UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

ESTUDIO DE DOS VARIEDADES DE TUNA (*Opuntia ficus*) BAJO SOMBRA PARA LA PRODUCCIÓN DE COCHINILLA EN LA IRRIGACIÓN COPARE TACNA, 2024

TESIS

Presentada por:

Bach. Yasunari William Copari Vilca

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

ESTUDIO DE DOS VARIEDADES DE TUNA (*Opuntia ficus*) BAJO SOMBRA PARA LA PRODUCCIÓN DE COCHINILLA EN LA IRRIGACIÓN COPARE TACNA,2024

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 31 DE OCTUBRE DEL 2025 SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:

Dr. Oscar Octavio Fernández Cutire

SECRETARIO:

Dra. Nelly Arévalo Solsol

VOCAL:

Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra

ASESOR:

Dr. Martin Eloy Casilla García

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Martin Eloy Casilla García en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 9134-2024-FCAG de la tesis titulado: **"ESTUDIO DE DOS VARIEDADES DE TUNA (Opuntia Ficus) BAJO SOMBRA PARA LA PRODUCCIÓN DE COCHINILLA EN LA IRRIGACIÓN COPARE TACNA, 2024"** Presentado por Bachiller YASUNARI WILLIAM COPARI VILCA para optar el Título Profesional de INGENIERO AGRONOMO. Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 2%. Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio Institucional.**

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del Título Profesional de Ingeniero AGRONOMO.

Dr. Martin Eloy Casilla García
DNI: 00470414



Bach. Yasunari William Copari Vilca
DNI: 70599790



DEDICATORIA

Dedico este manuscrito a mi querida abuela María, Quien a pesar de las adversidades siempre me brindo su cariño y enseñanzas. Su recuerdo vive en mí y en cada logro alcanzado; a mi madre, quien me inspiro a seguir esta maravillosa profesión; a mi hermana, por mantener siempre altas expectativas sobre mí; y, de manera especial a todas las personas que contribuyeron al logro de mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Un profundo agradecimiento a mi madre, en primer lugar, por su apoyo constante y por nunca dejarme faltar nada, por motivarme a encariñarme con esta maravillosa profesión y por brindarme su respaldo económico siempre que lo necesité. Extiendo también mi gratitud a mi hermana, quien supo alentarme y mantuvo en mí altas expectativas sin desfallecer en esa confianza. Agradezco igualmente a mis docentes, por otorgarme una formación sólida y bien fundamentada, y, finalmente, a mis amigos, quienes siempre estuvieron a mi lado, alentándome y aconsejándome para alcanzar mis objetivos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA iii

AGRADECIMIENTOS iv

ÍNDICE DE CONTENIDO v

ÍNDICE DE TABLAS viii

ÍNDICE DE FIGURAS x

RESUMEN xi

ABSTRACT xii

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA 3

1.1 Planteamiento del problema 3

1.2 Formulación del problema 5

1.2.1 problema general 5

1.2.2 problemas específicos 5

1.3 Justificación 6

CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS 7

2.1 Objetivos 7

2.1.1 Objetivo general 7

2.1.2 Objetivos específicos 7

2.2 Hipótesis 8

2.2.1 Hipótesis general 8
2.2.2 Hipótesis específicos 8
1.3 Variables evaluadas 8
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO 9
3.1 Antecedentes 9
3.1.1 Antecedentes internacionales 9
3.1.2 Antecedentes nacionales 12
3.2 Cochinilla (Dactylopius coccus Costa) 14
3.2.1 Taxonomía y distribución geográfica 14
3.2.2 Composición química 17
3.2.3 Relación simbiótica entre la cochinilla y Opuntia ficus-indica 17
3.3 Tuna (Opuntia ficus-indica L.) 18
3.3.1 Taxonomía y distribución geográfica 18
3.3.2 Composición química 21
3.3.3 Descripción morfológica 22
3.4 Marco conceptual 23
CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS 25
4.1 Tipo, alcance y diseño de investigación 25
4.2 Ubicación del área de estudio 25
4.3 Precedentes del área de estudio 26
4.4 Materiales 27
4.4.1 Material vegetal y biológico 28
4.5 Diseño estadístico 28

4.6 Características del área de estudio 29
4.7 Población 30
4.8 muestra 31
4.9 Variables de estudio 32
4.9.1 Capacidad productiva de Dactylopius coccus 32
4.9.2 Supervivencia de Dactylopius coccus 33
4.10 Metodología aplicada 34
4.10.1 Manejo de la producción de cochinilla 34
4.10.2 Selección y preparación del material vegetal 35
4.10.3 Procedimiento de infestación 35
4.10.4 Crianza en plataformas de crianza 36
4.10.5 Manejo de microclima (implementación de sombra) 36
4.10.6 Control de plagas y enfermedades 37
4.10.7 Clasificación y evaluación del grado de infestación 37
4.10.8 Monitoreo por estadios y dinámica poblacional 37
4.10.9 Consideraciones adicionales de manejo 38
4.11 Análisis estadístico 39
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES 40
5.1 Resultados 40
5.2 Discusiones 61
CONCLUSIONES 67
RECOMENDACIONES 68
REFERENCIAS BILBIOGRÁFICAS 69
ANEXOS 83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de Dactylopius coccus 15

Tabla 2. Taxonomía de Opuntia ficus-indica 19

Tabla 3. Grados de infestación de Dactylopius coccus 33

Tabla 4. Supervivencia y desarrollo biológico de la cochinilla del carmín 34

Tabla 5. Promedios de la capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variades de tuna en condición de sombra, Copare, Tacna-2024 41

Tabla 6. Promedio de las cosechas en base al pico poblacional del ciclo productivo de Dactylopius coccus en condición de sombra en dos variedades de tuna, Copare, Tacna – 2024 . 44

Tabla 7. Capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 . 45

Tabla 8. Prueba de normalidad de capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 46

Tabla 9. Prueba estadística no paramétrica de Mann–Whitney U de la capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 . 47

Tabla 10. Prueba de Friedman para el efecto combinado de la variedad y el tiempo de evaluación de la capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 48

Tabla 11. Prueba de rangos no paramétrica de Wilcoxon para el efecto combinado de la variedad y el tiempo de evaluación de la capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 . 49

Tabla 12. Promedios de supervivencia de Dactylopius coccus en dos variades de tuna en condición de sombra, Copare, Tacna-2024 52

Tabla 13. Supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 54

Tabla 14. Prueba de normalidad de supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 55

Tabla 15. Prueba estadística no paramétrica de Mann–Whitney U para supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 . 56

Tabla 16. Prueba de Friedman para el efecto combinado de la variedad y el tiempo de evaluación de la supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 57

Tabla 17. Prueba de rangos no paramétrica de Wilcoxon para el efecto combinado de la variedad y el tiempo de evaluación de la supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 . 58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de la cochinilla 16

Figura 2. Partes de Opuntia ficus-indica 22

Figura 3. Croquis del diseño del área de estudio 30

Figura 4. Diagrama de caja de la capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 50

Figura 5. Diagrama de caja de supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024 59

RESUMEN

El presente estudio sobre la evaluación de dos variedades de (*Opuntia ficus-indica* L.) en condiciones de sombra en la producción de cochinilla del carmín (*Dactylopius coccus* Costa) en irrigación Copare, Tacna tuvo como objetivo analizar el comportamiento productivo y la supervivencia de este insecto en dos variedades de tuna, roja y amarilla. La investigación se desarrolló bajo un diseño no experimental, observacional y comparativo con 175 cladodios distribuidos en ambas variedades, registrándose la dinámica poblacional desde la infestación hasta la cosecha. Los resultados mostraron que la variedad amarilla presentó un mejor desempeño en todas las fases del ciclo biológico, alcanzando promedios de 307 individuos en ninfa I, 190 en ninfa II, 118 en pupa y 67 en adulto, frente a los 228, 109, 51 y 23 obtenidos en la variedad roja; además, la proporción sexual fue más favorable en la amarilla, con 42–44 hembras y 17–23 machos por cladodio, en comparación con 12–15 hembras y 7–8 machos en la roja. En cuanto a la supervivencia, la variedad amarilla mantuvo entre 70,60 % al día 20 y 55,60 % al día 80, mientras que la roja descendió de 58,82 % a 39,30 % en el mismo periodo, con una diferencia final de 16 puntos porcentuales a favor de la primera.

Palabras clave: Opuntia ficus-indica, cochinilla del carmín, producción, supervivencia, Copare.

ABSTRACT

The present study on the evaluation of two varieties of (*Opuntia ficus-indica* L.) under shade conditions in the production of the carmine mealybug (*Dactylopius coccus* Costa) in irrigated Copare, Tacna had the objective of analyzing the productive behavior and survival of this insect in two varieties of prickly pear, red and yellow. The research was carried out under a non-experimental, observational and comparative design with 175 cladodes distributed in both varieties, recording the population dynamics from infestation to harvest. The results showed that the yellow variety presented a better performance in all phases of the biological cycle, reaching averages of 307 individuals in nymph I, 190 in nymph II, 118 in pupa and 67 in adult, compared to 228, 109, 51 and 23 obtained in the red variety; in addition, the sex ratio was more favorable in the yellow variety, with 42-44 females and 17-23 males per cladode, compared to 12-15 females and 7-8 males in the red variety. In terms of survival, the yellow variety maintained between 70,60 % at day 20 and 55,60 % at day 80, while the red variety dropped from 58,82 % to 39,30 % in the same period, with a final difference of 16 percentage points in favor of the former.

Key words: Opuntia ficus-indica, carmine mealybug, production, survival, Copare.

INTRODUCCIÓN

La cochinilla del carmín (Dactylopius coccus Costa) constituye un insecto de relevancia económica, ampliamente cultivado sobre cladodios de Opuntia ficus-indica L., utilizado como hospedero para refugio, alimentación y producción, aunque con el efecto adverso del debilitamiento progresivo de sus pencas (Kebede et al., 2024; Roque, 2021). Originaria de México, esta especie se ha expandido a diversas regiones, llegando a ser catalogada como invasora en varios ecosistemas (El Aalaoui & Sbaghi, 2022). Su hospedero más frecuente, O. ficus-indica, resalta por su rusticidad y capacidad de adaptarse a suelos pobres, altas temperaturas y condiciones de aridez, factores que lo convierten en un cultivo estratégico (Neupane et al., 2021).

A nivel global, O. ficus-indica ocupa 2,6 millones de hectáreas en países como México, Marruecos, Brasil o Etiopía, donde su aprovechamiento incluye tanto el fruto, el forraje y la producción de cochinilla (Vastolo et al., 2020; Neupane et al., 2021). Perú es actualmente el mayor productor y exportador mundial de cochinilla, aportando entre el 80 y 85 % del volumen comercial, con una concentración de ácido carmínico superior al promedio internacional (Méndez et al., 2020; Bourhia et al., 2020). En Tacna, la baja fertilidad de suelos y la aridez han favorecido la instalación de O. ficus-indica como cultivo de interés estratégico (Gasco

et al., 2020). Sin embargo, limitaciones como la variabilidad genética de los ecotipos hospederos (Berhe, 2023), la incidencia de plagas y los bajos ingresos de los productores afectan la calidad del insecto y su rendimiento (Govela et al., 2021).

En la Irrigación Copare predominan dos variedades locales, ecotipo amarillo y ecotipo rojo, cuyos rasgos morfofisiológicos podrían determinar la tolerancia a la infestación y la productividad de la cochinilla, en especial bajo condiciones de sombra, factor que modifica el microclima y el comportamiento productivo del insecto (Batista et al., 2022; Barreda, 2020). No obstante, los estudios comparativos en condiciones de semiaridez y bajo sombra aún son escasos.

Por ello, el presente trabajo evaluó dos variedades de Opuntia ficus-indica en condiciones de sombra en la producción de cochinilla del carmín en la Irrigación Copare, Tacna, considerando su producción, supervivencia y proporción sexual, con el fin de aportar evidencia para optimizar el manejo productivo y garantizar la sostenibilidad del sistema nopal–cochinilla.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La cochinilla del carmín (*Dactylopius coccus* Costa) es un insecto de importancia económica que se desarrolla sobre cladodios de cactus del género *Opuntia*, especialmente (*Opuntia ficus-indica* L.) El insecto utiliza a la planta como hospedero para refugio, alimentación y producción, lo que conlleva un debilitamiento progresivo de los cladodios (Kebede et al., 2024; Roque, 2021). Originaria de México, la cochinilla se ha extendido a diversas regiones, llegando a ser catalogada como especie invasora (El Aalaoui & Sbaghi, 2022).

Su hospedero más afín, *O. ficus-indica*, destaca por su adaptabilidad a suelos pobres en nutrientes, altas temperaturas y bajas precipitaciones, con reducida necesidad de fertilización y sin requerimientos de riego intensivo debido a su tolerancia a la sequía (Neupane et al., 2021). La domesticación de insectos en ambientes controlados ha sido limitada y se concentra en especies con viabilidad comercial en climas áridos y semiáridos (Vastolo et al., 2020). A escala global, *O. ficus-indica* ocupa aproximadamente 2,6 millones de hectáreas, con Brasil, Túnez, México,

Marruecos, Argelia, Italia, Sudáfrica y Etiopía entre los principales productores (Neupane et al., 2021).

La cochinilla se produce principalmente en España, Chile, Bolivia, México y Perú, siendo este último el mayor productor y exportador mundial (Méndez et al., 2020), con alrededor del 80–85 % del volumen global. La cochinilla peruana resalta por su alta concentración de ácido carmínico (19–24 % del peso seco), superior al promedio internacional cercano al 14 % (Bourhia et al., 2020). En el país, la crianza sobre tunales silvestres presenta rendimientos de 40–60 kg/ha/año, mientras que en cultivos tecnificados de la costa se alcanzan 150–200 kg/ha; en 2020 se reportaron 62 207 toneladas en 11 758 hectáreas, concentradas en Apurímac, Ayacucho, Cusco y Huancavelica (> 75 %) (Gobierno de España, 2022).

En Tacna, la aridez y la baja fertilidad de suelos han favorecido el establecimiento de *O. ficus-indica* como cultivo estratégico para cochinilla (Gasco et al., 2020). Sin embargo, la actividad enfrenta limitaciones vinculadas a la variabilidad genética de los ecotipos hospederos (Berhe, 2023), la incidencia de plagas naturales y los bajos ingresos de productores, factores que afectan la calidad del insecto y la concentración de ácido carmínico (Govela et al., 2021). En la Irrigación Copare predominan dos variedades locales —ecotipo redondo y ecotipo largo— cuyas diferencias morfológicas y fisiológicas pueden influir en la tolerancia

a la infestación y en la productividad del insecto; la salud del cactus impacta directamente en la calidad del carmín (Batista et al., 2022). Además, los sistemas de sombra, usados para mitigar estrés térmico, pueden modificar el comportamiento productivo de la cochinilla (Barreda, 2020).

En este contexto, la demanda de cochinilla de alta calidad exige estrategias que incrementen productividad y aseguren sostenibilidad ecológica y económica. Según Anculle (2019), los productores enfrentan una presión de mercado por homogeneidad y elevada concentración de ácido carmínico. Por ello, se justifica evaluar el desempeño de las variedades de *Opuntia ficus-indica* bajo sombra, con el fin de optimizar la producción de cochinilla del carmín en la Irrigación Copare, Tacna.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 problema general

¿Cuál de las dos variedades de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) presentara una mayor producción de cochinilla del carmín bajo sombra en la irrigación Copare, Tacna?

1.2.2 problemas específicos

¿Cuál será la influencia que presentará cada variedad de tuna en condición de sombra en la producción de cochinilla del carmín en la irrigación Copare, Tacna?

¿Cuál será el efecto de ambas variedades de tuna bajo condición de sombra en la sobrevivencia de la cochinilla del carmín en la irrigación Copare, Tacna?

1.3 Justificación

La producción de cochinilla del carmín en *Opuntia ficus-indica* es estratégica para zonas áridas como Tacna por su demanda sostenida y la adaptación del cultivo a condiciones de baja disponibilidad hídrica. En la Irrigación Copare se maneja el cultivo bajo sombra, pero falta evidencia local comparativa que determine, en condiciones reales de campo, qué variedad alcanza mayor producción (kg de cochinilla seca/ha/ciclo) y mejor supervivencia de colonias de *Dactylopius coccus*. Esta investigación cerrará esa brecha al cuantificar producción y supervivencia (incluyendo tasa de infestación y tiempo a cosecha) con un diseño experimental y análisis estadístico rigurosos. Los resultados permitirán estandarizar el manejo, optimizar calendarios de cosecha y mejorar la rentabilidad del sistema productivo en Copare, contribuyendo a su sostenibilidad técnica y económica.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar dos variedades de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) en condición de sombra en la producción de cochinilla del carmín (*Dactylopius coccus* Costa) en la irrigación Copare, Tacna.

