar que no se quemara, por ser un método que no tomo ni un día para secarse no se consideró en la Tabla 12. Las muestras de secado al sol duraron 8 días en promedio para deshidratarse, posteriormente se secaron las del secador solar con un promedio de 10 días, y al último se secaron las muestras del secado en sombra con 13 días.

Aunque las muestras del sacrificio en agua caliente tuvieron el mayor peso fresco después del sacrificio, fueron las muestras que se secaron más rápido con un promedio de 5 días, posteriormente se secaron las muestras del sacrificio por asfixia con un promedio de 12 días, y finalmente las muestras del sacrificio por congelador que duraron 15 días en promedio para deshidratarse.

Tabla 12. Tiempo de secado de las muestras

	Asfixia (días)	Congelador (días)	Agua caliente (días)
Secador solar	10	17	4
Sol	10	10	4
Sombra	17	17	6
Estufa (h)	3	3	3

Elaboración propia (2020). h=hora

De acuerdo con Centeno (2003), el secado al sol dura aproximadamente 6 días, de 25-30 días en la sombra y 4 horas a una temperatura de 65 °C en un horno; aunque los resultados no fueron iguales en el tiempo de duración, sí hay similitud en relación con el método que es más rápido y el que es más lento para secarse. La estufa fue el método más rápido, seguido del sol, en el presente trabajo continúa el secador solar, y por último el secado en sombra.

3.6 Absorbancia y porcentaje de ácido carmínico

Los datos experimentales de porcentaje de ácido carmínico fueron analizados estadísticamente con un análisis de varianza (ANOVA) en Minitab 17[®], para determinar diferencias entre los métodos de sacrificio y secado evaluados; los factores que resultaron significativos fueron evaluados con una prueba de medias por el método de Tukey.

3.6.1 Laboratorio en Nopaltepec, Estado de México

Existe diferencia significativa en el contenido de ácido carmínico por el método de secado ($P < 0.05$), sin embargo, para los métodos de sacrificio y la interacción de estos factores no fue significativa ($P = 0.226$) (Figuras 19 y 20).

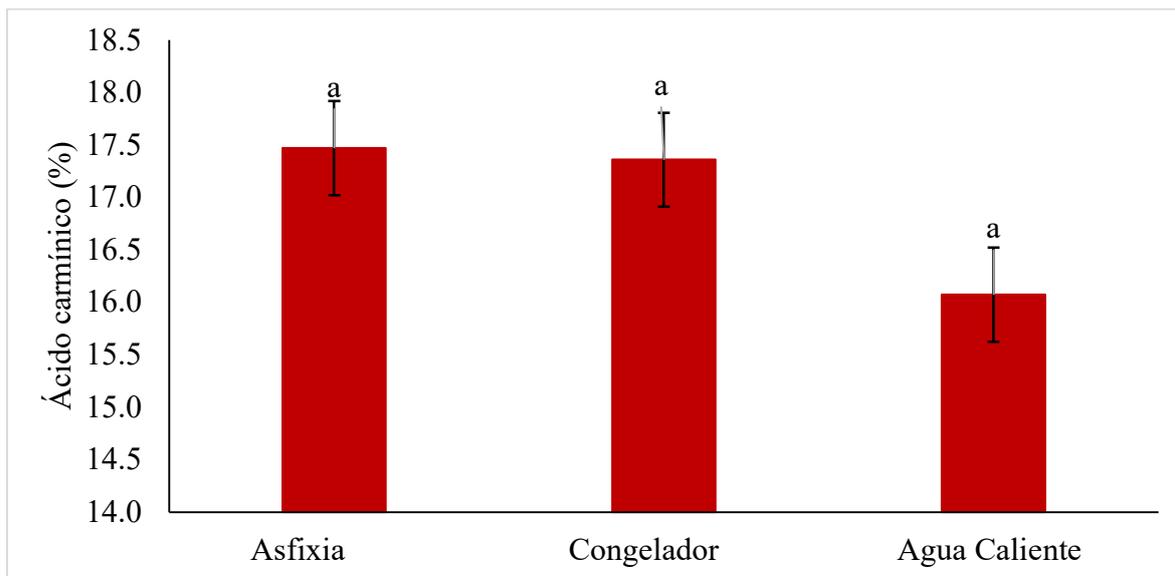


Figura 19. Porcentaje de ácido carnínico en relación con el método de sacrificio. Elaboración propia (2019)

En la Tabla 13 Se observan los valores de absorbancia de los métodos de sacrificio y métodos de secado. La absorbancia está relacionada a la concentración de ácido carnínico de la muestra, entre mayor sea el valor de la absorbancia mayor es la concentración de ácido carnínico en la muestra. En el presente trabajo el método de secado que en promedio tuvo mayor absorbancia fue el secador solar con un valor promedio de 0.244 y el método de secado que tuvo el menor valor fue el secado en estufa con 0.228. En cuanto a los métodos de sacrificio la asfixia fue la que en promedio tuvo el valor más alto con 0.245 y el agua caliente con el menor valor de 0.225.

