

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES NIVELES DE PODA EN LA
PRODUCCIÓN DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*) EN LA
COMUNIDAD CHUCAVI, MUNICIPIO DE SAPAHAQUI**

Por:

Jorge Milton Canchari Choque

EL ALTO – BOLIVIA

Julio, 2024

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES NIVELES DE PODA EN LA PRODUCCIÓN DE
TUNA (*Opuntia ficus-indica*) EN LA COMUNIDAD CHUCAVI, MUNICIPIO DE
SAPAHAQUI**

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

Jorge Milton Canchari Choque

Asesor:

M.Sc Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

M.Sc Lic. Ing. José Luis Lima Jacopa

Tribunal Revisor:

M.Sc Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas

M.Sc Lic. Ing. Juan José Vicente Rojas

M.Sc Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA:

Al Señor Dios Todopoderoso por haberme guiado y bendecido en el camino de la vida y por haberme dado la oportunidad de realizarme como profesional.

A mis Padres, a mis hermanos y hermanas por su apoyo incondicional en mis estudios que, con sacrificio y esfuerzo, como ellos lo hacen, me enseñaron que todo se puede.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer primeramente a DIOS nuestro Padre Celestial por haberme ayudado a culminar una etapa en el camino de la Vida.

A la Universidad Pública de El Alto (UPEA), por las asistencias entregadas durante mis años de estudio y el perseverante espíritu baluarte de lucha por una autonomía universitaria plena.

Al director de carrera al Lic. Ing. Daniel Condori Guarachi por su apoyo en el transcurso de mi investigación recibiendo un apoyo total desde el inicio hasta finalizar mi investigación.

Mi más sincero agradecimiento total a mis asesores de tesis, al M. Sc. Lic. Ing. José Luis Lima Jacopa y M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez por su disposición de tiempo, apoyo y colaboración recibida para que se haga realidad esta investigación.

Un agradecimiento especial a los señores del tribunal revisor M. Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas, M. Sc Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi y M. Sc. Lic. Ing. Juan José Vicente Rojas, por las correcciones y consejos, apoyo desinteresado y su total colaboración.

Agradecer a mi familia por su comprensión y apoyo permanente, incondicional durante todo el estudio. A mis compañeros los cuales me ayudaron en la realización de mi investigación a Valerio, Darwin.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXO.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Origen de la tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>).....	5
2.2. Importancia del cultivo.....	5
2.3. Taxonomía del cultivo.....	6
2.4. Morfología del cultivo.....	7
2.4.1. Raíz.....	7
2.4.2. Tallo.....	7
2.4.3. Hojas.....	8

2.4.4.	Espinas.....	8
2.4.5.	Gloquidios.....	8
2.4.6.	Flores.....	8
2.4.7.	Frutos	9
2.5.	Características ecológicas donde se cultiva la tuna	9
2.6.	Producción en Bolivia	9
2.7.	Poda	10
2.7.1.	Tipos de poda.....	10
2.7.1.1.	Poda según su objetivo.....	10
2.7.1.2.	Poda según tipo de corte	11
2.7.1.3.	Poda según sistema de poda.....	12
2.7.1.4.	Poda según intensidad.....	12
2.7.1.5.	Poda según época	12
2.7.2.	Sistemas de conducción y poda de plantas de tuna	13
2.7.2.1.	Poda de formación en tuna	13
2.7.2.2.	Poda de producción en tuna	14
2.7.2.3.	Poda de rejuvenecimiento en tuna.....	14
2.7.2.4.	Poda de verano	14
2.7.3.	Principios fisiológicos y efectos de la poda	15
2.7.3.1.	Hábito de fructificación	15
2.7.3.2.	Respuesta en crecimiento vegetativo y fructificación.....	15
2.7.3.3.	Respuesta según la época de poda.....	16
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1.	Localización.....	18
3.1.1.	Ubicación Geográfica	18
3.1.2.	Características Edafoclimáticas	18

3.1.2.1.	Clima	18
3.1.2.2.	Suelo	19
3.1.2.3.	Flora	19
3.1.2.4.	Biogeografía	20
3.2.	Materiales	20
3.2.1.	Material de estudio	20
3.2.2.	Material de escritorio	20
3.2.3.	Material de campo	20
3.3.	Metodología	21
3.3.1.	Desarrollo del ensayo	21
3.3.1.1.	Identificación de una plantación representativa	21
3.3.1.2.	Delimitación de bloques de investigación	21
3.3.1.3.	Delimitación de unidades experimentales	21
3.3.1.4.	Control de malezas y limpieza de unidades experimentales	22
3.3.1.5.	Realización de poda bajo diferentes niveles	23
3.3.1.6.	Evaluación y seguimiento	23
3.3.1.7.	Evaluación a la cosecha de frutos	23
3.3.1.8.	Análisis de la información	23
3.3.2.	Diseño experimental	24
3.3.3.	Tratamientos en estudio	24
3.3.4.	Variables de respuesta	24
3.3.4.1.	Días a la formación de botones vegetativos (cladodios) (DBP)	25
3.3.4.2.	Grosor de cladodio (GRC)	25
3.3.4.3.	Largo de Cladodio (LAC)	25
3.3.4.4.	Ancho de Cladodio (ANC)	26
3.3.4.5.	Número de areolas en la cara (CAR)	26

3.3.4.6.	Número de areolas en la contracara (CAD)	26
3.3.4.7.	Número de areolas en la cresta (ACR)	27
3.3.4.8.	Cantidad de botones florales (BFL).....	27
3.3.4.9.	Cantidad de botones vegetativos (pencas) (BPE)	27
3.3.4.10.	Altura de la planta (ALT).....	28
3.3.4.11.	Rendimiento de frutos por cladodio (RFC)	28
3.3.4.12.	Peso total de fruto (PTF)	29
3.3.4.13.	Diámetro del fruto (DFR)	29
3.3.4.14.	Longitud del fruto (LFR).....	29
3.3.5.	Análisis estadístico	30
3.3.5.1.	Análisis de varianza	30
3.3.5.2.	Prueba de medias	30
3.3.5.3.	Análisis de regresión lineal simple	30
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1.	Días a la formación de botones vegetativos (cladodios) (DBP)	32
4.2.	Grosor de cladodio (GRC)	34
4.3.	Largo de cladodio (LAC).....	38
4.4.	Ancho de cladodio (ANC)	41
4.5.	Número de areolas en la cara del cladodio (CAR)	44
4.6.	Número de areolas en la contracara (CAD)	48
4.7.	Número de areolas en la cresta (ACR).....	51
4.8.	Cantidad de botones florales (BFL)	52
4.9.	Cantidad de botones vegetativos (cladodios) (BPE)	54
4.10.	Altura de planta (ALT)	55
4.11.	Rendimiento de frutos por cladodio (RFC).....	57
4.12.	Peso total de fruto (PTF).....	59

4.13.	Diámetro del fruto (DFR).....	61
4.14.	Longitud del fruto (LFR).....	63
4.15.	Costos parciales de producción.....	64
4.15.1.	Descripción de los costos.....	64
4.15.1.1.	Ingreso bruto.....	64
4.15.1.2.	Ingreso neto.....	66
4.15.2.	Relación beneficio costo.....	66
5.	CONCLUSIONES.....	68
6.	RECOMENDACIONES.....	70
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	71
8.	ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza para días a la formación de botones vegetativos en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	32
Cuadro 2. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para días a la formación de botones vegetativos en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	32
Cuadro 3. Análisis de varianza para grosor de cladodios de plantas de tuna, bajo tres niveles de poda	34
Cuadro 4. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para grosor de cladodios en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	35
Cuadro 5. Análisis de regresión para grosor de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	36
Cuadro 6. Análisis de varianza para largo de cladodios de plantas de tuna, bajo tres niveles de poda	38
Cuadro 7. Promedios del largo de cladodios de plantas de tuna, bajo tres niveles de poda.....	39
Cuadro 8. Análisis de regresión para largo de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	40
Cuadro 9. Análisis de varianza para ancho de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	41
Cuadro 10. Promedios del ancho de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	42
Cuadro 11. Análisis de regresión para ancho de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	42
Cuadro 12. Análisis de varianza para número de areolas de la cara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	45
Cuadro 13. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para número de areolas de la cara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	45
Cuadro 14. Análisis de regresión para número de areolas de la cara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	47