2.1.2 Objetivos específicos

Evaluar la influencia de dos variedades de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) en condición de sombra en la producción de la cochinilla del carmín (*Dactylopius coccus* Costa) en irrigación Copare, Tacna.

Evidenciar la influencia de dos variedades se tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) en condición de sombra en la supervivencia de (*Dactylopius coccus* Costa) en la irrigación Copare, Tacna.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

Existen diferencias en la producción de cochinilla del carmín entre las dos variedades de *Opuntia ficus-indica* bajo condición de sombra en la Irrigación Copare, Tacna.

2.2.2 Hipótesis específicos

Existen diferencias en la producción de *Dactylopius coccus* entre las dos variedades de *Opuntia ficus-indica* bajo condición de sombra en la Irrigación Copare, Tacna.

Existen diferencias en la supervivencia de *Dactylopius coccus* entre las dos variedades de *Opuntia ficus-indica* bajo condición de sombra en la Irrigación Copare, Tacna.

1.3 Variables evaluadas

- Capacidad productiva de *Dactylopius coccus*
- Supervivencia de *Dactylopius coccus*

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

Fils (2024) analizó los niveles de infestación de *Dactylopius opuntiae* en cladodios de nopal bajo condiciones protegidas, considerando tratamientos como 1 000 ninfas (T1), 2 000 ninfas(T2), 3 000 ninfas(T3), 4 000 ninfas (T4) y 10 hembras adultas (T5). Los resultados demostraron que el tratamiento T4 logró el mayor número de colonias establecidas en el cladodio y porcentaje de infestación, con 654 colonias y un 18,52%, respectivamente; mientras que, los tratamientos con menor número de ninfas (T1, T2 y T3) obtuvieron un promedio de 0,026 g por hembra. Sin embargo, T4 alcanzó el mayor rendimiento total por cladodio con 12,89 g. Por ende, se concluyó que, para maximizar la producción y eficiencia en la cría de cochinilla, el uso de 4 000 ninfas por cladodio es el enfoque más recomendado, y se estimó que se requieren aproximadamente 77 cladodios para producir un kilogramo de *D. opuntiae*.

Álvarez et al. (2023) evaluaron la efectividad de tres métodos diferentes para plaga de Dactylopius *coccus* en cladodios de *Opuntia ficus-indica* y determinar el número óptimo de hembras madre en un invernadero

en la Estación Experimental Tunshi. en Ecuador. Se establecieron métodos de infestación como pencas infestadas, método de la bolsita de tul y método del recipiente. Los resultados evidenciaron que el método más eficaz en el invernadero fue pencas infestadas, mientras que, el tratamiento con 20 hembras por cladodio (P.I + 20 hemb/cladodio) fue el número óptimo de hembras madre por cladodio, donde a los 20, 40, 60 y 80 días después de la infestación produjo altos rendimientos de grana cochinilla. Por lo tanto, se concluyó que la combinación del método de pencas infestadas con un número adecuado de hembras madre puede maximizar la eficiencia de la producción de grana cochinilla en sistemas controlados.

Zacarías et al. (2021) evaluaron los cultivares Esmeralda y Villanueva de *Opuntia ficus-indica* en un sistema de producción para optimizar la cría de *Dactylopius coccus* en México. Se analizaron cuatro niveles de altura y dos índices de cosecha para determinar su impacto en la concentración de peso fresco y ácido carmínico del insecto. Los resultados no mostraron diferencia significativa en el CAC de las colonias de *D. coccus* en ambos cultivares (18%); Sin embargo, la cosecha de *D. coccus* en la fase post oviposición resultó en una mayor concentración de CAC (20,40%); mientras que en la fase pre-oviposición se cosechó 15,6% (p0,05). Por lo tanto, se concluyó que el cultivar Esmeralda podría ser

utilizado como hospedante alternativo para la crianza intensiva de *D. coccus* en confinamiento.

Arroyo et al. (2020) determinaron la relación entre las características de los cladodios del nopal (*Opuntia ficus-indica*), como tamaño, edad y peso, con la cantidad de cochinilla (*Dactylopius coccus*) seca y su contenido de ácido carmínico (AC) en condiciones de invernación en México. Para ello, se utilizó 50 cladodios de diferentes edades, clasificandolos de 4 meses (jóvenes), 6 meses (maduros) y 8 meses o más (viejos). Los resultados revelaron que la edad del cladodio tuvo un impacto significativo en la producción de cochinilla, medida en peso seco, pero no afectó de manera significativa el contenido de AC, que se mantuvo entre 18,7% y 19,3%. Por lo tanto, se concluyó que el uso de cladodios a partir de 4 meses de edad es viable para la producción de *D. coccus*en invernadero.

Alvarado et al. (2020) investigaron cómo la altura de los cladodios en una "nopaloteca" y el momento de la cosecha afectan la calidad y el rendimiento de *Dactylopius coccus* en México. Se utilizaron diferentes alturas (0,5; 1,0; 1,5 y 2 m) en un sistema de cría controlado y se midió el peso fresco (PF) y la concentración de ácido carmínico (CAC) de los insectos recolectados en dos etapas: antes y después de la oviposición. La mayor CAC (19,2%) se obtuvo a una altura de 1,0 m, pese a que este nivel

presentó el PF más mínimo que fue de 3,5 g por cladodio. Por lo tanto, se concluyó que la altura tiene un impacto significativo, ya que la mayor concentración de ácido carmínico se alcanzó a 1,0 m, aunque a esa altura el peso fresco fue menor.

3.1.2 Antecedentes nacionales

Roque (2021) realizo un estudio para evaluar la viabilidad de la cría masiva controlada de la cochinilla en dos sistemas de producción a escala de laboratorio en Perú. El primer sistema (STC-01) comprendía una caja acrílica prismática con tres compartimentos; matrices sintéticas verticales y una fuente de nutrientes con iluminación artificial durante períodos fijos de luz diurna. El segundo sistema (STC-02) comprendía un microtúnel automatizado que permitía a los insectos moverse hacia la luz solar con matrices sintéticas dispuestas horizontalmente. Entre los resultados, se encontró que el sistema STC-01 superó al STC-02, un microtúnel automatizado, en rendimiento de producción de cochinilla de 4,86 g de peso fresco por día por metro cuadrado, en comparación con 3,20 g en el STC-02. Se concluyó que es viable y sostenible la producción de cochinilla en condiciones artificiales controladas.

(Condori & Molina (2020) determinaron la eficiencia de tuna (*Opuntia ficus-indica*), blanca o roja en la producción de ninfas de cochinilla

(*Dactylopius coccus Costa*). Se evaluaron 400 cladodios en distintos estadios de desarrollo de la cochinilla: ninfa (E1), fase establecida de ninfas (E2), pre-oviplenas (E3) y oviplenas madres (E4). Los resultados revelaron una superioridad de tuna blanca en la producción de ninfas de cochinilla, con un rendimiento 640,01 g en comparación con la variedad roja con 320,45 g en 40 días. Además, cuando las ninfas fueron infestadas en el campo, las provenientes de la variedad blanca demostraron un mejor establecimiento, con un promedio de 2,34, frente a 1,79 para las ninfas de la variedad roja. Por lo tanto, se concluyó que esta variedad es la más recomendable para optimizar la producción controlada y en el campo.

Barreda (2020) propuso una optimización de los procesos de producción de cochinilla con el fin de aumentar la productividad de la empresa agroexportadora carmín S.R.L. en Arequipa, obteniendo como resultados que las deficiencias incluyeron la falta de estandarización y problemas en el uso de infestadores y mallas rashel, lo que afectaba la producción y aumentaba los costos. Tras llevar a cabo mejoras en la producción, el tiempo se redujo de 14-16 meses a 12 meses. La eficiencia aumentó en un 56,70%, la productividad subió del 62,50% al 85,03%, y el costo por kilogramo disminuyó de 25 a 15 dólares. Además, los beneficios se incrementaron al reducir los costos en un 39,90%, alcanzando una rentabilidad del 102,19% con un aumento del 78% en los beneficios. Por lo

tanto, se concluyó que las mejoras realizadas resultaron en una mayor eficiencia y rentabilidad para la empresa.

Anculle (2019) evaluó la sostenibilidad de las fincas que cultivan Opuntia ficus-indica para la producción de Dactylopius coccus en Arequipa utilizando el "Marco MESMIS" y el "Análisis multicriterio". Los resultados indicaron que las fincas presentan variadad y multifuncionalidad, combinando la producción de cochinilla con cultivos adicionales y ganadería lechera. Se identificaron deficiencias en el manejo y las técnicas de cultivo, a pesar que los rendimientos y los ingresos son relativamente altos, así como en la provición de servicios básicos como pavimentación, agua potable y desagüe son inadecuados. El análisis de conglomerado mediante el Método de Ward clasificó las fincas en seis grupos, siendo el tipo VI el más común, con 4,6 hectáreas de tuna, un ingreso de US$ 7 418 por hectárea al año y una producción de 574 kilogramos de cochinilla seca. Por lo tanto, se concluyó que estas fincas no son sustentables.

3.2 Cochinilla (Dactylopius coccus Costa)

3.2.1 Taxonomía y distribución geográfica

En términos de taxonomía, *Dactylopius coccus* pertenece a la familia Dactylopiidae dentro del orden Hemiptera. A menudo se confunde con otras especies del género Dactylopius, como *D. ceylonicus*, que ha sido

reportada en India central en *Opuntia elatior*. La distribución geográfica de *D. coccus*está estrechamente ligada al cultivo de sus plantas hospedantes, con condiciones óptimas identificadas en regiones semiáridas de América Central y del Sur, particularmente en Perú y México, donde se cultiva en *Opuntia ficus-indica* (tuna) por su ácido carmínico (Vinaja & Gallegos, 2023).

Tabla 1

Taxonomía de Dactylopius coccus

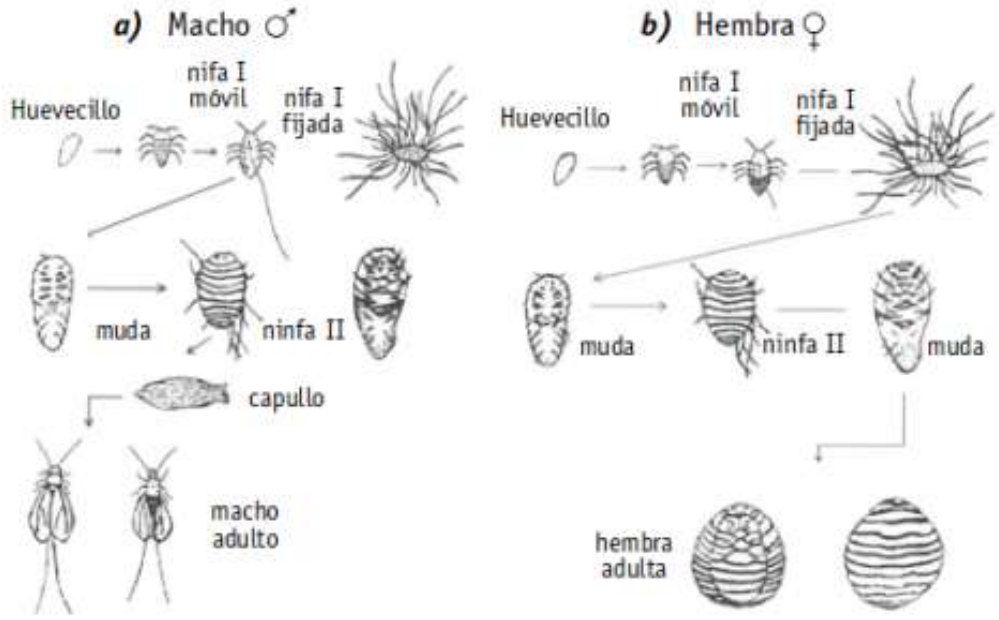
Clasificación taxonómica del *Dactylopius coccus*	
Reino	*Animal*
Subreino	*Filo Arthropoda*
División	*Hexapoda*
Clase	*Insecta*
Subclase	*Pterygota*
Orden	*Hemiptera*
Familia	*Sternorrhyncha*
Subfamilia	*Coccoidea*
Tribu	*Dactylopiidae*
Género	*Dactylopius*
Especie	*Dactylopius coccus*

Fuente: Tomado de Campos (2019)

La cochinilla es una fuente rica en ácido carmínico, un tinte natural muy valorado y utilizado desde tiempos antiguos. Los aztecas fueron los

primeros en domesticar este insecto debido a su capacidad para producir el intenso color rojo que se extrae del ácido carmínico, empleado en textiles, arte y rituales. Esta práctica de domesticación hizo de la cochinilla uno de los pocos insectos domesticados en la historia. A principios del siglo XIX, se exportaron más de 3 millones de libras de insectos secos desde México en el año 1802, antes de que los tintes rojos alternativos y la producción en el extranjero causaran que la rentabilidad de la industria local disminuyera (Kelly et al., 2022).

Figura 1. *Ciclo de vida de la cochinilla*



Fuente: Paul-Fils et al. (2020)

3.2.2 Composición química

El insecto *Dactylopius coccus*, conocido comúnmente como cochinilla, presenta una alta concentración de ácido carmínico, que varía entre el 19 % y el 25 % de su peso seco. Debido a esta significativa concentración, la extracción de ácido carmínico de este insecto se ha explorado ampliamente para diversas aplicaciones, como colorante natural en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica, incluido su potencial como conservante natural debido a sus propiedades antioxidantes (Aragon et al., 2023). En comparación, *Dactylopius opuntiae*, otra especie dentro del mismo género, también produce ácido carmínico y se ha identificado como una alternativa accesible para la fabricación de tintes, mostrando prometedoras propiedades de solidez cuando se usa en telas (Genc & Aydin, 2024). En este sentido, el promedio de ácido carmínico en *D. opuntiae* y *D. coccus* es de 3 a 5% y 19 a 25% respectivamente (Martínez et al., 2021).

3.2.3 Relación simbiótica entre la cochinilla y Opuntia ficus-indica

Las introducciones de *Opuntia* y cochinilla han generado conflictos de intereses desde hace mucho tiempo, ya que la tuna se considera una planta valiosa en el norte de África y el Oriente Medio. Por ejemplo, *Opuntia* es un cultivo forrajero y frutal en Marruecos y una especie de seto adaptada a la sequía de importancia cultural (Kelly et al., 2022).

A partir de ello, la relación simbiótica entre la cochinilla (*Dactylopius coccus*) y la planta *Opuntia ficus-indica* es un ejemplo de mutualismo, donde la cochinilla se protege en sus pencas y se nutre de la savia de la planta, mientras que la planta *Opuntia* como huésped se beneficia indirectamente indirectamente de la producción de ácido carmínico, ya que este compuesto actúa como defensa natural contra depredadores. Al ser secretado por la cochinilla, el ácido carmínico disuade a muchos depredadores, protegiendo no solo al insecto, sino también a la planta sobre la que vive, favoreciendo así su supervivencia en el ecosistema (Talhande et al., 2023).

3.3 Tuna (Opuntia ficus-indica L.)

3.3.1 Taxonomía y distribución geográfica

Opuntia ficus-indica pertenece a un género complejo y diversificado, el cual incluye alrededor de 300 especies. Esta gran variedad morfológica dentro de una misma especie hace que su clasificación sea difícil y sujeta a debate entre los científicos. Debido a estas diferencias en la forma y características de las plantas, la clasificación precisa de estas especies dentro del género *Opuntia* es complicada y controversial (Vastolo et al., 2020).

Tabla 2

Taxonomía de Opuntia ficus-indica

Clasificación taxonomía del *Opuntia ficus - indica*	
Reino	*Vegetal*
Subreino	*Embryophita*
División	*Angioespermae*
Clase	*Dycotyledonea*
Subclase	*Dialipétalas*
Orden	*Opuntiales*
Familia	*Cactáceae*
Subfamilia	*Opuntioideae*
Tribu	*opuntiae*
Género	*Opuntia-Nopalea*
Especie	*Ficus-indica*

Fuente: Paredes (2023)

Opuntia ficus-indica ha sido utilizada por las culturas de América Latina desde tiempos prehistóricos, especialmente en México, donde se le conoce como nopal. La planta era valorada tanto por sus frutos como por sus pencas comestibles. Durante la colonización española, la planta fue llevada a otras partes del mundo como África, Asia, Australia y Europa, particularmente en España, donde se le conoce como chumbera (Bourhia et al., 2020).

La planta es capaz de prosperar en climas áridos, lo que ha permitido su expansión global, desarrollandose a temperatura ideal entre 27 °C y 30 °C, mientras que, las temperaturas bajas (−16 °C) pueden dañar la planta. Sin embargo, en varias de estas regiones, se ha convertido en una especie invasora, afectando negativamente la biodiversidad local y competiendo con cultivos agrícolas, lo que representa un problema ambiental en algunas áreas (Jorge et al., 2023).