Tabla 13. Absorbancia y porcentaje de ácido carnínico en el Laboratorio de Nopaltepec

	Método de sacrificio		
	Asfixia	Congelador	Agua caliente
Método de secado	Absorbancia (nm)	Absorbancia (nm)	Absorbancia (nm)
Secador	0.257	0.250	0.227
Sol	0.250	0.243	0.227
Sombra	0.240	0.243	0.227
Estufa	0.233	0.233	0.220

Nanómetros (nm). Elaboración propia (2020).

En la figura 19 se observan los valores del porcentaje de ácido carnínico de acuerdo al método de sacrificio. El método de agua caliente tuvo 8.01% menor contenido de ácido

carmínico que el sacrificio por asfixia y 7.43% menos que el método de congelador. La diferencia entre el sacrificio de asfixia y congelador fue tan solo de 0.63%.

La diferencia de contenido de ácido carmínico entre el secado con deshidratador solar y la estufa fue de 6.34%, el primer método es el que generó el mayor valor del conjunto (Figura 19). El secado con sol y a la sombra tienen menores diferencias de 1.17 % en el contenido de ácido carmínico (Figura 19).

El porcentaje de ácido carmínico obtenido con los tratamientos de secado evaluados fue mayor al que obtuvo López (2005) con grana cochinilla silvestre, quien obtuvo mayor porcentaje de ácido carmínico con el secado en estufa (8.70%), seguida del tratamiento en oscuridad con 7.97%, y los tratamientos de sol y temperatura ambiente laboratorio que tuvieron 7.82%. Estos resultados se contraponen a los que se muestran en la Figura 20 donde se observa que el secado en la estufa tuvo menor porcentaje de ácido carmínico que los secados del sol y la sombra.

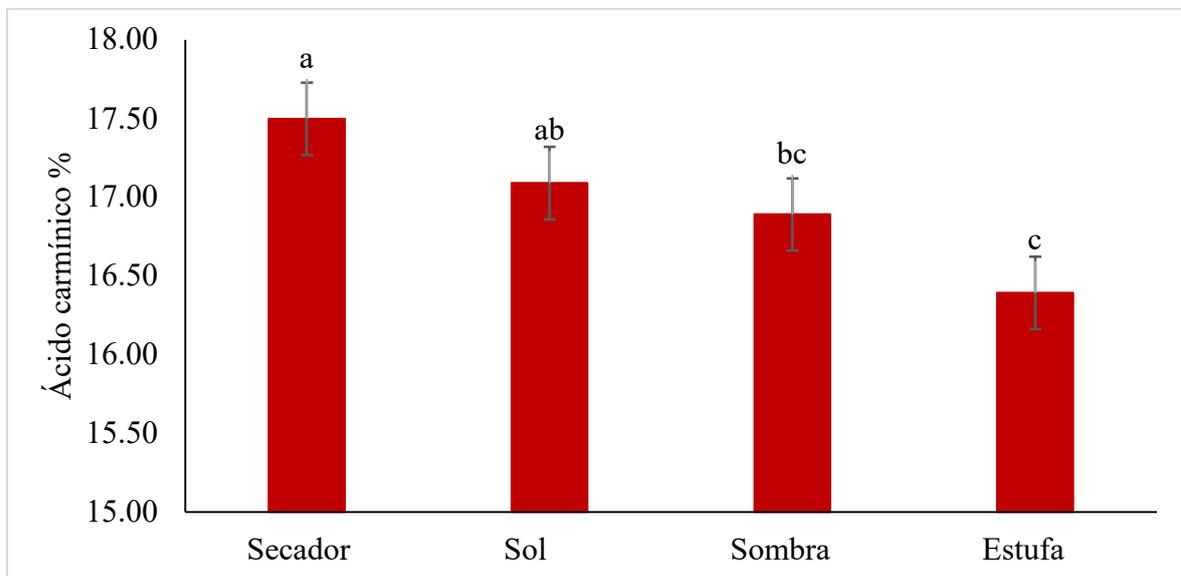


Figura 20. Porcentaje de ácido carmínico en relación con el método de secado. Elaboración propia (2019)

La interacción entre los métodos de sacrificio y secado no fue estadísticamente significativa ($P > 0.05$), sin embargo, el tratamiento de Asfixia-Secador generó la mayor cantidad de ácido carmínico del conjunto con 13.89% más colorante que el tratamiento de Agua caliente-Estufa, que fue el tratamiento con menor rendimiento (Figura 21). Los

tratamientos que tuvieron un contenido similar de ácido carmínico fueron Congelador-Sombra y Congelador-Sol con 0.28% de diferencia, Agua caliente-Secador y Agua caliente-Sol con una diferencia de 0.43% (Figura 21).