Cuadro 15. Análisis de varianza para número de areolas de la contracara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.	48
Cuadro 16. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para número de areolas de la contracara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	49
Cuadro 17. Análisis de regresión de para número de areolas de la contracara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	50
Cuadro 18. Análisis de varianza para para número de areolas de la cresta del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	52
Cuadro 19. Análisis de varianza para la cantidad de botones florales presentes en plantas de tuna, bajo tres niveles de poda.....	52
Cuadro 20. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para la cantidad de botones florales presentes en plantas de tuna, bajo tres niveles de poda.....	53
Cuadro 21. Análisis de varianza para la cantidad de botones vegetativos en plantas de tuna, bajo tres niveles de poda.....	54
Cuadro 22. Análisis de varianza para la altura de planta de tuna, sometidas a tres niveles de poda	55
Cuadro 23. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para la altura de planta de tuna, sometidas a tres niveles de poda	56
Cuadro 24. Análisis de varianza para el rendimiento de frutos por cladodio, en plantas de tuna sometidas a tres niveles de poda	57
Cuadro 25. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para el rendimiento de frutos por cladodio, en plantas de tuna sometidas a tres niveles de poda	58
Cuadro 26. Análisis de varianza para el peso total de fruto, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	59
Cuadro 27. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para el peso total de fruto, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	60
Cuadro 28. Análisis de varianza para el diámetro de fruto de plantas de tuna bajo tres niveles de poda	62

Cuadro 29. Análisis de varianza para longitud de fruto de plantas de tuna bajo tres niveles de poda	63
Cuadro 30. Promedios de la longitud de fruto de plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	63
Cuadro 31. Costos totales de los tratamientos para el cultivo de tuna por hectárea.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la comunidad Chucavi, Municipio de Sapahaqui, Provincia Loayza, La Paz. (Google Earth, 2020)	18
Figura 2. Delimitación del área de investigación y distribución de bloques	21
Figura 3. Delimitación de unidades experimentales	22
Figura 4. Realización de tres niveles de poda en plantas de tuna.....	22
Figura 5. Cosecha y selección de frutos de tuna para evaluación.....	23
Figura 6. Evaluación del grosor de cladodio	25
Figura 7. Evaluación del largo del cladodio	25
Figura 8. Evaluación del ancho del cladodio.....	26
Figura 9. Evaluación del número de areolas en la cara y en la contracara del cladodio	26
Figura 10. Evaluación del número de botones florales en el cladodio.....	27
Figura 11. Evaluación del número de botones vegetativos en el cladodio	27
Figura 12. Evaluación del número de botones vegetativos en el cladodio	28
Figura 13. Evaluación de rendimiento de frutos por cladodio	28
Figura 14. Evaluación del diámetro de fruto de tuna	29
Figura 15. Evaluación de la longitud de fruto de tuna.....	29
Figura 16. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para días a la formación de botones vegetativos en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	33
Figura 17. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para grosor de cladodios en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	35
Figura 18. Grafica de regresión lineal para grosor de cladodios de tuna bajo tres tratamientos de poda y un testigo	37
Figura 19. Gráfica de regresión lineal para largo de cladodios de tuna bajo tres tratamientos de poda y un testigo	40
Figura 20. Grafica de regresión lineal para para ancho de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	43

Figura 21. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para número de areolas de la cara del cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	46
Figura 22. Gráfica de regresión lineal para número de areolas de la cara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	47
Figura 23. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para número de areolas de la contracara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda	49
Figura 24. Grafica de regresión lineal para número de areolas de la contracara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	51
Figura 25. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para la cantidad de botones florales presentes en plantas de tuna, bajo tres niveles de poda.	53
Figura 26. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para la altura de planta de tuna, sometidas a tres niveles de poda	56
Figura 27. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para el rendimiento de frutos por cladodio, en plantas de tuna sometidas a tres niveles de poda	58
Figura 28. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para el peso total de fruto, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.....	61
Figura 29. Gráfico comparativo de la Relación Beneficio Costo calculado para los tratamientos en estudio	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Croquis de distribución de unidades experimentales en 3 bloques de investigación.....	76
Anexo 2. Presupuesto en Bolivianos (Bs), para evaluar el efecto de podas en la floración y fructificación de tuna en la comunidad Chucavi.....	77
Anexo 3. Registro fotográfico de delimitación del área experimental.	78
Anexo 4. Registro fotográfico de aplicación de tratamientos de poda.	79
Anexo 5. Registro fotográfico de evaluación de ancho de cladodio, largo de cladodio y número de cladodios por planta.	80
Anexo 6. Registro fotográfico de evaluación de espesor de cladodio, número de areolas en la cara y contracara del cladodio.	81
Anexo 7. Registro fotográfico de evaluación de botones vegetativos (penca).....	82
Anexo 8. Registro fotográfico de evaluación de botones florales y frutos.....	83
Anexo 9. Registro fotográfico de evaluación de cantidad, ancho y largo de frutos de tuna.....	84

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres niveles de poda en el desarrollo de cladodios, flores y frutos de tuna (*Opuntia ficus indica*) en la comunidad Chucavi perteneciente al Municipio de Sapahaqui. La investigación se desarrolló bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar con tres tratamientos de poda: T0 = Sin poda, T1 = 10% de poda, T2 = 30% de poda y T3 = 50% de poda. Se realizó análisis de regresión, análisis de varianza y comparación de medias de Duncan al 5% de probabilidad sobre las variables: días a la formación de botones vegetativos (cladodio), grosor de cladodio, largo de cladodio, ancho de cladodio, número de areolas en la cara, contracara y cresta de los cladodios, cantidad de botones florales, cantidad de botones vegetativos, altura de la planta, cantidad de frutos por cladodio, peso total de fruto, diámetro de fruto, longitud de fruto, ingreso bruto, ingreso neto, beneficio/costo. De acuerdo a los resultados encontrados, se rechaza la hipótesis puesto que la aplicación de diferentes niveles de poda, influyen en la cantidad de nuevos cladodios y en el rendimiento de frutos de tuna, cultivados a campo abierto. Los resultados de los análisis realizados, mostraron que, los cladodios en desarrollo tienden a alcanzar el ancho máximo de cladodio en menor tiempo, las plantas podadas de tuna tienden a priorizar el crecimiento de los cladodios a lo ancho, más que a lo largo, con el propósito de aumentar la superficie fotosintética que le permita sobrevivir en condiciones de campo. Las plantas con mayores niveles de poda (30% y 50%) registraron menores cantidades de botones florales y por consiguiente menores cantidades de fruto por planta. Existe efecto del nivel de poda sobre el rendimiento de frutos por cladodio, cuanto mayor sea el nivel de poda, menor será el rendimiento de frutos, en el primer año de desarrollo, después de la poda. Se estableció que el nivel óptimo de poda es el tratamiento T1 (10% de poda), con el que se obtuvo los mayores rendimientos de fruto por planta, comparable con los rendimientos de plantas de tuna de alta producción. Con la aplicación de 10% de poda, se obtuvieron frutos pesados, por el contrario, con la aplicación de niveles elevados de poda (30% y 50%), se tuvieron frutos livianos. El análisis de Beneficio Costo de la presente investigación muestra que los tratamientos T0 (Sin poda) y T1 (10% poda), son los más rentables, puesto que presentan un B/C de Bs 1,1 y Bs 1,6; respectivamente.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the effect of three levels of pruning on the development of cladodes, prickly pear (*Opuntia ficus indica*) in the Chucavi community belonging to the Municipality of Sapahaqui. The research was developed under the Randomized Complete Block Design with three pruning treatments: T0 = No pruning, T1 = 10% pruning, T2 = 30% pruning and T3 = 50% pruning. Regression analysis, analysis of variance and comparison of Duncan means at 5% probability were carried out on the variables: days to the formation of vegetative buds (cladode), thickness of cladode, length of cladode, width of cladode, number of areoles on the face, back face and crest of the cladodes, number of flower buds, number of vegetative buds, plant height, number of fruits per cladode, total fruit weight, fruit diameter, fruit length, gross income, net income, benefit/cost. According to the results found, the hypothesis is rejected since the application of different levels of pruning influences the amount of new cladodes and the yield of prickly pear fruits, grown in the open field. The results of the analyzes carried out showed that the developing cladodes tend to reach the maximum width of the cladode in less time, the pruned prickly pear plants tend to prioritize the growth of the cladodes in width, rather than length, with the purpose of increasing the photosynthetic surface that allows it to survive in field conditions. Plants with higher levels of pruning (30% and 50%) recorded lower quantities of flower buds and therefore lower quantities of fruit per plant. There is an effect of the level of pruning on the fruit yield per cladode; the higher the level of pruning, the lower the fruit yield will be in the first year of development, after pruning. It was established that the optimal level of pruning is treatment T1 (10% pruning), with which the highest fruit yields per plant were obtained, comparable to the yields of high-producing prickly pear plants. With the application of 10% pruning, heavy fruits were obtained, on the contrary, with the application of high levels of pruning (30% and 50%), light fruits were obtained. The Cost Benefit analysis of this research shows that treatments T0 (No pruning) and T1 (10% pruning) are the most profitable, since they present a B/C of Bs 1.1 and Bs 1.6; respectively.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los grandes retos que el mundo debe enfrentar, y en el futuro las sequías prolongadas y la desertificación son los temas, que atenderán muchos países, en estas condiciones adversas, los pequeños productores serán severamente afectados. Si la gente quiere sobrevivir en estas duras condiciones, sus cultivos deberán tolerar la sequía, altas temperaturas y suelos pobres. Las cactáceas son plantas de gran interés alrededor del mundo, en particular el nopal o tuna (*Opuntia ficus-indica*), debido a sus características únicas, las cuales les proveen resiliencia a las condiciones limitantes ya mencionadas. El nopal es capaz de crecer en tierras donde otros cultivos no prosperan. Puede ser usado para la restauración de tierras degradadas. El cultivo se originó en México quien es todavía el mayor productor y consumidor del mundo, pero otros países incluyendo: Marruecos, Etiopia, Sudáfrica, Kenia, India y Pakistán, están incrementando su producción y uso. Adicional a la resiliencia del cultivo, el nopal esta crecientemente apreciado por sus usos múltiples. La fruta y sus cladodios tiernos pueden ser consumidos por humanos, y el interés en el uso forrajero está aumentando. Adicionalmente, sus propiedades medicinales y usos industriales están siendo activamente investigados y promovidos (Inglese *et al.* 2018).