Los ecotipos de tuna existentes en el Perú pertenecerían a la especie única O.Ficus-Indica (L.) Miller, y se diferencian según la coloración de su fruto, blanca, amarilla, morada, colorada (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022). Al respecto, Alcázar (2019) resalta que la diversidad fenotípica de los ecotipos locales se asocia a las variaciones climáticas y altitudinales, permitiendo la selección natural de variedades específicas para distintas regiones. Además, Álvarez (2023) señala que los colores de los frutos, determinados por la concentración de betalaínas y flavonoides, no solo tienen valor sensorial y estético, sino también propiedades nutracéuticas importantes, lo que posiciona a la tuna como un cultivo estratégico para el desarrollo rural en áreas de recursos escasos.

Por su parte, Huamani (2023) analizó las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y el perfil de ácidos orgánicos de tres variedades de tuna como morada, amarilla y blanca, encontrando

diferencias significativas en humedad, pulpa, pH, °Brix, acidez titulable, madurez. y cenizas. La tuna Morada destacó por su mayor contenido de compuestos fenólicos (69,10 mg AGE/100 g) y capacidad antioxidante (278,38 µmol TE/100 g), seguida por la Amarilla y Blanca. En ácidos orgánicos, la Blanca sobresalió en ácido ascórbico (257,87 mg/100 g), y la Morada en ácido cítrico (342,63 mg/100 g) y málico (76,12 mg/100 g), evidenciando el potencial de cada variedad para aplicaciones específicas. según sus características químicas y nutricionales.

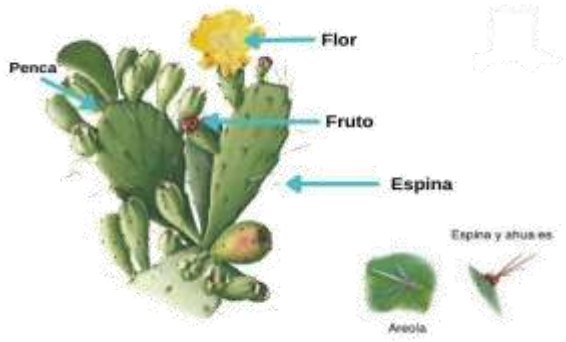
3.3.2 Composición química

El mucílago en *O. ficus-indica* es una sustancia viscosa y compleja, compuesta por varios tipos de azúcares, incluidos ácido galacturónico, L-ramnosa , D-galactosa, L-arabinosa, y D-xilosa. Este mucílago tiene la capacidad de retener grandes cantidades de agua y formar geles, lo que lo hace útil en la industria cosmética y alimenticia como espesante y emulsificante (Alshaikhi et al., 2024). El mucílago de esta planta contiene aproximadamente 7 a 8% de ramnosa y ácido galacturónico, 35 a 40% de arabinosa, y 20 a 25% de galactosa y xilosa. Estas proporciones permiten que el mucílago forme redes que retienen agua, lo que le otorga características como viscosidad, elasticidad y una buena capacidad para gelificar, siendo de interés para varias aplicaciones industriales (Boudjema & Ladouali, 2024).

3.3.3 Descripción morfológica

Opuntia ficus-indica es un arbusto que puede crecer hasta 5 metros de altura, con una estructura leñosa. Sus ramas planas, conocidas como pencas, son ovaladas y de un color verde opaco, con un ancho que varía entre 30 y 50 cm y un grosor de unos 2 cm (Arroyo et al., 2020). Algunas variantes de la planta tienen pequeñas espinas, mientras que otras, a través de un proceso de selección agrícola, no tienen espinas, lo que facilita su cultivo y manejo. Las flores y frutos de la *Opuntia ficus-indica* son de colores vibrantes, incluyendo rojo, naranja y amarillo, lo que no solo le añade valor agrícola, sino también ornamental (Chango, 2023).

Figura 2. *Partes de Opuntia ficus-indica*



Fuente: CABI (2019).

3.4 Marco conceptual

- **Simbiosis:** Relación estrecha y prolongada entre dos organismos de diferentes especies, donde ambos pueden obtener beneficios mutuos (Ferraro et al., 2024).

- **Mutualismo:** Tipo de simbiosis en la que ambas especies involucradas se benefician. En relación a la cochinilla y *Opuntia ficus-indica*, la cochinilla se alimenta y se protege en la planta, mientras que la planta recibe una defensa química indirecta contra depredadores (Ha et al., 2024).

- **Parasitismo:** Relación simbiótica en la que una de las especies se beneficia a expensas de la otra. Este concepto es relevante ya que, si la población de cochinillas no se controla, la relación podría volverse parasitaria y dañar a la planta anfitriona (Rodríguez et al., 2024).

- **Ácido Carmínico:** Compuesto químico producido por la cochinilla que actúa como defensa contra depredadores y es utilizado por los humanos como tinte natural (Ponce-Luna et al., 2023).

- **Ciclo de Vida:** Se refiere a las etapas de desarrollo que atraviesa un organismo desde su nacimiento hasta su producción y muerte. Para la cochinilla, el ciclo de vida está estrechamente vinculado a la

Opuntia, ya que depende de esta planta para su alimentación y desarrollo (Pedraza et al., 2024).

- **Cladodio:** Estructura vegetativa aplanada y ovalada, conocida comúnmente como "penca", que cumple funciones de fotosíntesis y almacenamiento de agua. En el contexto de este estudio, constituye el sustrato biológico esencial donde la cochinilla del carmín se fija, se alimenta de la savia y completa su ciclo de vida, siendo sus características de edad, tamaño y sanidad factores determinantes para la productividad del insecto (Arroyo et al., 2020; Guamán, 2022).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Tipo, alcance y diseño de investigación

La investigación fue aplicada, pues generó conocimiento orientado a la solución de un problema productivo específico mediante la aplicación de sustentos teóricos provenientes de investigaciones básicas (Anguera et al., 2020).

Se definió como descriptiva–comparativa, ya que se describieron y compararon las características de las variables en condiciones reales de campo para comprender su comportamiento (Cortés et al., 2021).

Por ello, el estudio adoptó un diseño no experimental, observacional y de corte transversal, dado que no se manipuló ninguna variable independiente ni se asignaron tratamientos, y las mediciones se realizaron una sola vez sobre grupos existentes en el sistema productivo (Hernández & Mendoza, 2018).

4.2 Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en la Irrigación Copare, distrito de La Yarada Los Palos, provincia y departamento de Tacna, en la costa sur del Perú. Es

una zona de clima árido, por lo que la producción depende del uso de sistemas de riego para el abastecimiento hídrico.

La ubicación geográfica es:

- Latitud sur 18° 3’ 37’’,
- Longitud oeste 70° 17’ 12’’ y
- Altitud 419 msnm.

4.3 Precedentes del área de estudio

El área seleccionada para el presente estudio, al igual que sus zonas colindantes, lleva varios años dedicada al cultivo de *Opuntia ficus-indica* con fines de producción de cochinilla del carmín. El riego se realiza con aguas residuales (también denominadas aguas servidas) procedentes de la ciudad de Tacna, conducidas hacia la zona agrícola. Este recurso hídrico aporta nutrientes disueltos y materia orgánica, lo que tiende a reducir la necesidad de fertilización complementaria y a disminuir la intensidad de labores sobre los cladodios (p. ej., menor frecuencia de abonado y menor reposición de material vegetativo), favoreciendo así la persistencia del sistema nopal–cochinilla y una oferta continua de hospedero para el insecto en condiciones de aridez.

En este contexto, el manejo agronómico se orienta a mantener la funcionalidad del riego, la sanidad básica del cultivo y la oportunidad de

cosecha de cochinilla, priorizando prácticas de bajo insumo acordes con la disponibilidad hídrica de la zona.

4.4 Materiales

Para implementar la producción de cochinilla bajo sombra en tuna (*opuntia ficus*) en diferentes variedades (amarilla y roja), se realizó la obtención del material vegetal y biológico. En primer lugar, la cosecha de los cladodios se da cuando son jóvenes y tiernos, generalmente en primavera o principios de verano, usando cuchillos afilados o machetes para cortar los cladodios limpiamente de la planta, minimizando el daño a la planta madre, asimismo, se seleccionaron plantas sanas, evitando aquellas afectadas por plagas o enfermedades para asegurar la calidad (De Santiago et al., 2021).

Por otro lado, las cochinillas (*Dactylopius coccus*), se adquirieron a través de proveedores especializados que suministran cochinillas criadas y recolectadas bajo condiciones controladas para garantizar su calidad, asimismo, atravesaron un proceso de climatización en un ambiente controlado para asegurar que se adapten adecuadamente a las plantas anfitrionas y optimizar el proceso de inoculación y producción de carmín, para lo cual, se requirieron los siguientes recursos materiales:

4.4.1 Material vegetal y biológico

- Plantas de *Opuntia ficus-indica* (tunas): Específicamente seleccionadas según las variedades amarilla y variedad roja en la zona Copare La Yarada.
- Cochinillas (*Dactylopius coccus*): Individuos utilizados para inocular las plantas y estudiar la producción de carmín obtenidos comercialmente de la empresa Groumond Colorantes.

Además, se empleó malla raschel negra con 50 % de sombreo, instalada sobre una estructura de postes con cables galvanizados, tensores, abrazaderas/grilletes, ojillos de fijación y cuerdas con protección UV para el amarre perimetral y el tensado del paño; el tendido se dispuso orientado N–S, cubriendo los módulos de cultivo establecidos. La uniformidad del sombreo se verificó mediante inspección en campo y registro de incidencias, y se efectuó mantenimiento periódico consistente en reajuste de tensores y sustitución de fijaciones.

4.5 Diseño estadístico

El estudio adoptó un diseño descriptivo no experimental, observacional y comparativo de corte transversal, con dos grupos independientes correspondientes a las variedades de *Opuntia ficus-indica*.

La unidad experimental fue la planta. El muestreo dentro de cada variedad se realizó de forma aleatoria en cada lote o estrato acondicionado.

4.6 Características del área de estudio

El área de estudio estuvo constituida por dos grupos de cultivo independientes, correspondientes a las dos variedades evaluadas. Las zonas se seleccionaron de modo que fueran lo más homogéneas posible en condiciones edáficas y microambientales (suelo, luz y humedad). Para atenuar la variación residual, la selección de plantas y cladodios dentro de cada grupo se realizó de forma aleatoria, de modo que cualquier diferencia de posición se distribuyera aleatoriamente entre los grupos y no introdujera sesgos sistemáticos en las comparaciones.

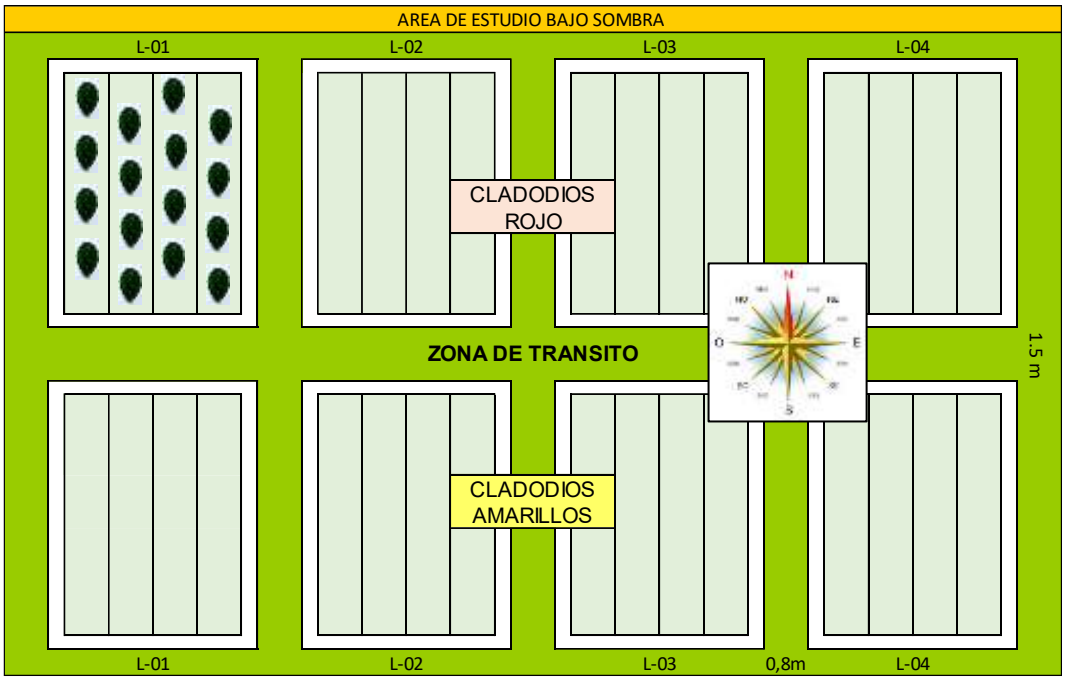
Por ello, el área de estudio estuvo conformada por las siguientes dimensiones en cada grupo:

Grupo 1 y 2:

- Ancho : 6,00 m
- Largo : 7,00 m
- Área : 42 m^2

Los dos grupos individuales correspondientes a cada variedad fueron estratificados en cuatro partes, como una medida práctica que permitió optimizar la comodidad, el manejo y la evaluación de los mismos.

Figura 3. *Croquis del diseño del área de estudio*



4.7 Población

Los cladodios fueron dispuestos con una separación de 5 cm entre sí y organizados en dos grupos dentro de una misma fila, sostenidos en palos horizontales, uno ubicado en la parte superior y otro en la inferior. Cada estrato contó con un total de 40 cladodios, de modo que en cada grupo correspondiente a una variedad se reunieron 160 cladodios. En

conjunto, considerando ambos grupos varietales, la población total fue de 320 cladodios jóvenes. Estos presentaron las características señaladas por Guaman (2022), quien indicó que un cladodio adecuado debía medir aproximadamente 25 cm de ancho, 40 cm de largo, tener una edad comprendida entre 6 meses y un año, y provenir de cortes efectuados en la base de la penca cinco días antes de la infestación.

4.8 muestra

El tamaño de muestra se determinó mediante la fórmula de población finita (Aguilar-Barojas, 2005), considerando un nivel de confianza del 95% (Z=1,96), una proporción esperada de máxima variabilidad (p=0,5) y un error de estimación de 5% (e=0,05). La expresión utilizada fue:

$$n = \frac{N * z^2 * p(1-p)}{e^2(N-1) + z^2 * p(1-p)}$$

Donde:

n = tamaño de muestra requerido

N = tamaño de la población (480)

z = valor de la distribución normal según el nivel de confianza (95% → 1,96)

p = proporción esperada (si no se conoce, se usa 0,5 como “peor caso”)

e = error máximo permitido (en proporción: 0,05 = 5%)

$$n = \frac{320 * (1{,}96)^2 * 0{,}5(1 - 0{,}5)}{(0{,}05)^2(320 - 1) + (1{,}96)^2 * 0{,}5(1 - 0{,}5)}$$

$$n = \frac{320 * 3{,}84 * 0{,}25}{0{,}0025 * (319) + 3{,}84 * 0{,}25}$$

$$n = \frac{307{,}33}{1{,}76} = 174{,}9 \Rightarrow 175$$

De esta manera, la muestra quedó conformada por 175 cladodios a evaluar, distribuidos proporcionalmente en los estratos, correspondiendo 22 unidades a tres de ellos y 21 unidades al restante, para cada variedad estudiada.

4.9 Variables de estudio

4.9.1 Capacidad productiva de Dactylopius coccus

La capacidad productiva se evaluó mediante una escala de grados de infestación que permitió clasificar la densidad de individuos por cladodio en función del número de cochinillas presentes. Esta escala, adaptada de Guamán (2022), comprendió cinco categorías: no infestado (< 35 individuos), ligeramente infestado (36–55), infestado (56–75), muy infestado (76–95) y extremadamente infestado (> 96).

La cuantificación se realizó mediante conteos directos en ambas superficies de cada cladodio, empleando lupas de mano (≈10×) y planillas

de registro estandarizadas. Este procedimiento permitió estimar de forma objetiva la eficiencia productiva de la población inducida en cada tratamiento.

Tabla 3

Grados de infestación de Dactylopius coccus

Grado de infestación	N° de insectos	Interpretación
1	<35	No infestado
2	36 - 55	Ligeramente infestado
3	56 - 75	Infestado
4	76 - 95	Muy infestado
5	> 96	Extremadamente infestado

Fuente: Guamán (2022).

4.9.2 Supervivencia de Dactylopius coccus

La supervivencia y el desarrollo de la cochinilla se determinaron mediante el seguimiento poblacional por estadios de desarrollo en función del tiempo, contabilizando el número de individuos presentes en cada cladodio en las fases de huevo, ninfa I, ninfa II, prepupa, pupa y adulto. El monitoreo se efectuó en cuatro momentos del ciclo biológico: a los 20, 40, 60 y 80 días posteriores a la infestación.

Este procedimiento permitió registrar la fijación inicial, los signos de madurez, la emergencia de adultos y finalmente el pico poblacional de

cosecha, integrando así tanto la tasa de supervivencia como la capacidad de completar el ciclo biológico bajo las condiciones ambientales moduladas por la malla de sombra (Barreda, 2020).