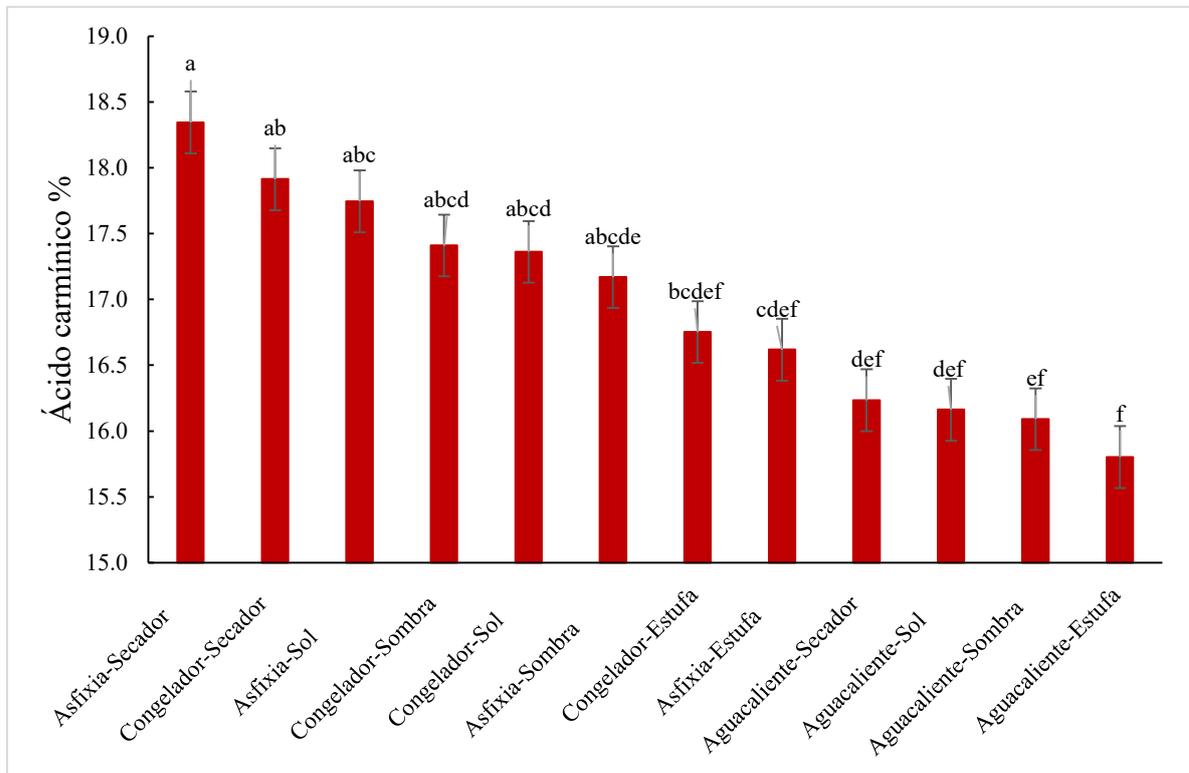


Figura 21. Porcentaje de ácido carmínico en los diferentes tratamientos Nopaltepec. Elaboración propia (2020)

3.6.2 Laboratorio de productos naturales de la sede Mayorazgo del Campus Celaya Salvatierra de la Universidad de Guanajuato

El método de sacrificio que mayor absorbancia tuvo fue el congelador con 0.2425 y el que presentó el menor valor fue el agua caliente con 0.24075. En cuanto a los métodos de secado el que presento el mayor valor fue el secador solar con 0.2433 y los métodos que presentaron el menor valor fueron la sombra y estufa con el mismo valor 0.241 (Tabla 14). Sobre el ácido carmínico el método de sacrificio que presento el mayor valor fue el congelador con 17.41% y el que presento el menor valor fue el agua caliente con 17.25%. De los métodos de secado el que presentó el mayor contenido de ácido carmínico fue el secador solar con 17.496% y el que menor valor obtuvo fue la estufa con 17.266%.

Tabla 14. Absorbancia de los tratamientos obtenida en el Laboratorio de productos naturales de la sede Mayorazgo del Campus Celaya Salvatierra de la Universidad de Guanajuato

	Asfixia (nm)	Congelador (nm)	Agua caliente (nm)
Secador	0.250	0.240	0.240
Sol	0.243	0.240	0.243
Sombra	0.233	0.250	0.240
Estufa	0.243	0.240	0.240

Elaboración propia (2020). A.= absorbancia. Nm= nanómetros. A.C.= ácido carmínico

El sacrificio mediante asfixia tuvo el mayor contenido de ácido carmínico con 17.47%, pero la diferencia con el sacrificio de agua caliente fue mínima con 0.8% menos colorante. De los tratamientos de secado el que tuvo mayor colorante fue el deshidratador solar con 17.5% de contenido de ácido carmínico, con 1.6 % de diferencia con el secado en la estufa que tuvo el menor contenido.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostraron que las diferencias para el porcentaje de ácido carmínico fueron generadas por la interacción de los métodos de sacrificio y secado ($P < 0.05$). Fue lo contrario de los resultados de Nopaltepec, donde la significancia se presentó con los tratamientos de secado y sacrificio por separado ($P < 0.05$), pero no por su interacción.

En la Figura 22 se observa que los tratamientos con mayor contenido de ácido carmínico fueron asfixia-secador que también fue el más alto en Nopaltepec, y congelador-sombra. El tratamiento con menos colorante fue el de asfixia-sombra, tuvo una diferencia de 5.86% en comparación con los tratamientos más altos.