En Bolivia el nopal o tuna fue introducido a regiones áridas y semiáridas de La Paz, Cochabamba, Tarija y Chuquisaca, lugares en los que se naturalizo y ahora forma parte del paisaje de estas regiones. Al respecto Stadler-Kaulich (2014) menciona que en el predio Mollesnejta, ubicado en Combujo, municipio de Vinto en el valle bajo de Cochabamba, desde el año 2001 se experimenta con diversas especies (frutales, forrajeras, melíferas, maderables, nativas, exóticas) en sistemas agroforestales, con el fin de producir alimentos y forraje, y al mismo tiempo mejorar la fertilidad del suelo y su capacidad de almacenar la humedad, además de lograr un equilibrio natural en las parcelas, que asegure procesos naturales de sanidad vegetal. Si bien existen algunas iniciativas de producción del nopal o tuna, estos esfuerzos no son suficientes para aprovechar el potencial agroindustrial de esta especie. En nuestro país, aún no se valora ni difunde las potencialidades que tiene la tuna, su importancia en la alimentación del ganado y del ser humano, tampoco se trabaja en el manejo técnico de la especie. Esta especie puede ser una alternativa alimenticia y de alguna manera ayudar al medio ambiente (Paucara, 2017). En consecuencia, se plantea esta investigación para contribuir al manejo técnico del cultivo, mediante la identificación de

niveles adecuados de poda con las cuales se maximice la producción de tuna en calidad y cantidad.

1.1. Antecedentes

El nopal es conocido en Bolivia como tuna y su producción se concentra en Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y La Paz, en áreas con 350-640 mm de lluvia anual y a altitudes de 1500 a 3000 m.s.n.m. En años recientes, el nopal ha sido promovido en los distritos de Pasorapa y Cochabamba, apoyados por el Centro de Investigación de Forrajes (CIF) y la Universidad San Simón de Pasorapa bajo el Programa de Desarrollo Agrícola Sustentable, en la región del Valle y el Chaco la producción de tuna se ha incrementado para llenar la demanda de forraje para el ganado de zonas áridas y semiáridas de Bolivia (Ochoa y Barbera, 2018).

En el departamento de La Paz, se tienen pocas investigaciones relacionadas con la tuna. Se destaca el trabajo realizado por Pucara (2017) quien realizó la Caracterización física y química de la tuna en el municipio de Luribay, provincia Loayza del departamento de La Paz. Con esta investigación se describieron las características cuantitativas de fruto: pulpa, cascara y semillas, asimismo, se reportaron resultados del análisis nutricional del fruto: valor energético, fibra, proteínas, grasas, cenizas, carbohidratos, minerales, vitaminas, cantidad de agua y cantidad de sacarosa. La variedad de color naranja destaca en altos niveles de vitamina A y C, Calcio, grasa, y ° Brix, seguida de la variedad de color rojo con altos cantidades de cenizas, valor energético, fósforo, fibra y carbohidratos y respecto a la variedad de color blanca altos niveles de proteína y humedad.

Los trabajos existentes en el país enfatizan en la introducción de la tuna y la descripción de sus características morfológicas y agronómicas, sin embargo, no hacen referencia al manejo técnico recomendado para maximizar la producción como riego, fertilización, poda y control fitosanitario y manejo postcosecha.

1.2. Planteamiento del problema

En el Municipio de Sapahaqui existen comunidades con extensas plantaciones de tuna con poca o ninguna atención del productor, debido a que es un cultivo marginal de sexto o séptimo lugar en importancia, después de la uva, durazno, ciruelo, pera, higo, hortalizas y flores.

Esta falta de atención al cultivo puede ser atribuido al desconocimiento de prácticas básicas de manejo de esta especie. Los productores se limitan a esperar la formación y maduración de la fruta, para proceder a la cosecha y comercialización de las frutas en mercados y ferias de las ciudades de El Alto y La Paz.

Los productores tienen conocimientos limitados sobre el manejo recomendado del cultivo, en su mayoría, no realizan remoción de suelo, abonado, riego, poda, y menos aún fertilizaciones y control fitosanitario. A estas condiciones se suma la falta de investigación de instituciones públicas y privadas para establecer técnicas adecuadas de manejo para mejorar la producción. Y hay poca información relacionada con la poda en la producción de tuna.

1.3. Justificación

En los últimos años la demanda de tuna se ha incrementado en las ciudades de El Alto y La Paz, los consumidores esperan la época de cosecha de tuna (enero a marzo) para adquirir la fruta apreciada por su sabor y por sus propiedades medicinales, a un costo de 1 Bs por tuna pelada, y en algunos casos 2 Bs por tunas grandes. Según los productores, el 100% de la producción de fruta es comercializada en poco tiempo, por mayor y por menor. En estas condiciones de alta demanda, los ingresos económicos están asegurados en beneficio de las familias. Esto significa que, con poco o ningún cuidado del cultivo, la venta y comercialización de fruta cosechada, está asegurada, aunque la producción de fruta sea baja.

Según experiencias de otros países productores de tuna, si se aplican prácticas de manejo como abonamiento, riego, podas, fertilización foliar, control de enfermedades y plagas insectiles, la producción de fruta puede incrementarse. Por esta razón el estudio de niveles adecuados de poda en variedades de tuna establecidas en campo para las condiciones edafoclimáticas de Chucavi es un trabajo de suma importancia que ayudara a mejorar la producción de fruta en la comunidad. Asimismo, con los resultados de este trabajo se contribuirá al conocimiento del manejo de la tuna para regiones semiáridas de La Paz, quedando pendientes estudios complementarios para reducir la incidencia de enfermedades y plagas insectiles presentes en las plantaciones, mejoramiento de los suelos con enmiendas de cal y abono entre otros.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluación del efecto de tres niveles de poda en la producción de tuna (*opuntia ficus - indica*) en la comunidad Chucavi, municipio de Sapahaqui.

1.4.2. Objetivos específicos

- Comparar las características morfológicas de plantas de tuna, resultado de la aplicación de tres niveles de poda.
- Determinar el rendimiento de frutos como efecto de la aplicación de 3 niveles de poda.
- Identificar el nivel óptimo de poda mediante el cual se maximice la producción de frutos para consumo familiar y comercialización.
- Determinar la relación beneficio costo (B/C) de la producción de tuna como efecto de tres niveles de poda en estudio.