Tabla 4

Supervivencia y desarrollo biológico de la cochinilla del carmín

Día post-infestación	Estado predominante	Variables registradas
20	Ninfa I – Ninfa II	Fijación efectiva
40	Ninfa II – Prepupa	Signos de madurez
60	Pupa – Adulto joven	Estimación de adultos
80	Adulto (cosecha)	Pico poblacional

Fuente: Barreda (2020).

4.10 Metodología aplicada

4.10.1 Manejo de la producción de cochinilla

La cría de *Dactylopius coccus* se llevó a cabo empleando la técnica de Nopaloteca, que consiste en utilizar cladodios de tuna (*Opuntia spp*.) como sustrato biológico. Para ello, los cladodios se dispusieron en posición invertida sobre tendederos metálicos, organizados en tres a cuatro estratos, con densidad ajustada según el tratamiento experimental. La disposición consideró dos niveles de altura (1,5 y 2,0 m), separados por un pasillo central que facilitó la aireación y el manejo (Zacarías et al., 2020). Este

sistema optimiza el espacio disponible, promueve una distribución uniforme de los insectos y reduce la incidencia de patógenos asociados a hacinamiento.

4.10.2 Selección y preparación del material vegetal

Los cladodios utilizados presentaron una edad de 6 a 12 meses, con dimensiones promedio de 25 cm de ancho por 40 cm de largo, sanos y libres de daños mecánicos o fitopatológicos. Antes de la infestación, se sometieron a un proceso de desinfección superficial con una solución de hipoclorito de sodio al 1%, seguido de enjuague con agua destilada y secado a la sombra, a fin de eliminar posibles contaminantes externos.

4.10.3 Procedimiento de infestación

La infestación inicia con la utilización de nidos artificiales preparados con papel de filtro estéril que contenía diez hembras grávidas en condiciones óptimas, criadas previamente en laboratorio bajo un sistema de cultivo in vitro (Roque, 2021). Los cladodios sanos fueron dispuestos horizontalmente sobre camas de infestación y sobre ellos se colocaron cladodios infestados en posición pendiente, favoreciendo la migración de ninfas hacia los cladodios receptores. Posteriormente, los cladodios se giraron para lograr una colonización homogénea en ambas superficies. El

proceso de infestación tuvo una duración de 2 a 4 días, periodo suficiente para garantizar una distribución uniforme.

4.10.4 Crianza en plataformas de crianza

Una vez infestados, los cladodios se suspendieron dentro de las plataformas, donde las cochinillas completaron su ciclo biológico en un intervalo de 75 a 80 días, hasta alcanzar la fase adulta y acumular ácido carmínico en su cuerpo (Arroyo et al., 2020). Durante este periodo se realizaron monitoreos semanales, registrando parámetros ambientales (temperatura y humedad relativa), así como observaciones del estado sanitario de los cladodios y del avance poblacional de los insectos.

4.10.5 Manejo de microclima (implementación de sombra)

Con el objetivo de reducir la mortalidad inicial de las ninfas, se instalaron mallas Rashel inmediatamente después de la infestación artificial, las cuales permanecieron durante todo el estudio. Esta práctica permitió mitigar el efecto de la radiación solar directa, la deshidratación y el estrés térmico, principales factores limitantes en la supervivencia temprana de la cochinilla (Barreda, 2020). Además, se controló la ventilación para prevenir el desarrollo de hongos oportunistas.

4.10.6 Control de plagas y enfermedades

Durante la crianza de la cochinilla del carmín se aplicaron prácticas de manejo integrado de plagas y enfermedades, basadas en la inspección periódica de los cladodios jóvenes para la detección temprana de infestaciones secundarias por ácaros, pulgones y patógenos fúngicos.

Los cladodios infestados fueron retirados de manera inmediata y selectiva y eliminados conforme a protocolos de bioseguridad, complementándose con la higiene del área de crianza, control de la humedad y eliminación de restos vegetales, a fin de prevenir la propagación y reinfestación durante el periodo de observación.

4.10.7 Clasificación y evaluación del grado de infestación

La densidad poblacional de *D. coccus* en cada cladodio se evaluó mediante una escala de grados de infestación: “no infestado” (< 35 individuos), “ligeramente infestado” (36–55), “infestado” (56–75), “muy infestado” (76–95) y “extremadamente infestado” (> 96 individuos). Este método permitió establecer comparaciones objetivas entre tratamientos y niveles de altura, asegurando criterios cuantitativos de evaluación.

4.10.8 Monitoreo por estadios y dinámica poblacional

La dinámica poblacional por estadio se cuantificó mediante conteo directo del número de individuos presentes en ambas superficies de cada

cladodio, registrando tanto la supervivencia como la producción efectiva de la población inducida. La clasificación consideró los estadios de desarrollo: huevo, ninfa I, ninfa II, prepupa, pupa y adulto. El monitoreo periódico se efectuó a los 20, 40, 60 y 80 días posteriores a la infestación, con el propósito de capturar los cambios poblacionales asociados al progreso biológico y a las condiciones microambientales moduladas por la malla rashel. Para asegurar la comparabilidad de las mediciones, se estandarizaron el horario de evaluación (primeras horas de la mañana), el evaluador, el área observada (ambas caras del cladodio y bordes), y se utilizaron lupas de mano (≈10×), planillas codificadas e imágenes de referencia para control de calidad y verificación de conteos.

4.10.9 Consideraciones adicionales de manejo

Para mantener la homogeneidad experimental, los cladodios fueron reemplazados de manera periódica cuando mostraron signos de deshidratación excesiva o pérdida de turgencia. Asimismo, se evitó el contacto directo con el suelo y se garantizó una adecuada rotación de material vegetal, lo que favoreció la continuidad del ciclo biológico de la cochinilla y la confiabilidad de las observaciones.

4.11 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la capacidad productiva (grados de infestación) y de la supervivencia de *Dactylopius coccus* en las dos variedades de Opuntia ficus-indica (amarilla y roja) fueron organizados en matrices y analizados mediante estadística descriptiva (media, desviación estándar).

Para la comparación entre variedades en cada variable se aplicó la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U.

Asimismo, para evaluar el efecto combinado de la variedad y el tiempo de evaluación (20, 40, 60 y 80 días) sobre la supervivencia de la cochinilla, se utilizó la prueba no paramétrica de Friedman con comparaciones post-hoc de Wilcoxon.

El nivel de significancia considerado fue $p < 0,05$. El procesamiento de los datos se realizó con SPSS (versión 25).

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Resultados

5.1.1 Capacidad productiva

Considerando el primer objetivo del estudio, orientado a determinar la capacidad productiva de la cochinilla (*Dactylopius coccus*) bajo condiciones de sombra en el sistema de irrigación Copare, se presentan a continuación los principales hallazgos, los cuales son posteriormente analizados y detallados mediante procedimientos estadísticos.

La infestación inicial se realizó mediante la colocación de hembras grávidas sobre nidos de papel filtro estéril, lo cual permitió evaluar la capacidad productiva de *Dactylopius coccus* en condiciones controladas de sombra. En la variedad roja, los conteos iniciales oscilaron entre 303 y 386 individuos recién eclosionados, mientras que en la variedad amarilla se registraron valores superiores, fluctuando entre 310 y 444 individuos. Estos resultados iniciales reflejan que ambas variedades permiten una adecuada eclosión de ninfas, aunque la variedad amarilla mostró un potencial productivo mayor desde el inicio del ciclo biológico. Con el avance del tiempo, el número de individuos se redujo paulatinamente, alcanzando en el día 80 valores promedio de 21 individuos en la variedad roja y 60 en la

amarilla. Este patrón descendente es consistente con la dinámica natural de los insectos en condiciones de cría controlada, donde la mortalidad aumenta conforme avanzan los estadios de desarrollo.

Tabla 5

Promedios de la capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variades de tuna en condición de sombra, Copare, Tacna-2024

Variedad	Estrato	Producción (individuos)				
		Día 4 Infesta.	Día 20 Ninfa I	Día 40 Ninfa II	Día 60 Pupa	Día 80 Adulto
Roja	1	386	228	121	56	23
	2	303	181	97	46	19
	3	346	206	109	51	21
	4	341	202	107	50	20
Amarillo	1	444	307	198	118	65
	2	397	285	190	118	67
	3	310	219	144	88	49
	4	347	250	167	104	59

La supervivencia de *D. coccus* evaluada desde el estadio de Infestación hasta la fase adulta mostró un descenso progresivo, con patrones diferenciados entre las variedades de tuna. Los valores globales indicaron una reducción desde una media inicial de 379,97 individuos en el momento de la infestación (DE = 143,87) hasta un promedio de 44,15 adultos (DE = 28,88). Esta disminución refleja el impacto acumulado de la mortalidad natural y de las condiciones morfológicas y fisiológicas de la

planta hospedera, que determinan la capacidad de fijación y alimentación de las ninfas. En términos productivos, los conteos finales revelaron que la población adulta se compuso, en promedio, de 28,77 hembras y 15,47 machos, lo cual resalta la importancia de la hembra como principal agente de producción de pigmento (carmín).

La prueba de Kolmogorov–Smirnov mostró que la normalidad se cumplió parcialmente en las primeras fases (Infestación, Ninfa I y Ninfa II; $p > 0,05$), pero fue rechazada en Pupa, Adulto, Hembras y Machos ($p = 0,000$), lo cual confirma que los procesos de mortalidad y variabilidad poblacional no siguen un patrón simétrico ni normal en las últimas fases. En consecuencia, las pruebas no paramétricas resultaron adecuadas para evaluar las diferencias entre variedades.

El análisis comparativo por Mann–Whitney reveló que no hubo diferencias significativas en la etapa inicial de infestación ($p = 0,271$), lo que indica que ambas variedades permitieron una eclosión similar de ninfas. Sin embargo, a partir de Ninfa I las diferencias fueron estadísticamente significativas ($p = 0,000$ en todos los casos), con tamaños de efecto crecientes: $r = 0,29$ en Ninfa I (magnitud moderada), $r = 0,49$ en Ninfa II (magnitud grande), $r = 0,66$ en Pupa (muy grande), y $r \approx 0,76$ en Adulto, Hembras y Machos (muy grande). Esto confirma que la variedad amarilla

sostuvo una mayor proporción de individuos vivos en todas las fases posteriores, en comparación con la variedad roja.

El análisis global de Friedman ($\chi^2 = 700$; gl = 4; p = 0,000; W = 1,00) mostró diferencias significativas entre los distintos momentos del ciclo biológico, evidenciando que la disminución de individuos no es uniforme, sino que responde a un patrón progresivo marcado. La prueba de Wilcoxon corroboró estas diferencias, con valores de Z = –11,473 y significancia en todas las comparaciones por pares (p = 0,000), lo que demuestra que cada transición biológica (Infestación → Ninfa I → Ninfa II → Pupa → Adulto) implica una reducción estadísticamente significativa en la capacidad productiva.

En la cosecha final (día 80), se observó un marcado contraste entre las variedades. En la variedad roja, las unidades experimentales presentaron entre 19 y 23 individuos por cladodio, lo que, según la escala de infestación, corresponde al grado 1 (no infestado), es decir, un nivel muy bajo de colonización que limita la viabilidad productiva. En cuanto a la distribución sexual, la producción final mostró entre 12 y 15 hembras y 7 a 8 machos, cifras insuficientes para sostener un ciclo productivo continuo y mucho menos para alcanzar niveles económicamente rentables de producción de carmín.

Tabla 6

Promedio de las cosechas en base al pico poblacional del ciclo productivo de Dactylopius coccus en condición de sombra en dos variedades de tuna, Copare, Tacna – 2024

Variedad	Estrato	Cladodio	Cosecha	Grado de infestación	Producción		Peso fresco (g)
					Hembras	Machos	
Roja	1	Unid.	23	1	15	8	7,34
	2	Unid.	19	1	12	7	6,06
	3	Unid.	21	1	13	7	6,38
	4	Unid.	20	1	13	7	6,38
Amarillo	1	Unid.	65	3	42	23	20,74
	2	Unid.	67	3	44	23	21,37
	3	Unid.	49	2	32	17	15,63
	4	Unid.	59	3	39	21	19,14

Bajo sombra, la variedad amarilla presentó 49–67 individuos/cladodio (grados 2–3), con pesos frescos de 15,63–21,37 g; promedio 19,22 ± 2,23 g/cladodio, ≈0,320 g por individuo. La distribución sexual (32–44 hembras; 17–23 machos) favoreció la continuidad poblacional y un mayor potencial de carmín, al depender la productividad del número de hembras. En comparación, la variedad roja registró 19–23 individuos/cladodio (grado 1), con 6,06–7,34 g; promedio 6,54 ± 0,48 g/cladodio, ≈0,315 g por individuo. La proporción de hembras fue similar

(~64–66%); por ello, la mayor producción fresca en amarilla obedece a la mayor densidad, no al tamaño del insecto observado.

5.1.1.1 Análisis estadísticos

Tabla 7

Capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Infestación	175	110,00	740,00	379,97	143,87
Ninfa I	175	61,00	513,00	250,40	99,71
Ninfa II	175	30,00	362,00	152,41	68,40
Pupa	175	12,00	237,00	85,60	45,81
Adulto	175	4,00	143,00	44,15	28,88
Hembras	175	3,00	93,00	28,77	18,74
Machos	175	2,00	50,00	15,47	10,04

En la tabla 7, la capacidad productiva de *Dactylopius coccus* mostró un descenso marcado a lo largo del ciclo biológico. En la fase de infestación inicial la media fue 379,97 individuos (rango 110–740; DE 143,87). Posteriormente, en Ninfa I se registró 250,40 (61–513; DE 99,71) y en Ninfa II 152,41 (30–362; DE 68,40). En la etapa de Pupa el promedio disminuyó a 85,60 (12–237; DE 45,81). Finalmente, en Adulto la media alcanzó 44,15

(4–143; DE 28,88), diferenciándose en hembras con 28,77 (3–93; DE 18,74) y machos con 15,47 (2–50; DE 10,04)

Tabla 8

Prueba de normalidad de capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024

	Kolmogorov-Smirnov[a]		
	Estadístico	gl	Sig.
Infestación	0,043	175	0,200*
Ninfa I	0,046	175	0,200*
Ninfa II	0,063	175	0,091
Pupa	0,098	175	0,000
Adulto	0,127	175	0,000
Hembras	0,128	175	0,000
Machos	0,128	175	0,000

En la tabla 8, la prueba de Kolmogorov–Smirnov aplicada a la capacidad productiva de *Dactylopius coccus* en dos variedades de tuna mostró que, en la etapa de infestación (D = 0,043; p = 0,200) y en Ninfa I (D = 0,046; p = 0,200), los datos no difirieron de la normalidad. En Ninfa II (D = 0,063; p = 0,091) también se aceptó la hipótesis de normalidad. En contraste, en Pupa (D = 0,098; p = 0,000), Adulto (D = 0,127; p = 0,000), Hembras (D = 0,128; p = 0,000) y Machos (D = 0,128; p = 0,000) se rechazó normalidad, indicando distribuciones no normales

Tabla 9

Prueba estadística no paramétrica de Mann–Whitney U de la capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024

	Infest.	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto	Hembra	Macho
U de Mann-Whitney	3 459,50	2 535,50	1 641,50	901,00	440,00	442,50	429,00
W de Wilcoxon	7 287,50	6 363,50	5 469,50	4 729,00	4 268,00	4 270,50	4 257,00
Z	-1,100	-3,86	-6,53	-8,74	-10,11	-10,11	-10,15
Sig. Asintótica (bilateral)	0,271	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

En la tabla 9, la prueba de Mann–Whitney U para la capacidad productiva de *Dactylopius coccus* mostró ausencia de diferencias en la etapa de infestación (U = 3 459,50; Z = –1,100; p = 0,271), indicando similitud entre variedades en este inicio. Desde Ninfa I (U = 2535,50; Z = –3,86; p = 0,000) y Ninfa II (U = 1 641,50; Z = –6,53; p = 0,000), las diferencias fueron altamente significativas. En Pupa también se observaron contrastes (U = 901,00; Z = –8,74; p = 0,000). Finalmente, en el estadio Adulto se confirmó significancia (U = 440,00; Z = –10,11; p = 0,000), tanto en hembras (U = 442,50) como en machos (U = 429,00), con p = 0,000 en ambos casos

Tabla 10

Prueba de Friedman para el efecto combinado de la variedad y el tiempo de evaluación de la capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024

N	175
Chi-cuadrado	700,00
gl	4
Sig. asintótica	0,000

En la tabla 10, la prueba no paramétrica de Friedman aplicada a la capacidad productiva de *Dactylopius coccus* en dos variedades de *Opuntia ficus-indica* reveló un valor de Chi-cuadrado = 700,00 con gl = 4 y n = 175. El nivel de significancia fue p = 0,000, lo que indica diferencias altamente significativas en la distribución de rangos entre los cinco momentos de evaluación considerados. Este resultado refleja que el número de insectos varió de manera consistente a lo largo de los estadios biológicos y entre variedades, justificando el análisis comparativo mediante métodos no paramétricos.