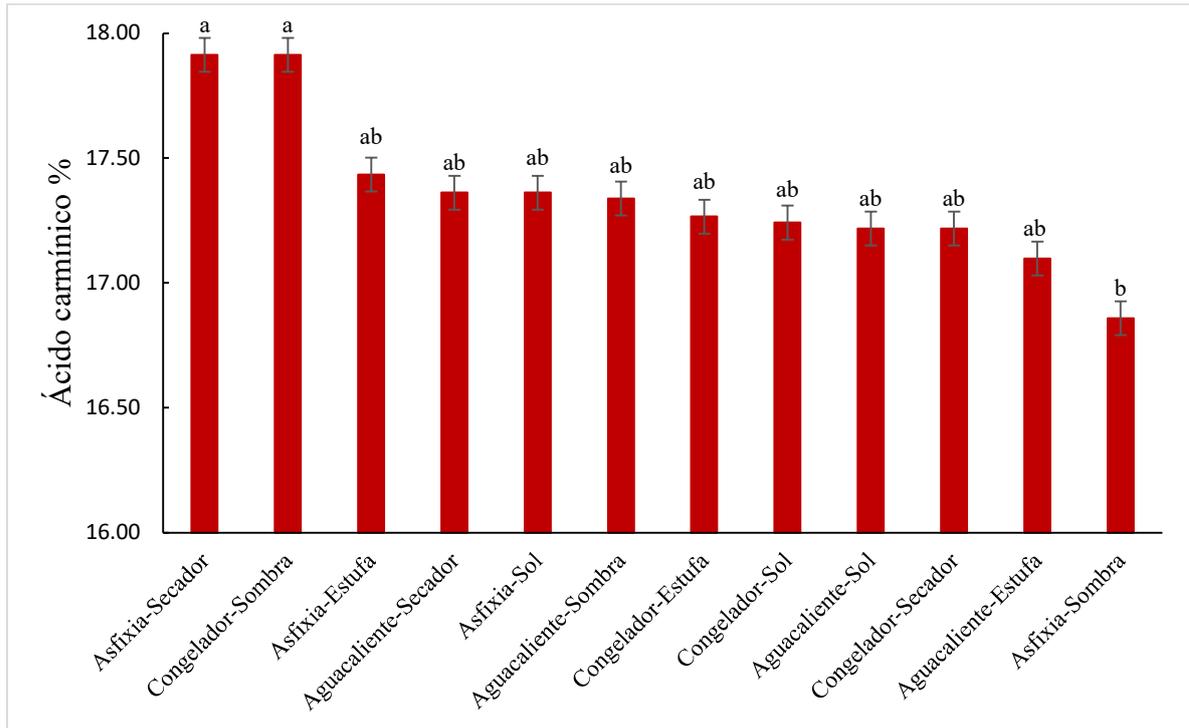


Figura 22. Porcentaje de ácido carnínico de los tratamientos en Laboratorio de productos naturales de la sede Mayorazgo del Campus Celaya Salvatierra de la Universidad de Guanajuato. Elaboración propia (2020)

Los resultados de Salvatierra del porcentaje de ácido carnínico son similares a los reportados por López (2005) en ambos experimentos no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y uno de los métodos de secado con menor contenido de ácido carnínico fue el que se hizo al sol directo. Por otro lado, los métodos de secado que difieren de lo reportado por López (2005) fueron el secado en estufa y el secado a la sombra que tuvieron valores más bajos que los reportados por dicho autor.

Las diferencias entre los tratamientos no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$). El sacrificio por asfixia tuvo 0.91% más contenido de ácido carnínico que el de agua caliente; los métodos de secado por sol y estufa que fueron los de menor contenido de ácido carnínico, tuvieron una diferencia de 1.31% con el más alto que fue el secador solar (Tabla 15).

Tabla 15. Comparación de medias de los tratamientos de sacrificio y secado por el método de Tukey

Sacrificio	Media	Grupo
Asfixia	17.41	a
Congelador	17.39	a
Agua caliente	17.25	a
Secado	Media	Grupo
Secador	17.5	a
Sombra	17.37	a
Sol	17.27	a
Estufa	17.27	a

Elaboración propia (2020).

La mayoría de los tratamientos, en el análisis del Laboratorio de Salvatierra tuvieron mayor contenido de ácido carmínico que el análisis hecho en Nopaltepec. En los resultados de ambos análisis el tratamiento con mayor contenido de ácido carmínico fue asfixia-secador solar, y el tratamiento con menor colorante fue el de agua caliente-estufa (Tabla 15).

3.6.3 Color

Los resultados que obtuvimos con el colorímetro fueron de acuerdo con los parámetros que registra el sensor y que se traducen en un color específico en la gama de colores, dependiendo de las sales o ácidos que se le agreguen al ácido carmínico se pueden obtener tonalidades que van desde el violeta oscuro hasta el rojo-naranja.

En la Tabla 16 se observan los colores que presenta la grana recién molida, los colores obtenidos son más vivos que en la grana almacenada y tienen diferentes tonalidades de violeta y rojo. La combinación de asfixia y sol generó un color rojo que podría indicar una mayor pérdida de ácido carmínico en la muestra.