1.5. Hipótesis

Ho = No existen diferencias en la cantidad, de nuevas pencas, flores y frutos obtenidos bajo tres niveles de poda en plantas de tuna.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen de la tuna (*Opuntia ficus indica*)

El interés del ser humano por los nopales data de miles de años, su origen e historia están íntimamente relacionados con las antiguas civilizaciones mesoamericanas; en particular con la cultura azteca. Existen evidencias arqueológicas que permiten afirmar que fueron las poblaciones indígenas asentadas en las zonas semiáridas las que iniciaron sus cultivos de forma normal (Pimienta, 1990; Sáenz, 2006).

Los nopales o tuna son originarios de América tropical y subtropical y hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre. Actualmente existen en forma silvestre o cultivada en el sur de España, y en toda la cuenca del Mediterráneo: Francia, Grecia, Italia y Turquía, llegando hasta Israel. Los árabes la llevaron desde España a África, difundiéndose en Argelia, Egipto, Eritrea, Etiopía, Libia, Marruecos y Túnez. Sin embargo, su distribución es aún mayor; en el continente americano, se encuentra desde Canadá a Chile, en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Estados Unidos de América, México, Perú, y Venezuela y varios países de América Central y el Caribe (Inglese *et al.* 2018).

Los mismos autores mencionan que en otros continentes se encuentra en Angola y Sudáfrica, en Australia y la India, existiendo especies tanto cultivadas como silvestres. En estos países, se encuentra parte de las más de 5000 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas del planeta y sus pueblos buscan especies que puedan desarrollarse y prosperar en ese peculiar y restrictivo hábitat.

2.2. Importancia del cultivo

De acuerdo a reportes de Inglese *et al.* (2018), en una zona semiárida, la *Opuntia ficus-indica*, es una especie muy favorable para sistemas agroforestales, debido a las siguientes razones centrales:

- a) Resistencia a la sequía.
- b) Tanto el nopal (penca tierna) como la fruta son alimentos saludables para el organismo humano.
- c) La penca es un forraje muy deseado por el ganado durante la época de sequía.

- d) Sus pencas protegen las especies tiernas en la vecindad contra la insolación, el viento y el mal tiempo, creando microambientes propicios.
- e) Las pencas cortadas y depositadas al fondo de un hoyo de plantación de un arbolito frutal, en un terreno muy suelto y/o pedregoso, sirven como barrera para que no se pierda el agua de riego en el subsuelo.
- f) Las especies frutales tienen una sobrevivencia mayor y desarrollan mejor cuando son asociadas con tuna, la diversificación de consorcios agroforestales con la tuna tiene muchas características favorables.

Angulo (2012), complementa lo descrito anteriormente indicando que, la planta de nopal es buena para las manos y labios partidos, cura las quemaduras y reduce los niveles de colesterol. Su fruta (tuna) evita el exceso de bilis. Las semillas combaten la fiebre. La raíz es buena para el tratamiento de la hernia, el hígado irritado y úlceras estomacales. La pulpa cura la diarrea y las flores son aptas para el tratamiento de cáncer de próstata.

2.3. Taxonomía del cultivo

La tuna o nopal es una cactácea de mucho valor a nivel mundial debido a sus múltiples usos y sus características de adaptación al cambio climático. Posee frutos dulces y apetecibles, sus pencas tiernas se usan como verdura y maduras se usan como forraje, además, se adapta a lugares áridos y semiáridos. Según Castro *et al.* (2009) la clasificación taxonómica de la tuna es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Opuntioideae

Género: *Opuntia*

Especie: *Ficus-indica*

Nombre científico: *Opuntia ficus-indica* L.

Nombre común: Nopal, tuna, higo de indias, palma forrajera

2.4. Morfología del cultivo

El Nopal o tuna es una planta muy fibrosa, alargada y gruesa, Crece superficialmente y se introduce con mucha facilidad en las grietas características. Muy útil para la conservación de los suelos. Presenta gran adaptación a las condiciones del suelo y del clima que normalmente vive. Cuando existe agua disponible, se estimula el desarrollo de la planta y la velocidad de absorción del agua y nutrientes es sorprendentemente alta, (Granados y Castañeda, 2003). La tuna prospera en lugares donde la temperatura media oscila entre 16 y 26°C (Orestes, 2009).

2.4.1. Raíz

El sistema radical del nopal es muy extenso y superficial, alcanzando una profundidad cercana a 80 cm, pero extendiéndose horizontalmente por varios metros. Es un sistema densamente ramificado, rico en raicillas finas absorbentes y superficiales (Sáenz *et al.*, 2006).

2.4.2. Tallo

Los nopales presentan numerosos tallos modificados denominados cladodios (conocidos vulgarmente como “paletas” o “pencas”). Los cladodios tienen forma ovoide, elíptica u oblonga, alcanzan una longitud de 33 – 60 cm y 18- 25 cm de ancho, son aplanados, con un grosor de 1.8 – 2.3 cm; color verde pálido a oscuro, con o sin espinas dependiendo de la variedad. Los tallos se lignifican con el tiempo y pueden llegar a transformarse en verdaderos tallos leñosos, agrietados, de color verde blanquizco o grisáceo (Sáenz *et al.*, 2006; Granados y Castañeda, 2003).

El tallo, a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde, en estas se realiza la fotosíntesis, pues estas reemplazan a las hojas con esa función. Se encuentran protegidas por una cutícula gruesa que, en ocasiones, está cubierta de cera o pelos que disminuyen la pérdida de agua, ya que poseen abundante parénquima. En este tejido, se almacena considerables cantidades de agua, lo que permite a las plantas soportar largos periodos de sequía (Rodríguez, 2017)

2.4.3. Hojas

Según Granados y Castañeda (2003) las hojas están profundamente transformadas, son únicamente visibles en la primera edad, tiene forma de gancho cónico y verde engrosado en la base a modo de botella en miniatura, en cuyas axilas se hallan las aureolas en las que se encuentran las espinas. Pasado un mes de su aparición empiezan a amarillar y en pocos días se desprenden, su disposición casi regular sobre el cladodio es una de las características de la tuna.

Las hojas caducas sólo se observan sobre tallos tiernos, cuando se produce la renovación de pencas, en cuyas axilas se hayan las areolas de las cuales brotan las espinas, de aproximadamente de 4 a 5 mm de longitud. Las hojas desaparecen cuando las pencas han alcanzado un grado de desarrollo y en cuyo lugar quedan las espinas (Granados y Castañeda, 2003).

2.4.4. Espinas

Es el órgano axilar o apendicular lignificado, puntiagudo y que posee tejidos vasculares a diferencia de las excrecencias, emergencias y tricomas que se presentan en otras plantas. Las espinas del género opuntia son hojas modificadas con haces vasculares en las bases y se forman desde el dermatógeno (Protoderm) y perisplemo (Desmógeno), al igual que las hojas (Sáenz et al., 2006; Granados y Castañeda, 2003).

2.4.5. Gloquidios

Son pequeñas espinas formadas por celulosa cristalina pura (Pntchard y Hall, 1976; citado por Domínguez, 1995). Algunas funciones atribuidas a espinas y gloquidios de opuntia son el de proporcionar defensas contra los herbívoros; diseminar tallos y frutos, proteger al cladodio de la irradiación solar, absorbiendo radiaciones de onda corta.

2.4.6. Flores

Las flores, de 7 a 10 cm de largo, son sésiles, hermafroditas, solitarias y de diversos colores y se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas (Granados y Castañeda, 2003). Las flores se abren a los 35 a 45 días de su brotación. Sus pétalos son de colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa. Sépalos numerosos de color amarillo claro a rojizo o blanco.

2.4.7. Frutos

Su fruto llamada tuna es una falsa baya ovoidal carnosa, de 5 a 10 cm de largo por 4 a 8 cm de diámetro y su color puede ser amarillo, anaranjado, rojo o purpúreo. La pulpa del fruto presenta numerosas semillas y es jugosa, mucilaginosa, azucarada muy aromática y muy nutritiva, mientras que su epidermis es parecida a la de los cladodios (Orestes, 2009).

Al respecto Granados y Castañeda (2003) indican que el fruto de tuna es una baya polispermo, carnosa, de forma ovoide esférica, sus dimensiones y coloración varían según la especie; presentan espinas finas y frágiles de 2 a 3 mm de longitud. Son comestibles, agradables y dulces. El fruto es de forma cilíndrica de color verde y toma diferentes colores cuando madura; la pulpa es gelatinosa conteniendo numerosas semillas.