Tabla 11

Prueba de rangos no paramétrica de Wilcoxon para el efecto combinado de la variedad y el tiempo de evaluación de la capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024

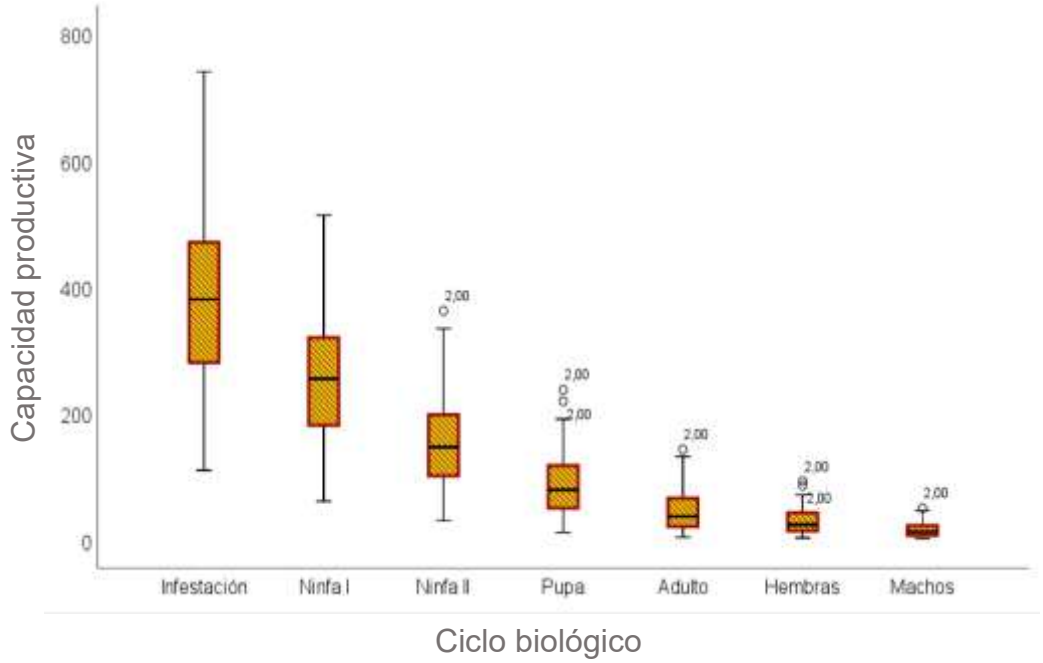
	Ninfa I - Infestación	Ninfa II - Infestación	Pupa - Infestación	Adulto - Infestación	Ninfa II - Ninfa I
Z	-11,473[b]	-11,473[b]	-11,473[b]	-11,473[b]	-11,473[b]
Sig. asintótica(bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Pupa - Ninfa I	Adulto - Ninfa I	Pupa - Ninfa II	Adulto - Ninfa II	Adulto - Pupa
Z	-11,473[b]	-11,473[b]	-11,473[b]	-11,473[b]	-11,473[b]
Sig. asintótica(bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

b. Se basa en rangos positivos.

En la tabla 11, la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon aplicada a la capacidad productiva de *Dactylopius coccus* en dos variedades de *Opuntia ficus-indica* mostró resultados uniformes y altamente significativos en todas las comparaciones realizadas. Los estadísticos de contraste fueron Z = –11,473 con un nivel de significancia bilateral de p = 0,000 en cada caso. Esto se observó tanto en las

transiciones iniciales, como Ninfa I–Infestación, Ninfa II–Infestación, Pupa–Infestación y Adulto–Infestación, como en las comparaciones intermedias y finales: Ninfa II–Ninfa I, Pupa–Ninfa I, Adulto–Ninfa I, Pupa–Ninfa II, Adulto–Ninfa II y Adulto–Pupa. Los valores indican que en todos los estadios evaluados la capacidad productiva presentó variaciones estadísticamente significativas entre momentos de análisis

Figura 4. *Diagrama de caja de la capacidad productiva de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024*



En la figura 4, el diagrama de cajas de la capacidad productiva de *Dactylopius coccus* muestra un descenso progresivo en la cantidad de

individuos conforme avanza el ciclo biológico. En infestación, la mediana supera los 370 individuos, con un rango amplio de 110 a más de 700. En Ninfa I, la mediana ronda 250, mientras que en Ninfa II se aproxima a 150, evidenciando reducción notable. En Pupa, la mediana se ubica cerca de 85 y en Adulto alrededor de 45. La desagregación final muestra hembras con valores centrales cercanos a 30 y machos alrededor de 15, reflejando el menor número de individuos en los estadios adultos

5.1.2 Supervivencia (%)

La supervivencia porcentual de *Dactylopius coccus* evidencia un patrón de descenso progresivo en ambas variedades conforme avanza el ciclo biológico, aunque con magnitudes distintas. En la variedad roja, los valores iniciales fluctúan entre 58,20 % y 60,35 % al día 20, disminuyendo hasta 38,70 %–40,85 % al día 80. En contraste, la variedad amarilla inicia con niveles superiores, de 69,40 % a 72,00 %, y mantiene al día 80 porcentajes entre 54,40 % y 57,00 %. Esta diferencia sostenida de aproximadamente 15–17 puntos porcentuales confirman un mejor desempeño en la supervivencia de la variedad amarilla a lo largo de todo el ciclo.

Tabla 12

Promedios de supervivencia de Dactylopius coccus en dos variades de tuna en condición de sombra, Copare, Tacna-2024

Variedad	Estrato	Supervivencia (%)			
		Día 20	Día 40	Día 60	Día 80
Roja	1	58,20	51,70	45,20	38,70
	2	59,10	52,60	46,10	39,60
	3	59,10	52,60	46,10	39,60
	4	60,35	53,85	47,35	40,850
Amarillo	1	69,40	64,40	59,40	54,40
	2	71,80	66,80	61,80	56,80
	3	70,60	65,60	60,60	55,60
	4	72,00	67,00	62,00	57,00
Promedio		65,07	59,32	53,57	47,82

Los análisis estadísticos descriptivos globales revelaron medias de 65,07 individuos en el estadio de Ninfa I, 59,32 en Ninfa II, 53,57 en Pupa y 47,82 en Adulto. Las desviaciones estándar, que oscilaron entre 6,59 y 8,72, evidencian la variabilidad inherente a cada etapa, pero confirman una reducción progresiva en la supervivencia del insecto. La prueba de

normalidad de Kolmogorov–Smirnov demostró que los datos no siguen una distribución normal en ninguno de los estadios evaluados ($p < 0,05$), lo cual justifica la aplicación de pruebas estadísticas no paramétricas en los análisis comparativos entre variedades y etapas de desarrollo.

El contraste entre variedades realizado mediante la prueba de Mann–Whitney arrojó diferencias significativas en todos los estadios a partir de Ninfa I ($p = 0,000$), con valores de Z que oscilaron entre –3,86 y –10,15, lo cual indica una divergencia marcada en la capacidad de las variedades para sostener el ciclo biológico de la cochinilla. El tamaño de efecto calculado ($r \approx 0,86$ en promedio) corresponde a una magnitud grande, lo que significa que la influencia de la variedad amarilla hospedera en la supervivencia de D. coccus es estadísticamente muy relevante.

Finalmente, el análisis de Friedman ($\chi^2 = 525$; $gl = 3$; $p = 0,000$; $W = 1,00$) evidenció diferencias significativas entre los distintos estadios del ciclo biológico, confirmando que la población disminuye sistemáticamente conforme avanza el tiempo. Estas diferencias fueron corroboradas mediante la prueba de Wilcoxon, que indicó significancia en todas las comparaciones por pares ($p = 0,000$). En conjunto, estos resultados demuestran que, aunque ambas variedades permiten el establecimiento inicial de la cochinilla, la variedad amarilla es más favorable para sostener la supervivencia y el desarrollo de este insecto.

5.1.2.1 Análisis estadísticos

Tabla 13

Supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Ninfa I	175	55,10	75,60	65,36	6,59
Ninfa II	175	48,60	70,60	59,62	7,30
Pupa	175	42,10	65,60	53,87	8,00
Adulto	175	35,60	60,60	48,12	8,72

En la tabla 13, el análisis descriptivo de supervivencia de *Dactylopius coccus* en condiciones de sombra indicó un comportamiento decreciente a lo largo de su desarrollo. En Ninfa I se observó una media de 65,36 individuos (rango 55,10–75,60; DE 6,59), mientras que en Ninfa II descendió a 59,62 (48,60–70,60; DE 7,30). En el estadio de Pupa la media alcanzó 53,87 (42,10–65,60; DE 8,00) y en Adulto fue 48,12 (35,60–60,60; DE 8,72). Estos valores reflejan una reducción porcentual sostenida en el número promedio de individuos conforme avanzaron los estadios biológicos.

Tabla 14

Prueba de normalidad de supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Ninfa I	0,154	175	0,000
Ninfa II	0,164	175	0,000
Pupa	0,172	175	0,000
Adulto	0,180	175	0,000

En la tabla 14, la prueba de Kolmogorov–Smirnov mostró valores significativos (p = 0,000) en todos los estadios: Ninfa I (D = 0,154), Ninfa II (D = 0,164), Pupa (D = 0,172) y Adulto (D = 0,180), con n = 175 en cada caso. Estos resultados indican que la distribución de los datos no se ajusta a la normalidad en ninguno de los estadios analizados, justificando la aplicación de pruebas estadísticas no paramétricas en el análisis comparativo de la supervivencia.

Tabla 15

Prueba estadística no paramétrica de Mann–Whitney U para supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024

	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto
U de Mann-Whitney	0,000	0,000	0,000	0,000
W de Wilcoxon	3 828,00	3 828,00	3 828,00	3 828,00
Z	-11,424	-11,424	-11,424	-11,424
Sig. asintótica(bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000

a. Variable de agrupación: (Rojas y Amarillas)

En la tabla 15, la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U, aplicada a la supervivencia de *Dactylopius coccus* en dos variedades de *Opuntia ficus-indica*, evidenció diferencias altamente significativas en todos los estadios evaluados. En Ninfa I, Ninfa II, Pupa y Adulto se obtuvo un valor de U = 0,000, W = 3 828,00, Z = –11,424 y un nivel de significancia bilateral de p = 0,000 (n = 175). Estos resultados demuestran que las distribuciones de los datos difieren entre ambas variedades en cada fase del ciclo biológico, sin que los conjuntos de datos se solapen de manera estadísticamente relevante. El hallazgo justifica el empleo de pruebas no

paramétricas y refleja una clara separación entre los grupos varietales, manteniendo la robustez metodológica del análisis.

Tabla 16

Prueba de Friedman para el efecto combinado de la variedad y el tiempo de evaluación de la supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024

N	175
Chi-cuadrado	525,00
gl	3
Sig. asintótica	0,000

En la tabla 16, la prueba de Friedman, aplicada para evaluar el efecto combinado de la variedad y el tiempo sobre la supervivencia de *Dactylopius coccus*, mostró un valor de Chi-cuadrado = 525,00 con gl = 3 y n = 175. El nivel de significancia fue p = 0,000, lo que evidencia diferencias altamente significativas en la distribución de los rangos entre los cuatro momentos evaluados. Estos resultados indican que el patrón productivo varía de manera consistente en la supervivencia según el estadio y la variedad considerada.

Tabla 17

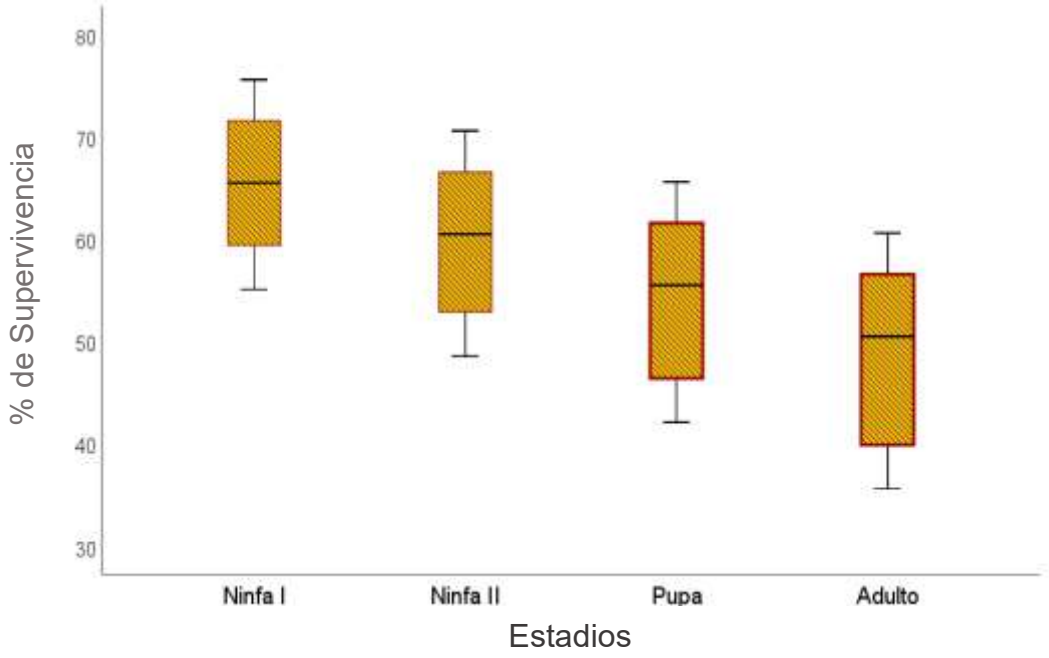
Prueba de rangos no paramétrica de Wilcoxon para el efecto combinado de la variedad y el tiempo de evaluación de la supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024

	Ninfa II - Ninfa I	Pupa - Ninfa I	Adulto - Ninfa I	Pupa - Ninfa II	Adulto - Ninfa II	Adulto - Pupa
Z	-11,826[b]	-11,846[b]	-11,846[b]	-11,826[b]	-11,826[b]	-11,846[b]
Sig. asintótica(bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

b. Se basa en rangos positivos.

En la tabla 17, la prueba de Wilcoxon para la supervivencia de *Dactylopius coccus* mostró diferencias significativas en todos los contrastes de estadios. Los valores de Z fueron –11,826 (Ninfa II–Ninfa I, Pupa–Ninfa II, Adulto–Ninfa II) y –11,846 (Pupa–Ninfa I, Adulto–Ninfa I, Adulto–Pupa), con p = 0,000 en cada caso y n = 175. Esto indica que las medianas difieren de manera consistente entre cada transición del ciclo biológico, reflejando cambios estadísticamente relevantes en la supervivencia en cada estadio evaluado.

Figura 5. *Diagrama de caja de supervivencia de Dactylopius coccus en dos variedades de tuna en condición de sombra, Tacna – 2024*



En la figura 5, el diagrama de cajas ilustra la distribución de la supervivencia en los cuatro estadios de *Dactylopius coccus*. En Ninfa I, la mediana se ubica cerca de 66, con valores entre ≈55 y 75. En Ninfa II la mediana ronda 60, con dispersión de 50 a 70. En Pupa, la mediana desciende a ≈55, con rango de 42 a 65. Finalmente, en Adulto la mediana baja a 50, con amplitud de 36 a 60. El gráfico confirma una disminución progresiva entre estadios.

5.1.3 Síntesis integrada de resultados

Los resultados permiten establecer de manera clara que la producción y supervivencia de D. coccus presentan un patrón descendente en el tiempo, común a ambas variedades de Opuntia ficus-indica. Sin embargo, la magnitud de esa disminución y la capacidad de sostener la población difieren de manera significativa entre las variedades evaluadas. La variedad roja se caracteriza por un rápido descenso de individuos y un bajo nivel de infestación final, mientras que la variedad amarilla mantiene poblaciones más estables y abundantes, logrando grados de infestación económicamente viables.

Desde el punto de vista estadístico, los análisis de Mann–Whitney evidenciaron que las diferencias entre variedades se manifiestan desde la etapa de Ninfa I y se incrementan en magnitud en los estadios posteriores. El análisis de Friedman y Wilcoxon demostró que cada transición entre estadios implica una reducción significativa en la supervivencia, lo cual confirma el efecto del tiempo en la dinámica poblacional.

En conjunto, los hallazgos permiten afirmar que la variedad amarilla constituye un hospedero superior para la cría de D. coccus bajo sombra en el sistema de irrigación de Copare, Tacna, tanto en términos de supervivencia como de producción final. Estos resultados tienen

implicancias prácticas en el manejo productivo de la cochinilla, ya que sugieren que la selección de variedades de tuna es un factor determinante en la optimización de la producción del insecto y, en consecuencia, del carmín como producto de valor económico.