Tabla 16. Color de la grana recién molida

Tratamiento	Asfixia	Congelador	Agua caliente
Secador solar			
Sol			
Sombra			
Estufa			

En la Tabla 17 se observan los colores obtenidos de muestras de grana molida que estuvo almacenada 6 meses, en general presentan un color más opaco que la grana recién molida y las tonalidades son similares en todos los tratamientos. Es posible decir que las condiciones de almacenamiento influyen en las características químicas de la grana.

Tabla 17. Color de la grana molida almacenada

Tratamiento	Asfixia	Congelador	Agua caliente
Secador solar			
Sol			
Sombra			
Estufa			

En la Tabla 18 se observa el color obtenido en muestras de grana entera, son significativamente distintos a los de la grana molida pues el insecto por fuera presenta coloraciones que van del gris al gris oscuro, es importante mencionar que estos insectos presentaban coccicerina, por esta razón se observan colores grises y marrones verdosos, que no representan el color violeta que se podría extraer una vez molido el insecto.

Tabla 18. Color de la grana entera

Tratamiento	Asfixia	Congelador	Agua caliente
Secador solar			
Sol			
Sombra			
Estufa			

3.6.4 Costo de los procesos de sacrificio y secado

El sacrificio por asfixia es el más barato, representa el 0.67% del tratamiento con el valor más alto porque no se requiere comprar equipo o material con un costo elevado y tampoco utiliza energía eléctrica o fósil para su funcionamiento; además es el que mayor porcentaje de ácido carmínico presenta (Tabla 19). El sacrificio en agua caliente es el más caro porque requiere más materiales y es el que menor cantidad de ácido carmínico presenta, sin embargo, si no se cuenta con congelador este sería el método más caro puesto que se tiene que adquirir dicho equipo, este método presenta un valor de ácido carmínico 0.12 % menor que el obtenido con la asfixia, 0.12% menor.

Tabla 19. Costo total y porcentaje de utilidad por tratamiento

Tratamiento	% A.C.	Costo total incluyendo mano de obra (\$)	Porcentaje de utilidad (%)
Asfixia-Secador	18.13	32,615.70	51.07
Congelador-Sombra	17.66	32,615.70	38.84
Congelador-Secador	17.57	33,973.30	36.29
Asfixia-Sol	17.55	32,346.30	39.35
Congelador-Sol	17.30	32,446.90	39.16
Asfixia-Estufa	17.03	31,130.40	41.63
Asfixia-Sombra	17.01	33,606	36.98
Congelador-Estufa	17.01	31,228	41.44
Agua caliente-Secador	16.80	31,891.30	40.20
Agua caliente-Sombra	16.71	31,981.90	40.03
Agua caliente-Sol	16.69	31,621.90	40.70
Agua caliente-Estufa	16.45	31,486	40.96

Elaboración propia, 2020.

El secado por estufa o deshidratador solar resulta más costoso por la inversión inicial en los equipos requeridos. El secado al sol o sombra representa menos del 1 % del costo del deshidratador solar o la estufa. Sin embargo, la ventaja de adquirir equipos como el deshidratador solar o estufa es la larga vida útil de los equipos, además, con el deshidratador se obtiene el mayor porcentaje de ácido carmínico y con la estufa el proceso es más rápido.

En relación con el costo beneficio, el secador solar fue el mejor tratamiento por la cantidad de ácido carmínico obtenida, seguido del tratamiento de sombra que solamente requiere de un recipiente para extender y secar la grana cochinilla. La diferencia en el porcentaje de utilidad de estos dos métodos fue del 12%, sin embargo, el deshidratador solar permite un secado más uniforme y rápido, generando un mayor porcentaje de ácido carmínico y utilidad al momento de la venta.

El secado en sol directo tuvo menor contenido de ácido carmínico que el secado a la sombra, aunque el costo es igual; finalmente el secado en la estufa es el que menor beneficio genera ya que la inversión inicial es más alta y el contenido de ácido carmínico es menor que en los otros tratamientos evaluados.

El costo de la mano de obra se calculó con base en el tiempo de secado de las muestras, se consideró el pago de un jornal de \$180 por día. Los tratamientos que mayor costo de producción tuvieron fueron los que mayor porcentaje de ácido carmínico presentaron, en este caso el secador solar-asfixia y congelador. En contraparte los tratamientos que obtuvieron el menor porcentaje de ácido carmínico fueron los de sacrificio por agua caliente con cualquier tipo de secado y de igual manera fueron los menos costosos.

De acuerdo con Aldama, *et. al.* (2005), el contenido mínimo de ácido carmínico para que la grana pueda considerarse como de primera calidad es de 18%, siguiendo lo anterior se calculó el porcentaje de utilidad considerando 100 USD por kilo de grana de primera y 80 USD por kilo de grana de segunda y todos los costos de producción. En esta evaluación únicamente el tratamiento Asfixia -Secado cumple con el requisito del mínimo porcentaje de ácido carmínico para obtener la remuneración de grana de primera calidad.