2.5. Características ecológicas donde se cultiva la tuna

En las zonas áridas y semiáridas existen diferentes factores ambientales que limitan el crecimiento de las plantas, tales como temperaturas altas y bajas, escasez de agua y limitación en la disponibilidad de nutrientes. La evolución de las cactáceas en estos ambientes ha conducido a que las diferentes especies del género *Opuntia* desarrollen características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas que les permitan adaptarse a estas condiciones ambientales adversas (Castro *et al.*, 2009).

Los mismos autores mencionan que la proliferación masiva de ciertos tejidos parenquimatosos, asociados con un aumento en el tamaño de las vacuolas y una disminución en los espacios intercelulares, le permite a la planta acumular agua en breves períodos de humedad. Para su óptimo desarrollo, la planta requiere una temperatura anual entre los 18 y 25°C, aunque existen algunas especies resistentes a las bajas temperaturas donde pueden soportar hasta 16°C bajo cero por tiempos cortos. La tuna se desarrolla bien en climas áridos y muy áridos con lluvias de verano, es poco exigente en precipitación, ya que se le encuentra en zonas con lluvias de 125 mm al año, aunque los excesos de humedad pueden provocar enfermedades fungosas y daños por insectos.

2.6. Producción en Bolivia

La producción de nopal en Bolivia se concentra en los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Sucre, Tarija y La Paz, en áreas con 350-640 mm de lluvia anual y a altitudes de 1 500 a 3 000 m. En años recientes, el nopal ha sido promovido en los distritos de

Pasorapa y Cochabamba, apoyados por el Centro de Investigación de Forrajes (CIF) y la Universidad San Simón de Pasorapa bajo el Programa de Desarrollo Agrícola Sustentable, en la región del Valle y el Chaco la producción de tuna se ha incrementado para llenar la demanda de forraje para el ganado de zonas áridas y semiáridas de Bolivia (Ochoa y Barbera, 2018).

2.7. Poda

La poda es una práctica que regula la capacidad vegetativa y reproductiva de las plantas. Esa capacidad está definida genéticamente por la variedad y es fuertemente influenciada por las condiciones de clima, suelo y manejo del cultivo. Así, la poda es, junto con el raleo de frutos, la práctica cultural de mayor incidencia sobre los rendimientos y la calidad de los frutos y, por ende, influye significativamente en la rentabilidad del cultivo. La poda no sólo regula la carga frutal, también se producen otras respuestas en la planta, por lo que es necesario el conocimiento de los principios fisiológicos y sus efectos, para que se logre alcanzar la máxima rentabilidad y la sustentabilidad del cultivo en el tiempo (Ojer *et al.*, 2011).

2.7.1. Tipos de poda

Hay varios criterios para clasificar la poda, según sea su objetivo, tipo de corte, sistema de poda, época, intensidad o forma de efectuarla. A continuación, se describen los tipos de poda según Ojer *et al.* (2011).

2.7.1.1. Poda según su objetivo

Según el objetivo que se quiere alcanzar, la poda puede ser:

a) Poda de plantación

Se refiere a aquella que se realiza para regular o equilibrar la parte aérea y radicular en el momento de la plantación, cuando se inicia la formación del sistema de conducción de la planta. En general, se prefiere la eliminación de los brotes anticipados, para favorecer el crecimiento vigoroso que proviene directamente del tronco.

b) Poda de formación

De acuerdo con el sistema de conducción elegido, la poda de formación define la estructura o esqueleto de la planta. Si bien se asocia mayormente a la poda que se realiza los primeros

años la mantención de la estructura de los brazos, para favorecer la iluminación durante la vida productiva del árbol, requiere de podas correctivas que pueden ser consideradas como parte de la formación, en el sentido que conserva el esqueleto de la planta.

c) Poda de fructificación

La poda de fructificación o producción se realiza anualmente para regular la producción y asegurar la renovación de los elementos de fructificación. Durante los primeros años se superpone con la poda de formación.

2.7.1.2. Poda según tipo de corte

De acuerdo al tipo de corte la poda se clasifica en:

a) Poda de raleo o aclareo

La poda de raleo o aclareo se refiere a la eliminación de las ramas o brindillas desde su base. Induce crecimientos de vigor medio, en relación a eliminar la misma rama con un rebaje, pues “reparte” el crecimiento en el resto del árbol; esta poda permite un buen desarrollo de yemas de flor. La principal función es mejorar la iluminación en el interior de la planta y se practica regularmente para mantener el equilibrio en los brazos de los árboles durante toda la vida de éstos. Cuando se efectúa “en verde” (en primavera - verano) se llama desbrote (Ojer *et al.*, 2011).

b) Poda de despunte o rebaje

Se refiere a la poda que elimina sólo una parte de la rama, dejando una porción de ésta en el árbol. Este tipo de poda favorece el crecimiento vegetativo en el punto de corte, especialmente cuando se realiza en invierno. Cuando se efectúa en verde, se la llama “pinzamiento” o “pellizque”; en dicho caso, favorece el desarrollo de las yemas anticipadas que normalmente ocurren en el duraznero. En la “poda de rebaje” deben distinguirse dos situaciones diferentes. Cuando el corte se efectúa en una brindilla, tiene como respuesta la emisión de brotes vigorosos, justo por debajo del punto de corte; en cambio, cuando el rebaje se realiza en ramas cargadoras, en madera de dos o más años de edad, con el objeto de fijar el largo de los colgantes, o “hangers” (del inglés hang: colgar), el efecto es menos vigorizante; normalmente, a este último se le llama corte de “retroceso”. Cabe enfatizar que el tipo de corte utilizado es el que define el sistema de poda que se realiza. (Ojer *et al.*, 2011).

2.7.1.3. Poda según sistema de poda

Es posible distinguir dos sistemas de poda: larga y corta. La poda larga consiste en podar sin despunte o rebaje de ramas; la poda corta se realiza rebajando o despuntando las ramas. La poda corta asegura la renovación del material reproductivo, mediante los cortes permanentes de despunte y/o rebaje de ramas. En la poda larga, las ramas remanentes en las plantas no se rebajan ni se despuntan, y es el propio peso de los duraznos el que causa el arqueado de estos elementos, promoviendo la emisión de ramas para el ciclo siguiente, en la parte superior de las mismas. La combinación de los dos sistemas de poda en una misma planta se denomina “poda mixta”, y es utilizada por algunos productores, que aplican poda larga en la parte alta de los árboles y poda corta en la parte media y baja de éstos, en búsqueda de una mejor renovación de material reproductivo (Ojer *et al.*, 2011).

2.7.1.4. Poda según intensidad

Muchas veces se genera confusión a partir de la asociación entre sistema de poda e intensidad de poda. Si bien parece lógico que la poda larga es menos intensa que la corta, lo importante es que el productor debe incluir en su manejo la cuantificación de la poda a través del uso de parámetros fáciles de medir. Esto permite cambiar la evaluación cualitativa (intensa, media, poco intensa) por un concepto cuantitativo, que determina la disponibilidad de ramas y la carga potencial de frutos para la temporada en curso (Ojer *et al.*, 2011).

2.7.1.5. Poda según época

Según la época del año la poda se clasifica en:

a) Poda invernal o “seca”

Es la que se realiza durante el receso vegetativo, desde caída de hojas hasta antes de la brotación (Ojer *et al.*, 2011).

b) Poda de verano o “en verde”

Es la que se efectúa cuando la planta tiene hojas, es decir, en primavera-verano, desde que los brotes elongan, a mediados de primavera, hasta antes de la caída de hojas, cuando éstas aún están activas (Ojer *et al.*, 2011).

2.7.2. Sistemas de conducción y poda de plantas de tuna

La selección de un método apropiado de poda y conducción de las plantas está muy relacionada con el sistema de plantación, el marco de plantación y el espaciamiento seleccionado durante la fase de planeación de la huerta. La razón principal de la poda del nopal es para asegurar la intercepción del máximo de radiación fotosintéticamente activa (RFA) por los cladodios terminales (Inglese *et al.*, 2010).