5.2 Discusiones

Diversos estudios en Perú, Ecuador y México han evaluado la influencia de factores técnicos y agronómicos en la producción, supervivencia y productividad de la cochinilla. Sin embargo, la integración de estos resultados en condiciones de semiaridez y bajo sombra, como ocurre en la irrigación Copare (Tacna), sigue siendo limitada. El presente estudio aporta evidencia en ese contexto, resaltando la importancia de la variedad hospedera en el ciclo biológico de Dactylopius coccus.

5.2.1 Ciclo biológico y dinámica poblacional

Los resultados muestran que la variedad amarilla mantuvo valores promedio de 307, 190, 118 y 67 individuos en ninfa I, ninfa II, pupa y adulto, respectivamente, mientras que la roja registró 228, 109, 51 y 23. Estas cifras superan los rangos biológicos esperados (5–80 ninfas/hembra), lo que indica una mayor fecundidad y retención poblacional en la variedad amarilla. De esta forma, el ciclo biológico se expresó de manera más completa en esta variedad: desde la infestación inicial, pasando por la

transición ninfa I → ninfa II → pupa → adulto, hasta alcanzar un número significativamente mayor de individuos maduros.

Este comportamiento concuerda parcialmente con lo reportado por Álvarez et al. (2023), quienes señalaron que la infestación con 20 hembras por cladodio y el uso de pencas infestadas maximizan la producción hasta los 80 días. En Copare, aun con una densidad inicial de 10 hembras grávidas, se alcanzaron 65–67 adultos, lo que sugiere que la calidad del hospedante —particularmente la variedad amarilla— compensa la menor densidad inicial. Este hallazgo contrasta con Roque (2021) y Fils (2024), donde la densidad y el sistema fueron los factores primarios, mostrando que bajo sombra la variedad amarilla potencia la producción sin necesidad de recurrir a densidades extremas (≥ 4 000 ninfas).

5.2.2 Producción y comparación temporal

En la variedad roja, la producción diaria promedio según los registros puesto en el anexo fue de 58,82 unidades al día 20, disminuyendo a 52,32 al día 40, con una reducción absoluta de 6,50 unidades ($p = 0,000$). En la variedad amarilla, la producción pasó de 70,60 a 65,60 en el mismo período, con una disminución de 5,00 unidades ($p = 0,000$). Aunque ambas variedades presentaron una caída significativa, la reducción relativa fue mayor en la roja (11%) que en la amarilla (7%). Esto confirma que la

recolección temprana, cercana al día 20, maximiza el rendimiento, y que la variedad amarilla mantiene ventajas consistentes frente a la roja.

5.2.3 Supervivencia y estabilidad poblacional

La tasa de supervivencia también reflejó una diferencia marcada entre variedades. En la roja, disminuyó de 58,8% al día 20 a 39,3% al día 80, mientras que en la amarilla pasó de 70,6% a 55,6% en el mismo lapso, con un diferencial favorable de 16 puntos porcentuales. Esto muestra que la variedad amarilla no solo incrementa la producción, sino que también prolonga la supervivencia del insecto.

Este patrón coincide con lo descrito por Gebreziher et al. (2025), quienes detallan que la mortalidad es más alta en las primeras semanas post-fijación, y que el ciclo de vida de D. coccus dura aproximadamente 75 días. En Copare, la variedad amarilla mantuvo la supervivencia relativamente alta hasta el día 80, lo cual refuerza su valor como hospedero. De igual modo, Arroyo et al. (2020) reportaron supervivencias de más de cuatro meses en cladodios sin pérdida significativa de carmín, congruente con la estabilidad aquí observada.

5.2.4 Factores varietales y bioquímicos

La mayor eficiencia de la variedad amarilla podría deberse a características nutricionales y morfoanatómicas favorables. Barreda (2020)

y Zacarías et al. (2021) coinciden en que esta variedad es un hospedero óptimo para la cochinilla por su dulzura, tolerancia y potencial de calidad. En contraste, la variedad roja mostró limitaciones atribuibles a su fisiología: Berhe et al. (2022, 2023) reportaron que el cultivar rojo pelón presenta alta resistencia natural debido a la abundancia de cristales de oxalato de calcio, que dificultan la alimentación y el desarrollo del insecto. Estos hallazgos explican la baja transición de ninfa I a ninfa II y las reducciones observadas en la población adulta en Copare.

5.2.5 Condiciones ambientales y efecto de la sombra

El cultivo bajo malla sombra (50–60%) reduce la fotosíntesis y vigor de las cactáceas (Aguilera et al., 2005; Guamán, 2022). Aunque esta limitación podría afectar negativamente la nutrición de la cochinilla, en la variedad amarilla la supervivencia se mantuvo más alta que en la roja, lo cual sugiere una mayor tolerancia a ambientes de menor radiación. Esto concuerda con Méndez et al. (2010) y Roque (2021), quienes bajo luz plena registraron supervivencias inferiores al 30% después de 40–45 días, lo que revela que la sombra, pese a reducir vigor, ofrece un efecto protector indirecto frente a estrés térmico y pérdida de cladodios.

5.2.6 Producción, biomasa y eficiencia

En el ensayo local, la variedad amarilla alcanzó promedios de 65–67 individuos por cladodio (grados 2-3 de infestación), con proporción sexual de 42–44 hembras y 17–23 machos. En contraste, la roja alcanzó solo 19–23 individuos, con menor proporción de hembras (12–15). Estos resultados confirman lo observado por Condori & Molina (2020), quienes reportaron que la calidad varietal determina el éxito productivo, y complementan lo descrito por Fils (2024), donde fueron necesarias densidades altas (4 000 ninfas) para alcanzar apenas 12,89 g por cladodio. En Copare, con solo 10 hembras iniciales, la variedad amarilla logró triplicar el número de adultos respecto a la roja, reflejando una notable eficiencia productiva y de conversión a biomasa.

5.2.7 Implicancias productivas y sostenibilidad

Los hallazgos tienen importantes implicancias prácticas. A nivel empresarial, la incorporación de variedades superiores como la amarilla permite acortar tiempos de producción y reducir costos, semejante a las mejoras de eficiencia reportadas por Barreda (2020) en procesos organizacionales (incrementos hasta de 56,7%). Bajo la óptica de sostenibilidad, Anculle (2019) clasifica las fincas según su resiliencia biológica y económica, destacando que la alta supervivencia de la variedad

amarilla bajo sombra representa un modelo viable para sistemas intensivos semiáridos: rentables, estables y con menor variabilidad estacional. Esta estrategia, además, se alinea con principios de economía circular y finanzas verdes, favoreciendo una producción de cochinilla más sustentable y competitiva.

CONCLUSIONES

Los resultados de dos variedades de Opuntia ficus-indica bajo sombra en Copare (Tacna) confirma que la variedad amarilla es hospedero superior de *Dactylopius coccus*, registrando mayor producción en todas las fases del ciclo biológico y supervivencia más alta que la roja, garantizando poblaciones estables y productivas para obtener carmín.

En la variedad amarilla se alcanzaron promedios productivos de 307 individuos en ninfa I, 190 en ninfa II, 118 en pupa y 67 en adulto, mientras que en la variedad roja los valores fueron de 228, 109, 51 y 23, respectivamente. Además, la proporción sexual fue de 42–44 hembras y 17–23 machos con pesos de 15,63 – 21,37g de peso en la amarilla, frente a 12–15 hembras y 7–8 machos con 6,06 – 7,34g en la roja, confirmando la superioridad productiva de la variedad amarilla en condiciones de sombra.

En la variedad roja la supervivencia de *D. coccus* descendió de 58,82 % al día 20 a 39,30 % al día 80, con una pérdida de 19,52 puntos porcentuales. En la variedad amarilla, la supervivencia pasó de 70,60 % al día 20 a 55,60 % al día 80, con una pérdida de 15,00 puntos porcentuales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda desarrollar investigaciones que evalúen el impacto de la nutrición del hospedero (fertilización orgánica y mineral) sobre la producción y supervivencia de *Dactylopius coccus*, para identificar qué prácticas de manejo del suelo potencian la calidad de la cochinilla.

Se recomienda experimentar con diferentes niveles de sombra (30 %, 50 %, 70 %) y contrastarlos con condiciones de luz plena, con el fin de determinar el umbral óptimo que maximice tanto la supervivencia como la productividad del insecto.

Se recomienda ampliar los estudios a otras variedades de Opuntia ficus-indica (blanca, morada, etc.) para establecer un ranking varietal de hospederos y generar bases científicas sólidas para programas de producción especializada de cochinilla.

Se recomienda priorizar el cultivo de la variedad amarilla de Opuntia ficus-indica bajo sombra (50–60 %), ya que garantiza mayor supervivencia (55,6 % a 80 días frente a 39,3 % en roja) y una producción superior (65–70 individuos por cladodio frente a 23–58 en roja).

REFERENCIAS BILBIOGRÁFICAS

Aguilera, C. A., Cázares, C. L., Hernández, M. S., & Márquez, L. E. C. (2005). *Producción de grana-cochinilla (Dactylopius coccus Costa) en plantas de nopal a la intemperie y en microtúneles*. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239204.

Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en tabasco*, *11*(1-2), 333-338.

Alcázar, P. G.-G. (2019). Diversidad genética de la colección de Opuntia ficus indica “tuna” del INIA. *Investigación*, *27*(1), 93-98. https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2019.1.108

Alshaikhi, A. I., Alzahrani, M. Y., Hazzazi, J. S., Kurdi, J. R., & Ramadan, M. F. (2024). Nutritional aspects, bioactive phytochemicals and biomedical traits of Opuntia spp.: Current trends and applications. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, *10*(2), 367-378. https://doi.org/10.1007/s43994-023-00101-1

Alvarado, J. R. Z., Robles, C. L. T., Gallegos, S. de J. M., Quintanar, R. M., & Pérez, G. A. (2020). RENDIMIENTO Y CALIDAD DE ÁCIDO CARMÍNICO DE Dactylopius coccus Costa EN DIFERENTES ALTURAS DE LA NOPALOTECA. *Agrociencia*, *54*(5), 705-716. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i5.2127

Álvarez, G. (2023). Bioactive Compounds and Sensory Analysis of Freeze-Dried Prickly Pear Fruits from an Inter-Andean Valley in Peru. *Molecules*, *28*(9), 1.

Álvarez, P. I., Guaman, G. B., Carpio, C. F., & Erazo, A. E. (2023). Eficacia de tres métodos de infestación de grana cochinilla (dactylopius coccus costa) en tuna (opuntia ficus indica l.) en invernadero. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, *8*(3 (MARZO 2023)), 2635-2659.

Anculle, L. A. (2019). Sustentabilidad de fincas productoras de Opuntia ficus indica para la producciòn de Dactylopius coccus, en Arequipa, Perú. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4049

Anguera, M. T., Blanco, A., Losada, J. L., & Sánchez, P. (2020). Integración de elementos cualitativos y cuantitativos en metodología observacional. *Ámbitos. Revista Internacional de Comunicación*, *49*, Article 49. https://doi.org/10.12795/Ambitos.2020.i49.04

Aragon-Martinez, O. H., Martinez-Morales, F., González-Chávez, M. M., Méndez-Gallegos, S. de J., González-Chávez, R., Posadas-Hurtado, J. C., & Isiordia-Espinoza, M. A. (2023). Dactylopius opuntiae [Cockerell] Could Be a Source of Antioxidants for the

Preservation of Beef Patties. *Insects*, *14*(10), 811. https://doi.org/10.3390/insects14100811

Arroyo, G., Medina, T., Pérez, R. E., & Ortiz, R. (2020). Morfología y edad del cladodio de Opuntia ficus-indica sobre la producción de Dactylopius coccus costa y contenido de ácido carmínico. *Nova scientia*, *12*(25). https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2519

Barreda, D. A. (2020). *Mejora de procesos en la producción de cochinilla para incrementar la productividad de la empresa agroexportadora carmín S.R.L. Arequipa 2019*. https://repositorio. ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9903

Batista, M. C., Nascimento, R. do, Almeida, I. V. B. de, Medeiros, L. T. V. de, Souza, J. T. A., Santos, J. P. de O., Cartaxo, P. H. de A., & Araújo, J. R. E. S. (2022). Production and selection of accessions of Opuntia spp. With resistance to false carmine cochineal. *Comunicata Scientiae*, *13*, e3869-e3869. https://doi.org/10.1429 5/cs.v13.3869

Barazarte, H., Terán, Y., D'Aubeterre, R., Pérez, L., Garmendia, C., Moreno, I., & Sánchez-Urdaneta, AB (2017). Características físicas y químicas de cladodios de Opuntia ficus-indica (L.) Mill. *Rev. Fac. Agron.(LUZ)[Internet]* , *34* (2), 175-86.

Berhe, Y. K. (2023). Testing Opuntia ficus-indica genotypes for resistance against Dactylopius coccus (Hemiptera: Dactylopiidae). *Revista Colombiana de Entomología*, *49*. https://doi.org/10.25100/socolen.v49i2.12760

Berhe, Y. K., Portillo, L., Delgado-Aceves, L., Palacios-Juárez, H., & Vigueras, A. L. (2023). Calcium Oxalate and Other Cladode Features in Opuntia ficus-indica Resistant Cultivars to Dactylopius coccus Costa. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, *12*(2), Article 2. https://doi.org/10.4236/jacen.2023.122009

Berhe, Y. K., Portillo, L., & Vigueras-Guzman, A. L. (2022). Resistance of Opuntia ficus-indica cv 'Rojo Pelon' to Dactylopius coccus (Hemiptera: Dactylopiidae) under greenhouse condition. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, *24*, 290-306. https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.509

Boudjema, N., & Ladouali, Z. (2024). *The attenuating effect of the aqueous extract of the Flower of Opuntia ficus indica against lead-induced reprotoxicitè in the wistar rat*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3925409/v1

Bourhia, M., Elmahdaoui, H., Moussa, S. I., Ullah, R., & Bari, A. (2020). Potential Natural Dyes Food from the Powder of Prickly Pear Fruit

Peels (Opuntia spp.) Growing in the Mediterranean Basin under Climate Stress. *BioMed Research International*, *2020*, 7579430. https://doi.org/10.1155/2020/7579430

CABI. (2019). Dactylopius ceylonicus (cochineal, insect, Indian wild). *CABI Compendium*, *CABI Compendium*, 17656. https://doi.org/10.1079/cabicompendium.17656

Campos, O. J. (2019). *Simbiontes Cultivables de la Grana Cochinilla (Hemiptera:Dactylopiidae)* [Tesis de maestría]. https://repositorio.ipicyt.edu.mx///handle/11627/4863

Chango, M. de L. Á. (2023). *Evaluación del efecto del jugo de tuna (Opuntia ficus-indica l. Mill) y vitamina E sobre los parámetros de calidad seminal en la crio preservación de semen ovino* [bachelorThesis]. https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/3836

Condori, A. E., & Molina, S. (2020). Evaluación de Ninfas (Dactylopius coccus Costa) en dos variedades de Tuna (Opuntia ficus indica) en vivero y establecimiento en campo del distrito Santa Rita de Siguas – Arequipa – 2019. *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*. https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5166

Cortés Coss, A., Cortés Coss, D. E., Cortés Coss, A., & Cortés Coss, D. E. (2021). Bases teóricas y metodológicas de los procesos de intervención socioeducativa. *Conrado*, *17*(80), 356-362.