IV. Conclusiones

La evaluación, mediante el uso de indicadores analíticos, de los diferentes métodos de sacrificio y secado de *Dactylopius coccus* Costa, generó diferencias estadísticas significativas en las muestras analizadas en Nopaltepec, sin embargo, en el Laboratorio de Salvatierra no fueron significativas lo que indicaría diferencias en el método de análisis y el equipo con el que se realiza la medición del ácido carmínico, además de un efecto de las condiciones físicas y de manejo de cada lugar. El contenido de ácido carmínico se incrementa con el tratamiento Asfixia-Secador y este tratamiento tuvo el mejor desempeño económico, ya que se obtiene el porcentaje de ácido carmínico requerido para que la grana sea considerada de primera calidad.

Las características biofísicas, sociales, tecnológicas y de manejo del sistema de producción de *Dactylopius coccus* Costa en la Microempresa Grana Cochinilla Nopaltepec A.L.P.R. permitieron comprender en una forma integral el efecto que tienen los métodos de sacrificio y secado en el proceso de producción y el contenido de ácido carmínico.

Es importante homogeneizar el proceso de laboratorio, como se observó en el trabajo a pesar de ser las mismas muestras analizadas en el laboratorio de Nopaltepec y el laboratorio de la universidad de Guanajuato, los resultados sobre el contenido de ácido carmínico fueron distintos. En la revisión bibliográfica no se encontró alguna norma nacional o internacional para la cuantificación del ácido carmínico en la grana, este tema es de vital importancia para regular el mercado de la grana en México.

La interacción con los productores y la revisión bibliográfica permitió conocer más a fondo la forma en que funciona el sistema de producción en la región de estudio, es posible decir que los productores pueden controlar y mejorar el proceso de producción para obtener mayores beneficios.

Entre las oportunidades de mejora que se identificaron están proponer el uso de sensores de temperatura, humedad relativa y luminosidad para el monitoreo de la nopaloteca, ya que el control de los factores que afectan a la producción puede ser más eficiente de esta forma y es posible que haya un impacto positivo en el contenido de ácido carmínico si se controlan mejor las condiciones de producción, cosecha y poscosecha.

El análisis económico realizado permite observar que los métodos de producción que involucran tecnología, si bien requieren invertir en el equipo, resultan más rentables que los métodos tradicionales. El análisis económico de los métodos es relevante cuando no se tiene un volumen de producción a gran escala ya que será más conveniente enfocarse en la obtención de un mayor porcentaje de ácido carmínico.

En la revisión bibliográfica no se encontró información sobre el efecto de la radiación solar en la concentración del ácido carmínico; sin embargo, los resultados observados podrían indicar que este factor influye y por ello se obtuvieron mayores concentraciones de ácido carmínico con el uso del secador.

En otros procesos de deshidratación de productos agrícolas como las infusiones y la Stevia, cuando el producto no se expone directamente al sol se conservan mejor sus características de color y sabor, si se traslada esta información a la grana se explica el mayor porcentaje de ácido carmínico con el uso del secador que aquel que se obtuvo con el secado al sol directo, sombra.

La investigación para optimizar la producción y calidad de la grana cochinilla en México es un área de oportunidad en diversos campos relacionados con las Ciencias agroalimentarias y también representa una opción económica rentable para productores agrícolas.

Referencias

- Aldama , C., & Llanderal, C. (2003). Grana cochinilla: comparación de métodos de producción en penca cortada. *Agrociencia*, vol. 37, 11-19.
- Aldama, C., Llanderal, C., Soto, M., & Castillo, L. (2005). Producción de Grana-Cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en Plantas de Nopal a la Intemperie y en Microtúneles. *Agrociencia* , 161-171.
- Aldama, M. C. (2005). *Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. Asunción: UNESCO.
- Anculle, A., Castro, V., & Julca, A. (2017). Caracterización de fincas productoras de tuna (*Opuntia ficus indica*) para la producción de cochinilla del carmín (*Dactylopius coccus*) en la Joya Arequipa. *Aporte Santiaguino*, 245-258.
- Aquino, G. (s.f.). *Producción de grana cochinilla*. Obtenido de Producción de grana cochinilla. SAGARPA, Colegio de Postgraduados: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4mR9Bv6konMJ:www.campopotosino.gob.mx/index.php/biblioteca-digital/category/1-informacion-agr%3Fdownload%3D3:produccion-de-grana-cochinilla+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx>
- Arroyo, G. (2011). *Caracterización fisicoquímica de una fibra de algodón con grana carmín (*Dactylopius coccus* Costa) y tratabilidad biológica de las aguas residuales generadas en el proceso*. Chihuahua: Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C.
- Ávila, M., Berdeja, B., & Cuevas, M. (2009). Determinación de la toxicidad y concentración del ácido carmínico obtenido de la grana cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en Villa de Tezontepec, Hidalgo, México. *Revista Entomología Mexicana*, 823-827.
- Bonilla, G. (1999). *Cultivo de la cochinilla (*Dactylopius coccus* costa) (Homoptera: Dactylopiidae) en dos ambientes y tres métodos de infestación en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.