La mayoría de los cladodios terminales expuestos a suficiente luz solar producirán botones florales), mientras que los cladodios sombreados usualmente cargan pocas flores o son infértiles totalmente. Por lo tanto, para asegurar alta absorción de CO₂ y fertilidad de cladodios, es importante prevenir el sombreado excesivo de los cladodios particularmente durante las últimas 8 semanas antes del inicio de la brotación de primavera. Otros beneficios de la poda incluyen; control del tamaño de la planta, formación de la planta como un seto, incremento de la producción de fruta, mejoramiento del tamaño de fruto, asimismo facilita la detección y control de plagas, facilita de cosecha y rejuvenecimiento de plantas viejas (Wessels, 1988; Pimienta Barrios, 1990; Barbera *et al.*, 1993; Nerd y Mizrahi, 1995; Cicala *et al.*, 1997; Hester y Cacho, 2003; citados por Inglese *et al.*, 2010)

Según Inglese *et al.* (2002a) entre el 20 al 30% de los cladodios terminales deben de ser removidos por la poda. Sin embargo, la poda excesiva reducirá el rendimiento y contribuirá a reforzar el crecimiento vegetativo de la siguiente temporada. Finalmente, todos los cladodios enfermos, dañados o pequeños deben de ser removidos durante la poda.

2.7.2.1. Poda de formación en tuna

La poda formativa empieza el primer año de establecimiento y es substituida por la poda de producción cuando la planta comienza a producir. El objetivo de la poda es dirigir el crecimiento vegetativo hacia la obtención de la forma deseada de planta. En países donde se usa la formación de seto en alta densidad, las plantas son podadas en forma piramidal en aquellos donde se usan marcos de plantación rectangulares, es común usar espaciamientos más amplios y se usan las formas de vaso o globo. Estas plantas no presentan tallos principales, lo cual resulta en plantas grandes con un alto número de cladodios terminales distribuidos alrededor de la porción exterior de la copa (Inglese *et al.*, 2002a; Targa *et al.*, 2013; Nasr, 2015; citados por Inglese *et al.*, 2018).

2.7.2.2. Poda de producción en tuna

Esta poda es útil para mantener un buen balance entre crecimiento vegetativo y reproductivo, con un número adecuado de cladodios terminales nuevos para la floración del año siguiente. La densidad de la copa de la planta de nopal es afectada por las condiciones ambientales, hábito de crecimiento de la variedad y distancias de plantación (Inglese *et al.*, 2002a).

La reducción de la densidad de la copa por medio de la poda facilita el manejo de la huerta (e. g. raleo de fruta, scozzolatura, cosecha) y contribuye a mejorar la calidad de la fruta). De preferencia la altura de planta no deberá exceder de 1.8 m, para evitar el uso de escaleras para llevar a cabo las prácticas de manejo de la planta (Potgieter, 2001; Nasr, 2015; Inglese *et al.*, 2002a; mencionados por Inglese *et al.*, 2018).

2.7.2.3. Poda de rejuvenecimiento en tuna

En el caso de plantaciones viejas de nopal, la senescencia de la copa y la reducción del rendimiento son notables, así como la producción alternada. El rejuvenecimiento de plantas viejas puede conseguirse podando la planta a una altura de 0.5m por encima del nivel del suelo.

Se deben de dejar únicamente 3-4 ramas principales bien espaciadas para el desarrollo correcto de la nueva planta. Para prevenir quemaduras de sol, la planta completa debe ser cubierta con pintura vinílica blanca, mezclada 1:1 con agua. Dado que la planta posee un sistema radicular bien establecido, reinicia la producción en 2-3 años después de la poda de rejuvenecimiento. Los nuevos cladodios recién desarrollados deben de ralearse para evitar la competencia entre ellos (Inglese *et al.*, 2018).

2.7.2.4. Poda de verano

La remoción completa de los nuevos cladodios en desarrollo en la primavera para reducir la competencia entre el crecimiento de fruta y vegetativo es una labor común en Sicilia. Sin embargo, esta práctica puede resultar en alternancia de la producción). La poda de verano no es recomendable en regiones con inviernos fríos, debido a que los cladodios desarrollados tardíamente no tienen tiempo suficiente para endurecerse antes de que llegue el invierno y podrían ser dañados por las heladas. Sin embargo, en Sudáfrica, se realiza el raleo de algunos de los cladodios en la primavera e inicios del verano. Los cladodios

jóvenes que crecen muy cerca de los frutos pueden causar rozaduras en la epidermis de la fruta, con lo cual pueden perder aceptación en el mercado debido a este daño cosmético (Inglese y Barbera, 1993; Inglese *et al.*, 2002b; Wessels, 1988b; Potgieter, 2001; citados por Inglese *et al.*, 2018).

Los mismos autores mencionan que la mejor época para podar es después de la cosecha, aproximadamente dos meses antes de la emergencia de las nuevas yemas florales. La poda tardía, especialmente de plantas muy densas puede resultar en exposición deficiente a suficiente radiación fotosintéticamente activa para hacerlos fértiles. En Sudáfrica la poda se realiza de abril a julio (otoño/invierno), cuando la planta no está creciendo activamente. De manera similar en México la poda se hace de noviembre a marzo (invierno).

2.7.3. Principios fisiológicos y efectos de la poda

De acuerdo a reportes efectuados por Ojer *et al.* (2011), los efectos de la poda en la fisiología de las plantas frutales son los siguientes:

2.7.3.1. Hábito de fructificación

Los efectos de la poda en árboles frutales se observan en el incremento de actividad fisiológica en yemas. Las plantas que son podadas frecuentemente adquieren hábito de fructificación. En cada nudo de una rama bien formada existen yemas vegetativas y frutales, que se activan y desarrollan en respuesta a la realización de podas (Ojer *et al.*, 2011).

2.7.3.2. Respuesta en crecimiento vegetativo y fructificación

a) Crecimiento vegetativo

El crecimiento vegetativo y la fructificación están inversamente relacionados, siendo antagónicos y competitivos. La poda estimula el vigor de la planta en el punto de corte, sea éste de rebaje o de despunte. A mayor intensidad en la poda de rebaje, más fuerte la respuesta en crecimiento vegetativo, menor número de brotes de mayor longitud, que van en detrimento del crecimiento reproductivo. El desequilibrio de una planta por una poda excesiva de rebaje está asociado a una reducción en la producción de esa temporada, debido a la disminución del número de yemas frutales y a la mayor caída de frutos, pues la poda induce un fuerte crecimiento de brotes, que compiten con los frutos recién cuajados, provocando su aborto. Por el contrario, en el caso de los cortes de raleo, el vigor se diluye en el resto de la rama o árbol, siendo el corte preferido para efectuar correcciones de formación. De la misma manera, una función importante de los cortes de raleo es eliminar

ramas vigorosas e improproductivas, mejorando la iluminación en el interior del árbol (Ojer *et al.*, 2011).

b) Fructificación

La poda tiende a retrasar la entrada en producción, por el efecto que tiene en la estimulación del vigor. En plantas jóvenes, en formación, la poda intensa -sobre todo de rebaje- retrasa marcadamente la entrada en fructificación. Por ello se recomienda disminuir o minimizar los cortes de rebaje, reemplazando los mismos por raleo de ramas, con el fin de poner rápidamente el cultivo en producción. En general, se puede decir que el desafío de la poda es inducir suficiente crecimiento vegetativo, para asegurar un área foliar bien iluminada, de alta eficiencia, que no compita con la fructificación (Ojer *et al.*, 2011).

c) Carga inicial de frutos

La conversión de flores a frutos es variable, de acuerdo a la especie frutal, en algunos casos el rango de 40 a 55%. La densidad floral es diferente entre variedades, pero como el porcentaje de cuaje es muy similar, la carga frutal en el momento del raleo está determinada por la densidad de floración de la variedad, lo que constituye un dato relevante a la hora de ajustar la intensidad de poda de cada una de ellas (Ojer *et al.*, 2011).

2.7.3.3. Respuesta según la época de poda

a) Poda invernal

La poda que se practica desde caída de hojas hasta antes de la brotación tiene efecto vigorizante. En plantas jóvenes es muy importante, porque dirige el crecimiento vigoroso inicial de la planta, lo que se complementa con podas “en verde”.

b) Poda “en verde”

Responde a diferentes propósitos, según la época y forma de realizarla, pues se logran distintos objetivos. Durante la formación de las plantas, se puede disminuir la competencia entre brotes. Así, el despunte o “pellizque” de los brotes, que compiten con aquellos seleccionados para formar la planta, atrasa momentáneamente su crecimiento y favorece el crecimiento de aquellos seleccionados, no intervenidos. Estos despuntes se hacen temprano en la temporada, cuando los brotes tienen 15 a 20 cm de longitud, e inducen una nueva brotación, que también deberá ser despuntada para asegurar el objetivo buscado. La diferenciación floral no sólo se mejora por la mayor disponibilidad de luz, sino también

porque se controla el crecimiento vegetativo exagerado, que es antagónico y competitivo. Al respecto, es importante resaltar la importancia de una poda en verde en la parte media y baja de las plantas, mediante el raleo de chupones, para asegurar una adecuada diferenciación floral (Ojer *et al.*, 2011).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en plantaciones de tuna ubicadas en la comunidad Chucavi perteneciente al Municipio de Sapahaqui, Provincia Loayza del departamento de La Paz. Geográficamente se encuentra a 17° 01'47" Latitud Sud, 67° 48' 03" Longitud Oeste y a una altura de 2726 m.s.n.m. (Google Earth, 2020).