De Santiago, E., Juániz, I., Cid, C., & De Peña, M.-P. (2021). Extraction of (Poly)phenolic Compounds of Cactus (Opuntia ficus-indica (L.) Mill.) Cladodes. *Food Analytical Methods*, *14*(6), 1167-1175. https://doi.org/10.1007/s12161-020-01946-6

El Aalaoui, M., & Sbaghi, M. (2022). Temperature Dependence for Survival, Development, and Production of the Cactus Cochineal Dactylopius opuntiae (Cockerell). *Insects*, *13*(5), 426. https://doi.org/10.3390/insects13050426

Elshennawy, A. A., Abdelaal, M. Y., Hamed, A. M., & Awad, M. M. (2023). Evaluating Mesh Geometry and Shade Coefficient for Fog Harvesting Collectors. *Water Resources Management*, *37*(15), 6107-6126. https://doi.org/10.1007/s11269-023-03644-4

Ferraro, A., Sighano, S. K., Caputo, R., Cofone, F., Desiderio, G., & Gennari, O. (2024). *Fluorescence Profile of Calabrian Opuntia ficus-indica Cladodes Extract: A Promising Low-cost Material for Technological Applications* (arXiv:2406.01287). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.01287

Fils, W. R. S. P., Vanegas-Rico, J. M., Lomelí-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., & Palafox-Luna, J. A. (2020). *Cría de Dactylopius opuntiae (Hemiptera: Dactylopiidae) en cladodios de nopal para incrementar a sus depredadores*. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 19, 1–10. https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2019.19.3

Fils, P. W. R. S. (2024). *Análisis de niveles de infestación de Dactylopius opuntiae en cladodios de nopal bajo condiciones protegidas* [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan, Tecnológico Nacional de México]. Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México. https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/7268

Gasco, L., Biancarosa, I., & Liland, N. S. (2020). From waste to feed: A review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, *23*, 67-79. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.003

Gebreziher, H. G., Zebelo, S., Gebremedhin, Y. G., Teklu, G. W., Berhe, Y. K., Berhe, D. H., Gerezgiher, A. K., Weldetnsae, A. K., Hailu, Z., Weldeslasse, G. T., Gebremedhin, G. G., Gebrekidan, T. K., Negash, Z., Meressa, B. H., & Portillo, L. (2025). Trends of Cochineal (Dactylopius coccus) Infestation as Affected by Armed

Conflict, and Intervention Mechanisms for Sustainable Management in Tigray, Northern Ethiopia. *Plants*, *14*(8), 1228. https://doi.org/10.3390/plants14081228

Genc, M., & Aydin, B. (2024). 7th new insect species with high potential to be used in the production of a natural red dye: Dactylopius opuntiae (Cockerell, 1896) (Hemiptera: Dactylopiidae). *Textile Research Journal*, *94*(3-4), 477-483. https://doi.org/10.1177/00405175231215098

Gobierno de España. (2022). *Perú es el principal productor mundial de cochinilla* (CULTIVOS HERBÁCEOS E INDUSTRIALES BOLETÍN Nº 488; AGROPECUARIO). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/images/es/bne48823peruap-culhein_tcm30-614199.pdf

Govela, H., Pérez, B. C., Vigueras, A. L., Aragón, A., & Aragón, M. (2021). Producción de Grana Cochinilla con Diferentes Sistemas de Infestación. *Southwestern Entomologist*, *46*(4), 977-984. https://doi.org/10.3958/059.046.0419

Guamán, G. B. (2022). *Eficacia de métodos de infestación de grana cochinilla (Dactylopius coccus Costa) en tuna (Opuntia ficus*

indica. L) en invernadero en la estación experimental Tunshi. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/18358

Ha, Q., Nguyen, K., Anh, L., Thi Hoan, V., & Tuan, N. (2024). Opuntia ficus-indica (L.): An Overview of the Recent Application and Opportunities in Food. *Tropical Journal of Natural Product Research*, *8*, 5734-5745. https://doi.org/10.26538/tjnpr/v8i1.3

Hernandéz, Roberto & Mendoza Paulina. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.

Huamani, F. (2023). *Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y ácidos orgánicos de tres variedades de tuna (Opuntia ficus-indica) de la Comunidad Mutca—Aymaraes*. http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1279

Jorge, A. O. S., Costa, A. S. G., & Oliveira, M. B. P. P. (2023). Adapting to Climate Change with Opuntia. *Plants*, *12*(16), Article 16. https://doi.org/10.3390/plants12162907

Kebede, T. G., Birhane, E., Ayimut, K.-M., & Egziabher, Y. G. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi increased biomass, nutritional value, and cochineal resistance of Opuntia ficus-indica plants. *BMC Plant Biology*, *24*(1), 706. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05432-7

Kelly, S. E., Moore, W., Hall, W. E., & Hunter, M. S. (2022). Hiding in plain sight: Cryptic enemies are found on cochineal (Hemiptera: Dactylopiidae), a scale insect of economic and cultural significance. *Ecology and Evolution*, *12*(8), e9151. https://doi.org/10.1002/ece3.9151

Martínez-Martínez, S., Rodríguez-Leyva, E., Aranda-Ocampo, S., Santillán-Galicia, T., Hernández-López, A., & Guzmán-Franco, A. (2021). *Bacteria associated with the intestinal tract of three predators of Dactylopius opuntiae (Hemiptera: Dactylopiidae)*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-384884/v1

Méndez, S. de J., Tarango, L. A., Carnero, A., Tiberi, R., & Díaz, O. (2020). Crecimiento poblacional de la cochinilla dactylopius coccus costa criada en cinco cultivares de nopal Opuntia ficus-indica Mill. *Agrociencia*, *44*(2), 225-234.

Méndez, S., Tarango, L., Carnero, A., Tiberi, R., & Diaz, O. (2010). Growth parameters of cochineal Dactylopius coccus Costa reared in five cactus pear cultivars Opuntia ficus-indica Mill. *Agrociencia*, *44*, 225-234.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). *Análisis de Mercado—Tuna 2015—2021* (UNIDAD DE INTELIGENCIA COMERCIAL).

Agromercado. https://www.gob.pe/institucion/agromercado/informes-publicaciones/2765089-analisis-de-mercado-tuna-2015-2021

Neupane, D., Mayer, J. A., Niechayev, N. A., Bishop, C. D., & Cushman, J. C. (2021). Five-year field trial of the biomass productivity and water input response of cactus pear (Opuntia spp.) as a bioenergy feedstock for arid lands. *GCB Bioenergy*, *13*(4), 719-741. https://doi.org/10.1111/gcbb.12805

Paredes, M. (2023). *Evaluación del contenido de fenoles, flavonoides y fructosa de una bebida a partir de la hoja y el fruto del nopal (Opuntia ficus-indica)* [bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Alimentos]. https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/39304

Paul Fils, W. R. S. (2024). *Análisis de niveles de infestación de dactylopius opuntiae en cladodios de nopal bajo condiciones protegidas*. https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/7268

Paul-Fils, W. R. S., Gómez-Domínguez, N. S., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., & Muraira-Soto, M. (2020). Cría de Dactylopius

opuntiae (Hemiptera: Dactylopiidae) en cladodios de nopal para incrementar a sus depredadores. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, *19*(2), Article 2. https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2019.19.3

Pedraza, K., Olvera, A., Navarro, H., & García, A. (2024). El sistema familiar de producción de nopal verdura (Opuntia ficus indica L.) en San Pablo Ixquitlán, Méx. Importancia y estrategias de funcionamiento. *Revista de Geografía Agrícola*, *72*, Article 72. https://doi.org/10.5154/r.rga.2023.72.2

Ponce-Luna, A., Pérez-Escalante, E., García-Curiel, L., Hernández-Hernández, A. A., Contreras-López, E., & Pérez-Flores, J. G. (2023). Potencial del nopal (Opuntia ficus-indica) para su incursión en la industria de la confitería: Una breve revisión. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, *8*(1), Article 1. https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.66

Rodríguez, E., García, E., González, M. M., Méndez, S. de J., Morales, J. A., Posadas, J. C., Bravo, Á., & Franco, A. (2024). Interactions of Opuntia ficus-indica with Dactylopius coccus and D. opuntiae (Hemiptera: Dactylopiidae) through the Study of Their Volatile Compounds. *Plants*, *13*(7), Article 7. https://doi.org/10.3390/plants13070963

Roque, F. J. (2021). Controlled Mass Rearing of Cochineal Insect (Hemiptera: Dactylopiidae) Using Two Laboratory-Scale Production Systems in Peru. *Journal of Insect Science*, *22*(1), 1. https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab098

Talhande, D., Patil, S., Darshan, R., & Talhande, D. (2023). First Record of Infestation Of Dactylopius Ceylonicus (Green) (Hemiptera: Dactylopiidae) On Opuntia Elatior Mill. (Cactaceae) From Central India. *Journal Of Advanced Zoology*, *44*, 01-07. https://doi.org/10.53555/jaz.v44iS5.2877

Vastolo, A., Calabrò, S., Cutrignelli, M. I., Raso, G., & Todaro, M. (2020). Silage of Prickly Pears (Opuntia spp.) Juice By-Products. *Animals*, *10*(9), Article 9. https://doi.org/10.3390/ani10091716

Vinaja, Á. B., & Gallegos, S. de J. M. (2023). Tendencias emergentes de investigación científica sobre Dactylopius coccus Costa (Hemiptera: Dactylopiidae), ácido carmínico y sus derivados: un análisis bibliométrico. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, *20*(2), 139-165. https://doi.org/10.22231/asyd.v20i2.1387

Zacarías, J. R., Tovar, C. L., Aquino, G., Magallanes, R., & Méndez, S. de J. (2021). Productive behavior of Dactylopius coccus in two confinement cultivars of Opuntia ficus-indica (L.) Mill. *Agro*

Productividad, *14*(10), 65-74. https://doi.org/10.32854/agrop.v14i10.1946

Zacarías, J., Tovar, C., Méndez, S., Magallanes, R., & Aquino, G. (2020). Rendimiento y calidad de ácido carmínico de Dactylopius Coccus costa en diferentes alturas de la nopaloteca. *Agrociencia*, *54*(5), 705-716. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i5.2127

ANEXOS

Anexo 1. Datos recabados de la zona de estudio del estrato/bloque 1 de la variedad de tuna roja.

Estratificación	Cladodios	% supervivencia				% supervivencia					Hembras	Machos
		Día 20	Día 40	Día 60	Día 80	Día 4	Día 20	Día 40	Día 60	Día 80		
		Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto	Infestación	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto		
1	1	62.90	56.40	49.90	43.40	660.00	415.00	234.00	117.00	51.00	33.00	18.00
	2	56.80	50.30	43.80	37.30	160.00	91.00	46.00	20.00	7.00	5.00	3.00
	3	56.10	49.60	43.10	36.60	580.00	325.00	161.00	70.00	25.00	17.00	9.00
	4	59.00	52.50	46.00	39.50	150.00	89.00	46.00	21.00	8.00	5.00	3.00
	5	62.90	56.40	49.90	43.40	700.00	440.00	248.00	124.00	54.00	35.00	19.00
	6	57.40	50.90	44.40	37.90	370.00	212.00	108.00	48.00	18.00	12.00	6.00
	7	55.70	49.20	42.70	36.20	350.00	195.00	96.00	41.00	15.00	10.00	5.00
	8	56.00	49.50	43.00	36.50	190.00	106.00	53.00	23.00	8.00	5.00	3.00
	9	55.90	49.40	42.90	36.40	230.00	129.00	64.00	27.00	10.00	6.00	3.00
	10	59.80	53.30	46.80	40.30	470.00	281.00	150.00	70.00	28.00	18.00	10.00
	11	59.85	53.35	46.85	40.35	410.00	253.00	140.00	68.50	29.00	19.00	10.50
	12	59.50	53.00	46.50	40.00	620.00	370.00	197.50	93.50	38.00	25.00	13.50
	13	60.95	54.45	47.95	41.45	405.00	252.00	140.00	69.00	29.50	19.00	10.50
	14	62.90	56.40	49.90	43.40	680.00	427.50	241.00	120.50	52.50	34.00	18.50
	15	60.15	53.65	47.15	40.65	515.00	313.50	171.00	82.50	34.50	22.50	12.00
	16	59.30	52.80	46.30	39.80	505.00	305.00	165.00	79.00	33.00	21.50	11.50
	17	59.45	52.95	46.45	39.95	425.00	260.50	143.50	70.00	29.50	19.00	10.50
	18	59.40	52.90	46.40	39.90	445.00	272.00	149.00	72.00	30.50	19.50	10.50
	19	61.35	54.85	48.35	41.85	565.00	348.00	192.00	93.50	39.50	25.50	14.00
	20	56.45	49.95	43.45	36.95	370.00	208.00	103.50	45.00	16.00	11.00	6.00
	21	57.90	51.40	44.90	38.40	155.00	90.00	46.00	20.50	7.50	5.00	3.00
	22	59.85	53.35	46.85	40.35	430.00	265.50	147.00	72.00	30.50	20.00	11.00

continúa en la siguiente página

Viene de la página anterior

Estratificación	Cladodios	% supervivencia				% supervivencia					Hembras	Machos
		Día 20	Día 40	Día 60	Día 80	Día 4	Día 20	Día 40	Día 60	Día 80		
		Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto	Infestación	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto		
2	23	62.30	55.80	49.30	42.80	290.00	181.00	101.00	50.00	21.00	14.00	7.00
	24	62.30	55.80	49.30	42.80	290.00	181.00	101.00	50.00	21.00	14.00	7.00
	25	55.20	48.70	42.20	35.70	110.00	61.00	30.00	12.00	4.00	3.00	2.00
	26	60.30	53.80	47.30	40.80	610.00	368.00	198.00	94.00	38.00	25.00	13.00
	27	56.50	50.00	43.50	37.00	420.00	237.00	118.00	51.00	19.00	12.00	7.00
	28	63.20	56.70	50.20	43.70	490.00	309.00	175.00	88.00	38.00	25.00	13.00
	29	55.10	48.60	42.10	35.60	280.00	154.00	75.00	31.00	11.00	7.00	4.00
	30	55.80	49.30	42.80	36.30	150.00	84.00	41.00	18.00	6.00	4.00	2.00
	31	63.50	57.00	50.50	44.00	240.00	152.00	87.00	44.00	19.00	13.00	7.00
	32	57.20	50.70	44.20	37.70	150.00	86.00	44.00	19.00	7.00	5.00	3.00
	33	62.30	55.80	49.30	42.80	290.00	181.00	101.00	50.00	21.00	14.00	7.00
	34	58.75	52.25	45.75	39.25	200.00	121.00	65.50	31.00	12.50	8.50	4.50
	35	61.30	54.80	48.30	41.80	450.00	274.50	149.50	72.00	29.50	19.50	10.00
	36	59.40	52.90	46.40	39.90	355.00	209.00	109.50	50.50	20.00	13.00	7.00
	37	62.75	56.25	49.75	43.25	390.00	245.00	138.00	69.00	29.50	19.50	10.00
	38	58.70	52.20	45.70	39.20	285.00	167.50	88.00	40.50	16.00	10.50	5.50
	39	59.05	52.55	46.05	39.55	220.00	132.50	71.00	34.00	13.50	9.00	4.50
	40	62.90	56.40	49.90	43.40	265.00	166.50	94.00	47.00	20.00	13.50	7.00
	41	59.75	53.25	46.75	40.25	220.00	133.50	72.50	34.50	14.00	9.50	5.00
	42	58.75	52.25	45.75	39.25	200.00	121.00	65.50	31.00	12.50	8.50	4.50
	43	61.30	54.80	48.30	41.80	450.00	274.50	149.50	72.00	29.50	19.50	10.00
	44	59.40	52.90	46.40	39.90	355.00	209.00	109.50	50.50	20.00	13.00	7.00

continúa en la siguiente página

Viene de la página anterior

Estratificación	Cladodios	% supervivencia				% supervivencia					Hembras	Machos
		Día 20	Día 40	Día 60	Día 80	Día 4	Día 20	Día 40	Día 60	Día 80		
		Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto	Infestación	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto		
3	45	60.60	54.10	47.60	41.10	730.00	442.00	239.00	114.00	47.00	30.00	16.00
	46	56.40	49.90	43.40	36.90	170.00	96.00	48.00	21.00	8.00	5.00	3.00
	47	64.70	58.20	51.70	45.20	420.00	272.00	158.00	82.00	37.00	24.00	13.00
	48	56.50	50.00	43.50	37.00	430.00	243.00	121.00	53.00	20.00	13.00	7.00
	49	60.10	53.60	47.10	40.60	330.00	198.00	106.00	50.00	20.00	13.00	7.00
	50	60.20	53.70	47.20	40.70	180.00	108.00	58.00	27.00	11.00	7.00	4.00
	51	59.30	52.80	46.30	39.80	470.00	279.00	147.00	68.00	27.00	18.00	9.00
	52	56.50	50.00	43.50	37.00	420.00	237.00	119.00	52.00	19.00	12.00	7.00
	53	56.70	50.20	43.70	37.20	140.00	79.00	40.00	17.00	6.00	4.00	2.00
	54	59.80	53.30	46.80	40.30	170.00	102.00	54.00	25.00	10.00	7.00	4.00
	55	58.50	52.00	45.50	39.00	450.00	269.00	143.50	67.50	27.50	17.50	9.50
	56	62.65	56.15	49.65	43.15	575.00	357.00	198.50	98.00	42.00	27.00	14.50
	57	58.55	52.05	45.55	39.05	580.00	342.50	180.00	83.50	33.50	21.50	11.50
	58	60.35	53.85	47.35	40.85	530.00	320.00	172.50	82.00	33.50	21.50	11.50
	59	60.40	53.90	47.40	40.90	455.00	275.00	148.50	70.50	29.00	18.50	10.00
	60	59.95	53.45	46.95	40.45	600.00	360.50	193.00	91.00	37.00	24.00	12.50
	61	58.55	52.05	45.55	39.05	575.00	339.50	179.00	83.00	33.00	21.00	11.50
	62	58.65	52.15	45.65	39.15	435.00	260.50	139.50	65.50	26.50	17.00	9.00
	63	60.20	53.70	47.20	40.70	450.00	272.00	146.50	69.50	28.50	18.50	10.00
	64	60.55	54.05	47.55	41.05	295.00	184.00	103.00	51.50	22.50	14.50	8.00
	65	56.45	49.95	43.45	36.95	300.00	169.50	84.50	37.00	14.00	9.00	5.00
	66	58.25	51.75	45.25	38.75	250.00	147.00	77.00	35.50	14.00	9.00	5. 00