- Campos, M., & Llanderal, C. (2003). Producción de grana cochinilla *Dactylopius coccus* (Homoptera: Dactylopiidae) en invernadero. *Agrociencia*, 149-155.
- Cázares, P. (2012). *Obtención de Rojo Carmín (Ácido carmínico) a partir de la Cochinilla (Dactylopius coccus) y su Uso en la Industria Alimentaria*. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Centeno, M. (2003). *Extracción, estabilización y evaluaciones analíticas del carmín*. Distrito Federal: Instituto Politécnico Nacional .
- CESAVEM. (2015). *Campaña Manejo Fitosanitario del Nopal*. Toluca: Comité Estatal de Sanidad Vegetal.
- Coll-Hurtado, A. (1998). Oaxaca:geografía histórica de la Grana Cochinilla. *Investigaciones Geográficas*, 71-82.
- Contreras, A., Fuentes, G., Martínez, F., Meza, A., Mora, S., Peña, H., & Quezada, N. (1996). *Producción de Carmín a partir de Grana Cochinilla*. Distrito Federal: Universidad Autónoma Metropolitana .
- Cruz, S. (2014). *Determinación de la relación beneficio-costo en una unidad de producción de grana cochinilla (Dactylopius coccus C.) ubicada en el municipio de Villa Nueva, Zacatecas*. Zacatecas: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Díaz, J. (2000). *Producción de grana (Dactylopius coccus Costa) en condiciones semicontroladas, como alternativa para los productores de nopal en la región de Milpa Alta*. Distrito Federal: Instituto Politécnico Nacional .
- Díaz, J., & Ávila, L. (2002). *Sondeo del mercado mundial de Cochinilla (Coccus cacti)*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Humbolt.
- Drucker, R., & Beyer, M. (2009). *Rojo mexicano*. Contenido.
- Flores, L. (2015). *Seguimietno de la producción de ácido carmínico de la Grana Cochinilla (Dactylopius coccus) para la detección de la etapa de mayor rendimiento y propuestas de hospederos alternativos*. Cuautitlán Izcalli: Universidad Nacional Autónoma de México. .

- FONAES. (16 de 06 de 2011). *Modelo Productivo de Negocio Repplicable: Producción intensiva de Grana Cochinilla en Condiciones de Invernadero*. Obtenido de http://inaes.gob.mx/doctos/pdf/Mod_Grana_Cochinilla_24012012.pdf
- Hernández, F., Gil, F., Del Río, I., & Lanz, H. (2005). La cochinilla fina del nopal, colorante mexicano para el mundo. 78-86.
- IICA. (2017). *Caracterización del SIAL nopal verdura y fruta en el estado de Hidalgo, México*. Hidalgo: ICCA, Secretaria de Desarrollo Agropecuario de Hidalgo, El Colegio del Estado de Hidalgo.
- Llenderal , C., & Campos, M. (2001). *Producción de grana cochinilla: Sistemas de producción de la grana cochinilla*. Estado de México: Colegio de Postgraduados.
- López, M. (2005). *Relación entre métodos de secado de cochinilla silvestre (Dactylopius sp.) y el redimiento de ácido carmínico*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- MacGregor, R. (1976). La grana o cochinilla del nopal usada como colorante desde el México antiguo hasta nuestros días. *Cactáceas y suculentas mexicanas*, 217-223.
- Mamani, G., & Huamani, I. (2015). *Evaluación comparativa de los métodos Thorpe y Fránces para la obtención de carmín a partir de la cochinilla (Dactylopius coccus Costa) en el Distrito la Joya . Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín .*
- Molero, S., & Herrera, A. (2013). Tres calidades de Cochinilla *Dactylopius coccus* Costa en el Perú (2008-2011). . *Actas de la Segunda Reunión para el Aprovechamiento Integral de la Tuna y otras Cactáceas y I Reunión Sudamericana CACTUSNET FAO-ICARDA* (págs. 127-136). Santiago del Estero : CACTUSNET NEWSLETTER.
- Mora, E., Aquino, G., Rodríguez, G., Martínez, A., Calva, V., & Rodríguez, J. (Julio de 1999). *Programa Nacional de la Grana-Cochinilla*. Obtenido de <https://www.oocities.org/cucba/pronaco.html>
- Ortiz, M. (2010). *Historia e historiografía de la grana cochinilla (Dactylopius coccus) como recurso natural en México virreinal*. México: Universidad Nacional Autónoma de México .