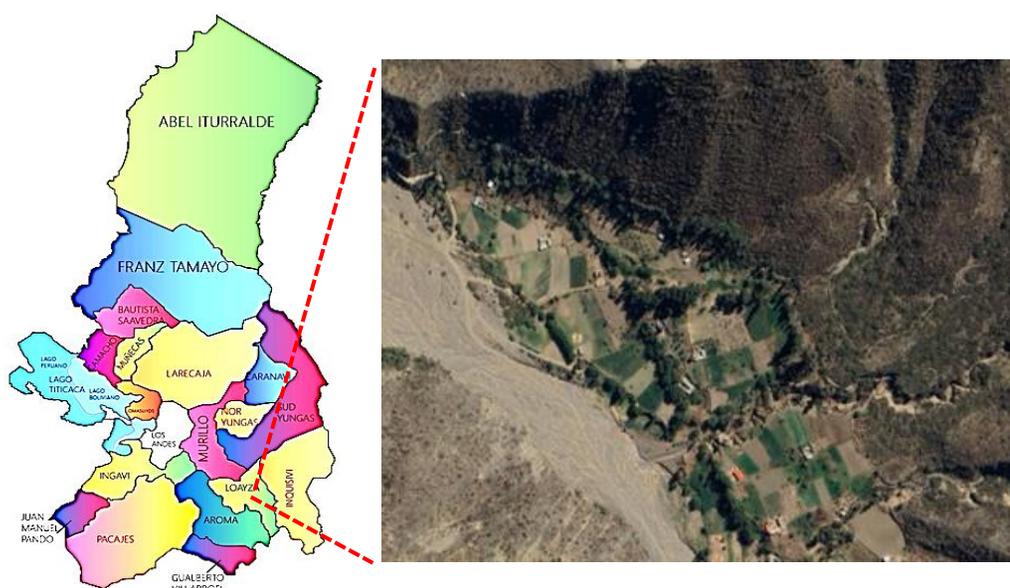


Figura 1. Ubicación geográfica de la comunidad Chucavi, Municipio de Sapahaqui, Provincia Loayza, La Paz. (Google Earth, 2020)

3.1.2. Características Edafoclimáticas

3.1.2.1. Clima

Según CIACER-GEOBOL (2020), el municipio de Sapahaqui, al que pertenece la comunidad Chucavi, climáticamente se encuentra en la clasificación: Clima Semiárido de verano templado e invierno templado (Eb1); Clima Semiárido de verano templado e invierno fresco (Eb2); Clima Subhúmedo Seco de verano e invierno cálido (b2). Con un índice hídrico de -40 a -20 y una evapotranspiración anual de 855 – 997 mm. Por lo que Sapahaqui cuenta

con un clima agradable, con un promedio anual de 20° C, en la época de lluvias el clima es variable.

3.1.2.2. Suelo

Según el Plan Territorial de Desarrollo Integral del Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui (PTDI GAMS, 2021), los suelos tanto los de valles como cabecera de valle presenta un aspecto edafológico diferente, se caracterizan por ser susceptibles a la erosión hídrica debido a la topografía accidentada y pendientes bien pronunciadas. La parte central de los valles de Sapahaqui son playas susceptibles a inundaciones por los ríos que atraviesan y en época de lluvia es totalmente anegado y peligroso, especialmente por el material de arrastre originado por las avenidas que son frecuentes, el contenido mínimo de materia orgánica en las serranías es baja, además el minifundio prevalente provoca el uso intensivo de los suelos ocasiona en forma paulatina la reducción de la fertilidad. El uso excesivo de abonos químicos está provocando que el suelo sufra procesos de degradación irreversibles. Este empleo indiscriminado hace que el suelo sufra procesos de degradación irreversibles. La consecuencia de esta degradación es el endurecimiento, la alta concentración de sales, el incremento de pH, pérdida de la estructura hace que pierda su capacidad de infiltración y mayor escorrentía que da lugar a la erosión hídrica.

La Comunidad Chucavi presenta un paisaje de llanura de pie de monte, con un grado de erosión ligera a moderada. Presenta suelos poco a moderadamente profundos, franco - arenosos a arcillosos, pobres a moderadamente fértiles. De acuerdo a la clasificación taxonómica de suelos, en esta comunidad se puede encontrar suelos Ochrepts, Ustalfs, Orthents, Fluvents, Orthids, Argids (PTDI GAMS, 2021).

3.1.2.3. Flora

El Municipio de Sapahaqui se caracteriza por presentar diversidad de especies botánicas propias de su territorio tanto en cabecera de valle como en el valle. Cabecera de valle, se caracteriza por la presencia de especies nativas como las gramíneas en sus diversas especies, arbustos o semiarbustos que crecen aislados formando pequeños grupos uniespecíficos y hierbas de porte bajo. En las laderas inclinadas se desarrollan gramíneas tufozas de los géneros *Stipa*, *Calamagrostis*, y alguna *Poa* que conforman matas frondosas aisladas al abrigo de las cuales crecen diversas especies herbáceas comunes. Los arbustos leñosos aparecen con alguna frecuencia entre las matas de las gramíneas o bien formando

pequeñas colonias que adquieren mayor importancia en los lugares rocosos, las más comunes son: Baccharis, Senecio, Wemeria, Azorella, y otros, y al abrigo de las rocas crecen herbáceas como Perezia, Cajophora, Nothotriche, Geranium, Calceolaria, Valeriana y otros. En el valle, la vegetación está compuesta por especies de monte espinoso y bosque espinosos. Entre las cuales tenemos: Acacia sp, Prosopis sp, Dodonaea viscosa, Aloyses sp, Carica sp, Ephedra amaricana, Scchinus molle. Se tiene una gran variedad de especies nativas, dentro de las cuales se pueden señalar: Las principales especies de los valles y que a su vez sirven como combustible son: kiswara, tico, k'opi, muña, chillca, thajo, cardo. Algunas de estas son utilizadas como forraje para animales y emplastos de uso medicinal. El eucalipto es utilizado por algunas familias como madera en la construcción y en algunos casos como combustible (PTDI GAMS, 2021).

3.1.2.4. Biogeografía

El municipio de Sapahaqui biogeográficamente, pertenece a la Región Andina Tropical, Provincia Yungueña Boliviana – Peruana, sector Yungas del alto Beni. Como es lógico, la vegetación y la fauna existente en esta provincia biogeográfica son propias y características en su variedad (PTDI GAMS, 2021).

3.2. Materiales

3.2.1. Material de estudio

Para el estudio se utilizó una plantación de tuna en producción, de más de 5 años de antigüedad.

3.2.2. Material de escritorio

Para el procesamiento de datos se utilizó: computadora, hojas y programas estadísticos.

3.2.3. Material de campo

Para la realización de este estudio se utilizaron los siguientes materiales de campo como: wincha métrica, estacas, picotas, tijeras de podar, guantes de goma, guantes de cuero, lentes protectores, barbijos, libro de campo y registros.

3.3. Metodología

3.3.1. Desarrollo del ensayo

3.3.1.1. Identificación de una plantación representativa

Inicialmente se identificó una plantación de tuna en producción situada en la comunidad Chucavi. Esta plantación presento plantas adultas, bien enraizadas y con 3 a 5 años de producción de fruta. Se seleccionó una plantación con una sola variedad de tuna.

3.3.1.2. Delimitación de bloques de investigación

Posteriormente se delimitaron 3 bloques de experimentación, adecuados a la superficie de la plantación. Se tuvo cuidado de que cada bloque tenga la misma dimensión y contenga similar cantidad de planta.