continúa en la siguiente página

Viene de la página anterior

Estratificación	Cladodios	% supervivencia				% supervivencia					Hembras	Machos
		Día 20	Día 40	Día 60	Día 80	Día 4	Día 20	Día 40	Día 60	Día 80		
		Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto	Infestación	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto		
4	67	58.40	51.90	45.40	38.90	515.00	302.50	158.00	72.50	28.50	18.50	10.00
	68	61.75	55.25	48.75	42.25	550.00	338.50	186.50	91.00	38.00	25.00	13.00
	69	57.70	51.20	44.70	38.20	445.00	261.00	136.50	62.50	24.50	16.00	8.50
	70	58.05	51.55	45.05	38.55	380.00	226.00	119.50	56.00	22.00	14.50	7.50
	71	61.90	55.40	48.90	42.40	425.00	260.00	142.50	69.00	28.50	19.00	10.00
	72	58.75	52.25	45.75	39.25	380.00	227.00	121.00	56.50	22.50	15.00	8.00
	73	59.85	53.35	46.85	40.35	455.00	273.00	146.50	69.50	28.50	18.50	10.00
	74	55.80	49.30	42.80	36.30	350.00	195.50	96.50	41.00	15.00	9.50	5.50
	75	56.15	49.65	43.15	36.65	285.00	160.50	79.50	34.50	12.50	8.00	4.50
	76	60.00	53.50	47.00	40.50	330.00	194.50	102.50	47.50	19.00	12.50	7.00
	77	56.85	50.35	43.85	37.35	285.00	161.50	81.00	35.00	13.00	8.50	5.00
	78	59.15	52.65	46.15	39.65	385.00	231.50	125.00	59.50	24.50	16.00	8.50
	79	59.50	53.00	46.50	40.00	320.00	196.50	108.00	53.00	22.00	14.50	7.50
	80	63.35	56.85	50.35	43.85	365.00	230.50	131.00	66.00	28.50	19.00	10.00
	81	60.20	53.70	47.20	40.70	320.00	197.50	109.50	53.50	22.50	15.00	8.00
	82	55.45	48.95	42.45	35.95	215.00	119.00	58.00	24.50	8.50	5.50	3.00
	83	59.30	52.80	46.30	39.80	260.00	153.00	81.00	37.50	15.00	10.00	5.50
	84	56.15	49.65	43.15	36.65	215.00	120.00	59.50	25.00	9.00	6.00	3.50
	85	59.65	53.15	46.65	40.15	195.00	118.00	64.00	31.00	12.50	8.50	4.50
	86	56.50	50.00	43.50	37.00	150.00	85.00	42.50	18.50	6.50	4.50	2.50
	87	60.35	53.85	47.35	40.85	195.00	119.00	65.50	31.50	13.00	9.00	5.00

continúa en la siguiente página

Anexo 2. Datos recabados de la zona de estudio del estrato/bloque 1 de la variedad de tuna amarilla.

Estratificación	Cladodios	% supervivencia				% supervivencia					Hembras	Machos
		Día 20	Día 40	Día 60	Día 80	Día 4	Día 20	Día 40	Día 60	Día 80		
		Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto	Infestación	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto		
1	1	73.10	68.10	63.10	58.10	150.00	110.00	75.00	47.00	27.00	18.00	10.00
	2	75.40	70.40	65.40	60.40	630.00	475.00	334.00	219.00	132.00	86.00	46.00
	3	74.60	69.90	64.60	59.60	380.00	283.00	197.00	127.00	76.00	49.00	27.00
	4	66.20	61.20	56.20	51.20	180.00	119.00	73.00	41.00	21.00	14.00	7.00
	5	67.90	62.90	57.90	52.90	660.00	448.00	282.00	163.00	86.00	56.00	30.00
	6	65.50	60.50	55.50	50.50	740.00	485.00	293.00	163.00	82.00	53.00	29.00
	7	67.60	62.60	57.60	52.60	380.00	257.00	161.00	93.00	49.00	32.00	17.00
	8	66.20	61.20	56.20	51.20	580.00	384.00	235.00	132.00	68.00	44.00	24.00
	9	66.30	61.30	56.30	51.30	310.00	206.00	126.00	71.00	36.00	24.00	13.00
	10	70.70	65.70	60.70	55.70	430.00	304.00	200.00	121.00	68.00	44.00	24.00
	11	74.25	69.25	64.25	59.25	390.00	292.50	204.50	133.00	79.50	52.00	28.00
	12	73.85	69.00	63.85	58.85	265.00	196.50	136.00	87.00	51.50	33.50	18.50
	13	69.65	64.65	59.65	54.65	165.00	114.50	74.00	44.00	24.00	16.00	8.50
	14	70.50	65.50	60.50	55.50	405.00	279.00	178.50	105.00	56.50	37.00	20.00
	15	69.30	64.30	59.30	54.30	445.00	297.50	184.00	105.00	54.50	35.50	19.50
	16	70.35	65.35	60.35	55.35	265.00	183.50	118.00	70.00	38.00	25.00	13.50
	17	69.65	64.65	59.65	54.65	365.00	247.00	155.00	89.50	47.50	31.00	17.00
	18	69.70	64.70	59.70	54.70	230.00	158.00	100.50	59.00	31.50	21.00	11.50
	19	71.90	66.90	61.90	56.90	290.00	207.00	137.50	84.00	47.50	31.00	17.00
	20	75.00	70.15	65.00	60.00	505.00	379.00	265.50	173.00	104.00	67.50	36.50
	21	70.80	65.80	60.80	55.80	405.00	297.00	203.50	130.00	76.50	50.00	26.50
	22	71.65	66.65	61.65	56.65	645.00	461.50	308.00	191.00	109.00	71.00	38.00

continúa en la siguiente página

Viene de la página anterior

Estratificación	Cladodios	% supervivencia				% supervivencia					Hembras	Machos
		Día 20	Día 40	Día 60	Día 80	Día 4	Día 20	Día 40	Día 60	Día 80		
		Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto	Infestación	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto		
2	23	73.20	68.20	63.20	58.20	500.00	366.00	250.00	158.00	92.00	60.00	32.00
	24	70.10	65.10	60.10	55.10	670.00	470.00	306.00	184.00	101.00	66.00	35.00
	25	69.40	64.40	59.40	54.40	420.00	291.00	188.00	112.00	61.00	39.00	21.00
	26	72.20	67.20	62.20	57.20	480.00	347.00	233.00	145.00	83.00	54.00	29.00
	27	72.50	67.50	62.50	57.50	440.00	319.00	215.00	135.00	77.00	50.00	27.00
	28	73.30	68.30	63.30	58.30	240.00	176.00	120.00	76.00	44.00	29.00	16.00
	29	75.60	70.60	65.60	60.60	260.00	197.00	139.00	91.00	55.00	36.00	19.00
	30	70.10	65.10	60.10	55.10	500.00	351.00	228.00	137.00	76.00	49.00	26.00
	31	67.00	62.00	57.00	52.00	170.00	114.00	71.00	40.00	21.00	14.00	7.00
	32	75.00	70.00	65.00	60.00	290.00	218.00	152.00	99.00	59.00	39.00	21.00
	33	71.65	66.65	61.65	56.65	585.00	418.00	278.00	171.00	96.50	63.00	33.50
	34	71.30	66.30	61.30	56.30	460.00	328.50	219.00	135.00	76.50	49.50	26.50
	35	72.70	67.70	62.70	57.70	490.00	356.50	241.50	151.50	87.50	57.00	30.50
	36	72.85	67.85	62.85	57.85	470.00	342.50	232.50	146.50	84.50	55.00	29.50
	37	73.25	68.25	63.25	58.25	370.00	271.00	185.00	117.00	68.00	44.50	24.00
	38	74.40	69.40	64.40	59.40	380.00	281.50	194.50	124.50	73.50	48.00	25.50
	39	71.65	66.65	61.65	56.65	500.00	358.50	239.00	147.50	84.00	54.50	29.00
	40	70.10	65.10	60.10	55.10	335.00	240.00	160.50	99.00	56.50	37.00	19.50
	41	74.10	69.10	64.10	59.10	395.00	292.00	201.00	128.50	75.50	49.50	26.50
	42	69.75	64.75	59.75	54.75	545.00	380.50	247.00	148.00	81.00	52.50	28.00
	43	71.15	66.15	61.15	56.15	575.00	408.50	269.50	164.50	92.00	60.00	32.00
	44	71.30	66.30	61.30	56.30	555.00	394.50	260.50	159.50	89.00	58.00	31.00

continúa en la siguiente página

Viene de la página anterior

Estratificación	Cladodios	% supervivencia				% supervivencia					Hembras	Machos
		Día 20	Día 40	Día 60	Día 80	Día 4	Día 20	Día 40	Día 60	Día 80		
		Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto	Infestación	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto		
3	45	75.50	70.50	65.50	60.50	680.00	513.00	362.00	237.00	143.00	93.00	50.00
	46	67.20	62.20	57.20	52.20	450.00	302.00	188.00	108.00	56.00	37.00	20.00
	47	73.50	68.50	63.50	58.50	110.00	81.00	55.00	35.00	21.00	13.00	7.00
	48	65.70	60.70	55.70	50.70	320.00	210.00	128.00	71.00	36.00	23.00	13.00
	49	74.10	69.10	64.10	59.10	190.00	141.00	97.00	62.00	37.00	24.00	13.00
	50	74.50	69.50	64.50	59.50	280.00	209.00	145.00	94.00	56.00	36.00	19.00
	51	66.90	61.90	56.90	51.90	130.00	87.00	54.00	31.00	16.00	10.00	6.00
	52	67.50	62.50	57.50	52.50	340.00	230.00	143.00	82.00	43.00	28.00	15.00
	53	73.00	68.00	63.00	58.00	120.00	88.00	60.00	38.00	22.00	14.00	8.00
	54	68.10	63.10	58.10	53.10	480.00	327.00	206.00	120.00	64.00	41.00	22.00
	55	71.35	66.35	61.35	56.35	565.00	407.50	275.00	172.50	99.50	65.00	35.00
	56	74.50	69.50	64.50	59.50	395.00	297.00	208.50	136.00	82.00	53.00	28.50
	57	70.60	65.60	60.60	55.60	500.00	361.50	245.00	154.00	89.50	58.00	31.50
	58	74.80	69.80	64.80	59.80	435.00	327.00	229.50	149.50	90.00	58.50	31.50
	59	75.00	70.00	65.00	60.00	480.00	361.00	253.50	165.50	99.50	64.50	34.50
	60	71.20	66.20	61.20	56.20	405.00	300.00	208.00	134.00	79.50	51.50	28.00
	61	71.50	66.50	61.50	56.50	510.00	371.50	252.50	159.50	93.00	60.50	32.50
	62	74.25	69.25	64.25	59.25	400.00	300.50	211.00	137.50	82.50	53.50	29.00
	63	71.80	66.80	61.80	56.80	580.00	420.00	284.00	178.50	103.50	67.00	36.00
	64	70.35	65.35	60.35	55.35	280.00	191.50	121.50	71.50	38.50	25.00	13.50
	65	66.45	61.45	56.45	51.45	385.00	256.00	158.00	89.50	46.00	30.00	16.50
	66	70.65	65.65	60.65	55.65	320.00	221.50	142.50	85.00	46.50	30.50	16.50

continúa en la siguiente página

Viene de la página anterior

Estratificación	Cladodios	% supervivencia				% supervivencia					Hembras	Machos
		Día 20	Día 40	Día 60	Día 80	Día 4	Día 20	Día 40	Día 60	Día 80		
		Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto	Infestación	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto		
4	67	69.75	64.75	59.75	54.75	460.00	321.00	208.00	124.50	68.50	44.00	23.50
	68	68.20	63.20	58.20	53.20	295.00	202.50	129.50	76.00	41.00	26.50	14.00
	69	72.20	67.20	62.20	57.20	355.00	254.50	170.00	105.50	60.00	39.00	21.00
	70	72.35	67.35	62.35	57.35	460.00	333.00	224.00	140.00	80.00	52.00	28.00
	71	72.75	67.75	62.75	57.75	360.00	261.50	176.50	110.50	63.50	41.50	22.50
	72	73.90	68.90	63.90	58.90	370.00	272.00	186.00	118.00	69.00	45.00	24.00
	73	71.15	66.15	61.15	56.15	490.00	349.00	230.50	141.00	79.50	51.50	27.50
	74	69.60	64.60	59.60	54.60	325.00	230.50	152.00	92.50	52.00	34.00	18.00
	75	73.60	68.60	63.60	58.60	385.00	282.50	192.50	122.00	71.00	46.50	25.00
	76	72.90	67.90	62.90	57.90	340.00	247.50	167.50	105.50	60.50	39.50	21.50
	77	74.05	69.05	64.05	59.05	350.00	258.00	177.00	113.00	66.00	43.00	23.00
	78	71.30	66.30	61.30	56.30	470.00	335.00	221.50	136.00	76.50	49.50	26.50
	79	69.75	64.75	59.75	54.75	305.00	216.50	143.00	87.50	49.00	32.00	17.00
	80	73.75	68.75	63.75	58.75	365.00	268.50	183.50	117.00	68.00	44.50	24.00
	81	74.45	69.45	64.45	59.45	250.00	186.50	129.50	83.50	49.50	32.50	17.50
	82	71.70	66.70	61.70	56.70	370.00	263.50	174.00	106.50	60.00	39.00	21.00
	83	70.15	65.15	60.15	55.15	205.00	145.00	95.50	58.00	32.50	21.50	11.50
	84	74.15	69.15	64.15	59.15	265.00	197.00	136.00	87.50	51.50	34.00	18.50
	85	72.85	67.85	62.85	57.85	380.00	274.00	183.50	114.00	65.50	42.50	22.50
	86	71.30	66.30	61.30	56.30	215.00	155.50	105.00	65.50	38.00	25.00	13.00
	87	75.30	70.30	65.30	60.30	275.00	207.50	145.50	95.00	57.00	37.50	20.00
	88	68.55	63.55	58.55	53.55	335.00	232.50	149.50	88.50	48.50	31.50	16.50

continúa en la siguiente página

Anexo 9. Panel fotográfico



Fotografía 1. Instalación de los cladodios en ambiente sombreado.



Fotografía 2. Adecuación del área de estudio para los cladodios.



Fotografía 3. Establecimiento de los cuatro estratos en el área de estudio.



Fotografía 4. Selección de cladodios en las dos variedades de tuna.



Fotografía 5. Selección de cochinilla del carmín para inoculación.



Fotografía 6. Inoculación con cochinilla en cladodios de tuna.



Fotografía 7. Registro de las colonias de cochinilla del carmín.

Anexo 10. Características químicas de cladodios de *Opuntia ficus-indica* para tres edades de crecimiento

Característica	1 a 4 meses	5 a 8 meses	9 a 12 meses
Acidez titulable (g ácido málico·100 g^{-1})	0,76 ± 0,11[a]	0,49 ± 0,11[b]	0,41 ± 0,10[b]
pH	4,52 ± 0,05[a]	4,08 ± 0,05[b]	4,24 ± 0,20[b]
Sólidos solubles totales (°Brix)	5,59 ± 0,29[a]	5,09 ± 0,58[a]	4,98 ± 0,39[a]
Ácido ascórbico (mg·100 g^{-1})	17,34 ± 2,30[a]	12,88 ± 3,73[a]	12,16 ± 3,52[a]
Humedad (g·100 g^{-1})	91,99 ± 0,77[a]	92,20 ± 1,09[a]	91,89 ± 1,21[a]
Proteína (g·100 g^{-1})	0,60 ± 0,04[a]	0,50 ± 0,01[b]	0,63 ± 0,02[a]
Grasa (g·100 g^{-1})	0,14 ± 0,02[a]	0,19 ± 0,02[b]	0,15 ± 0,02[a]
Cenizas (g·100 g^{-1})	1,32 ± 0,05[a]	1,49 ± 0,05[b]	1,51 ± 0,08[b]
Carbohidratos (g·100 g^{-1})*	**5,95**	**5,62**	**6,02**
Pectina total (g AGA·100 g^{-1})**	2,44 ± 0,02[a]	0,36 ± 0,04[b]	0,37 ± 0,03[b]
Hierro (mg·100 g^{-1})	0,70 ± 0,24[a]	0,18 ± 0,02[b]	0,18 ± 0,07[b]
Calcio (mg·100 g^{-1})	126,06 ± 8,83[a]	173,66 ± 33,91[b]	139,48 ± 10,23[b]
Potasio (mg·100 g^{-1})	376,32 ± 19,82[a]	307,39 ± 13,70[a]	256,17 ± 101,64[a]

Notas: análisis extraído de Bazararte et al., (2017)

- Resultados expresados como el promedio ± desviación estándar de 20 cladodios o 5 réplicas.
- Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa a un α = 0,05.
- * Derivado por diferencia.
- ** AGA = ácido anhidrogalacturónico.