- Pérez, M., & Becerra, R. (2001). Nocheztli: El insecto del rojo carmín. *Biodiversitas*, 1-8.
- Pineda, C. (2006). Una riqueza por explotar: la grana cochinilla.
- Portillo, L., & Viguera, A. (2013). Cría de la Grana Ccochinilla del Nopal. *Actas de la Segunda Reunión para el Aprovechamiento Integral de la Tuna y otras Cactáceas y I Reunión Sudamericana CACTUSNET FAO-ICARDA* (págs. 85-94). Santiago del Estero: CACTUSNET NEWSLETTER.
- Portillo, L., Viguera, A., & Arreola, H. (2012). *Grana Cochinilla del Nopal: Manual de Cría*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Solares, H. (2007). *Evaluación del método Ricci para infestación de cochinilla Dactylopius coccus Costa, sobre nopal Opuntia ficus-indica (L.) MILL, bajo condiciones semicontroladas en cuatro localidades de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Tello, V., & Vargas, J. (2015). Efectos de la luz artificial a diferentes fotoperiodos sobre dos variables productivas de la grana cochinilla, *Dactylopius coccus Costa* (Hemiptera: Dactylopiidae) para su cultivo bajo condiciones controladas. *IDESIA (Chile)*, 23-30.
- Tovar, A. (2000). *Producción de grana cochinilla del nopal Dactylopius coccus Costa (Homoptera: Dactylopiidae) en dos localidades del sur del estado de Nuevo León*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León. .
- Vargas, J. (2004). *Condiciones Ambientales y Situación Actual de la Grana Cochinilla Dactylopius spp.* Coahuila: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro .
- Viguera, G. (1999). *Aspectos generales del manejo postcosecha y comercialización de la grana de cochinilla en México In: Memoria del VII Congreso Nacional y VI Internacional SOBRE el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Recursos de Internet

Ebay, Corning hot plate stirrer PC-351, consultado el 20 de enero de 2020 en <https://www.ebay.com/p/1401564568>

Hydro environment, malla antiafidos, Consultado el 20 de enero de 2020 en https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=advanced_search_result&keyword=malla+antiafidos&gclid=CjwKCAiA35rxBRAWEiwADqB375o8305DWZHJIXTBz8elsrxhshSZtSZNxxp3f2ZQB2YsgL13uGG_1hoCNd8QAvD_BwE

Laboratorio Laboteca, Hexano grado técnico de 1 L, consultado el 20 de enero de 2020 https://www.laboteca.com.mx/products/hexanotecnico?_pos=2&_sid=001a6b108&_ss=r

Maderas y triplay mx, madera de pino, consultado el 20 de enero de 2020 http://maderasytريplay.com.mx/index.php?id_category=198&controller=category

Mercado libre, en el sitio se consultaron los precios de diversos productos de la tabla de costos de sacrificio y de secado, Consultado el 20 de enero de 2020 en https://www.mercadolibre.com.mx/?matt_tool=6523024&matt_word=mercado_libre&gclid=CjwKCAiA35rxBRAWEiwADqB37267pejRp20NdGJPoLRGj_mWZGGDBd3JRy1CDN2prF3p6rMRIdRLABoCIkQAvD_BwE

Mil anuncios, caja con agujeros para apicultura, consultado el 20 de enero de 2020 <https://www.milanuncios.com/otros-animales/cajas-con-agujeros-para-apicultura-220394336.htm>

Servicio Meteorológico Nacional. Normales climatológicas. Estado de México, estación: 00015216 Nopaltepec, periodo 1951-2010 (06,2018). Consultado el 25 de febrero de 2020 en <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL15216.TXT>

CONABIO. Portal de geoinformación 2020 (SNIB). Mapa de edafología con división municipal del Estado de México (02,2020). Consultado el 25 de febrero de 2020 en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

INAFED. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de México, Nopaltepec (01,2016). Consultado el 25 de febrero de 2020 en <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15061a.html>

IEEM. Nopaltepec, Plataforma Electoral Municipal 2016-2018 (12, 2019). Consultado el 27 de febrero de 2020 en https://www.ieem.org.mx/2015/plata/municipal/12_PRI_PVEM_NA/Nopaltepec.pdf

INEGI. Cuéntame, Población, Educación, ESCOLARIDAD (2020). Consultado el 27 de febrero de 2020 en <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/escolaridad.aspx?tema=P>

INEGI. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. Población, Principales características de la población (1995 - 2015). Nopaltepec, Estado de México (2020). Consultado el 26 de febrero de 2020 en <https://sc.inegi.org.mx/cobdem/resultados.jsp?w=79&Backidhecho=509&Backconstem=508&constembd=177&tm=%27Backidhecho:3,Backconstem:3,constembd:3%27>

INEGI. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. Población, Tasa de alfabetización de personas de 15 a 24 años por sexo. Nopaltepec, Estado de México (2020). Consultado el 26 de febrero de 2020 en <https://sc.inegi.org.mx/cobdem/resultados.jsp?w=13&Backidhecho=511&Backconstem=510&constembd=187&tm=%27Backidhecho:3,Backconstem:3,constembd:3%27>

INEGI. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. Educación, Principales características educativas y culturales de la población (1995 - 2010). Nopaltepec, Estado de México (2020). Consultado el 26 de febrero de 2020 en <https://sc.inegi.org.mx/cobdem/resultados.jsp?w=5&Backidhecho=529&Backconstem=528&constembd=167&tm=%27Backidhecho:3,Backconstem:3,constembd:3%27>

INEGI. Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. Agropecuario y Aprovechamiento Forestal: Producción agrícola, Producción ganadera, Producción y control forestal. Nopaltepec, Estado de México (2020). Consultado el 26 de febrero de 2020 en <https://sc.inegi.org.mx/cobdem/resultados.jsp?w=40&Backidhecho=560&Backconstem=559&constembd=165&tm=%27Backidhecho:3,Backconstem:3,constembd:3%27>

Google Earth, Nopaltepec, Estado de México. Consultado el 03 de marzo de 2020