Figura 2. Delimitación del área de investigación y distribución de bloques

3.3.1.3. Delimitación de unidades experimentales

Al interior de cada bloque se delimitaron las unidades experimentales. Cada unidad experimental presentó la misma dimensión en los bloques y contenían similar cantidad de plantas en producción.



Figura 3. Delimitación de unidades experimentales

3.3.1.4. Control de malezas y limpieza de unidades experimentales

Posteriormente se realizó la limpieza de unidades experimentales y bloques de investigación. Esta actividad consistió en la eliminación de malezas y restos de pencas frutos de cosechas anteriores. Se tuvo cuidado de evitar una remoción profunda del suelo para no dañar las raíces superficiales de las plantas de tuna.



Figura 4. Realización de tres niveles de poda en plantas de tuna

3.3.1.5. Realización de poda bajo diferentes niveles

En esta fase de la investigación se realizó la poda de pencas en plantas de tuna según el diseño experimental y croquis del experimento. Se eliminaron 10%, 30% y 50% de las pencas en plantas productivas, principalmente se podaron pencas malformadas, débiles, con enfermedades, plagas y aquellas que dan sombra a la misma planta. Asimismo, se eliminarán botones florales y botones vegetativos en formación, para dar las mismas condiciones a las plantas en estudio.

3.3.1.6. Evaluación y seguimiento

La evaluación y seguimiento se realizó cada 23 días, observando y registrando cambios en el desarrollo del cultivo. Se cuantificaron los días transcurridos desde la poda hasta las diferentes fases fenológicas de floración y fructificación.

3.3.1.7. Evaluación a la cosecha de frutos

La mayor cantidad de variables cuantitativas y cualitativas se evaluó en la cosecha de frutos. Las variables de planta, cladodios, frutos y semillas se registraron en esta fase, los datos se registraron con flexómetro, vernier, regla, balanza electrónica y Cuadro de colores Munsell.



Figura 5. Cosecha y selección de frutos de tuna para evaluación

3.3.1.8. Análisis de la información

Finalmente, se analizó la información obtenida en base a Cuadros Excel, utilizando programas estadísticos que permitirá cuantificar los resultados y elaborar conclusiones de la investigación.

3.3.2. Diseño experimental

El trabajo de investigación se desarrolló bajo Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) que constó de tres repeticiones distribuidas en tres bloques (Ochoa 2009). Por lo que el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación cualquiera de plantas de tuna

μ = Media poblacional

β_j = Efecto de la j-ésimo bloque

α_i = Efecto de la i-ésimo tratamiento de poda

ϵ_{ij} = Error experimental

3.3.3. Tratamientos en estudio

Los tratamientos en estudio fueron los siguientes:

T_0 = Sin Poda (Testigo)

T_1 = Plantas con 10% de poda

T_2 = Plantas con 30% de poda

T_3 = Plantas con 50% de poda

3.3.4. Variables de respuesta

Las variables fenológicas se evaluaron considerando el estado fenológico del total de plantas en cada unidad experimental. Las observaciones se realizaron una vez por semana y se registró el número de días transcurridos desde el momento de la poda.

Las variables morfológicas y agronómicas, se evaluaron en plantas adultas, maduras, de al menos 2 a 3 años de producción de fruta. Similarmente, los Cladodios fueron de dos a tres años de edad (con evidencias de que hubiese tenido brotes), las observaciones y mediciones de las aréolas se realizaron en la zona central de una de las caras del cladodio. Para el registro de variables cualitativas se considerará el total de plantas de cada unidad

experimental, mientras que las variables cuantitativas se evaluaron en 10 plantas seleccionadas al azar en cada unidad experimental.

3.3.4.1. Días a la formación de botones vegetativos (cladodios) (DBP)

Registro del número de días transcurridos desde la poda hasta que el 70% de las plantas presenten el primer botón vegetativo que dará origen a un nuevo cladodio (penca).

3.3.4.2. Grosor de cladodio (GRC)

El grosor del cladodio se midió en centímetros (cm) con un calibrador vernier, en la parte central del cladodio.



Figura 6. Evaluación del grosor de cladodio

3.3.4.3. Largo de Cladodio (LAC)

El largo de cladodio se midió en centímetros (cm) con un flexómetro o cinta métrica, desde la base hasta la parte apical del cladodio.



Figura 7. Evaluación del largo del cladodio

3.3.4.4. Ancho de Cladodio (ANC)

La variable, ancho de cladodio, se midió en centímetros (cm) con un flexómetro o cinta métrica, en la parte central y más ancha del cladodio.



Figura 8. Evaluación del ancho del cladodio

3.3.4.5. Número de areolas en la cara (CAR)

Para esta variable se registró de la cantidad de areolas presentes en la cara del cladodio evaluado.

3.3.4.6. Número de areolas en la contracara (CAD)

Se cuantificó la cantidad de areolas presentes en la contracara del cladodio evaluado.



Figura 9. Evaluación del número de areolas en la cara y en la contracara del cladodio

3.3.4.7. Número de areolas en la cresta (ACR)

El número de areolas en la cresta del cladodio, se registró mediante el conteo de areolas presentes en el borde superior del cladodio evaluado.

3.3.4.8. Cantidad de botones florales (BFL)

Para esta variable, se registró de la cantidad de botones florales desarrollados por cladodio y por planta, como efecto fisiológico de la poda.



Figura 10. Evaluación del número de botones florales en el cladodio

3.3.4.9. Cantidad de botones vegetativos (pencas) (BPE)

Similarmente a la anterior variable, se registró de la cantidad de botones vegetativos desarrollados por cladodio y por planta, como efecto fisiológico de la poda.



Figura 11. Evaluación del número de botones vegetativos en el cladodio

3.3.4.10. Altura de la planta (ALT)

La altura de planta se midió en centímetros (cm) con un flexómetro, desde el cuello de la raíz hasta la parte apical de la planta de tuna. Promedio de 10 plantas.



Figura 12. Evaluación del número de botones vegetativos en el cladodio

3.3.4.11. Rendimiento de frutos por cladodio (RFC)

Para esta variable, se registró de la cantidad de frutos desarrollados y maduros por cladodio como efecto fisiológico de la poda.



Figura 13. Evaluación de rendimiento de frutos por cladodio

3.3.4.12. Peso total de fruto (PTF)

El peso total de fruto se registró en gramos, considerando el peso promedio de 10 frutos seleccionados al azar, utilizando una balanza electrónica.

3.3.4.13. Diámetro del fruto (DFR)

El diámetro de fruto se midió en centímetros (cm) con un vernier, en la parte central, ancha, del fruto. Promedio de 10 frutos maduros.



Figura 14. Evaluación del diámetro de fruto de tuna

3.3.4.14. Longitud del fruto (LFR)

La longitud de fruto se midió en centímetros (cm) con un flexómetro o regla, desde la base hasta la parte apical del fruto. Promedio de 10 frutos maduros.



Figura 15. Evaluación de la longitud de fruto de tuna

3.3.5. Análisis estadístico

3.3.5.1. Análisis de varianza

Con los datos obtenidos se elaboró una matriz básica de datos ($n \times p$) para las variables evaluadas. En base a esta matriz se realizará el Análisis de Varianza (ANVA) para cada variable, considerando el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). Para las variables que muestren diferencias significativas y altamente significativas se realizara la Prueba de Medias Duncan. Los análisis estadísticos anteriormente mencionados se realizaron con los módulos del programa InfoStat.

3.3.5.2. Prueba de medias

Cuando se desea comprobar si los valores de una característica que es posible cuantificar difieren al agruparlas en dos o más grupos, hablaremos de comparación de medias. La comparación de medias en un sentido más general, abarca la comparación de los valores de una variable continua según los valores de una variable (o factor) que se puede resumir en dos o más categorías y que englobaríamos dentro de las pruebas para datos independientes, así como la comparación de los valores de una variable continua evaluada en dos o más momentos en el tiempo e incluidas dentro de las pruebas para datos apareados.

3.3.5.3. Análisis de regresión lineal simple

El análisis de regresión determina la forma probable de relación entre dos variables (la ecuación que relaciona a ambas variables) cuando hay un fenómeno de causa y efecto; y su objetivo principal es el de predecir o estimar el valor de una variable (respuesta o dependiente (Y)), correspondiente al valor dado de la otra variable (explicativa o independiente (X)) (Marques *et al.*, 2007).

Los mismos autores mencionan que el primer paso a realizar en el estudio de la relación entre dos variables es el diagrama de dispersión que consiste en representar los pares de valores (X_i, Y_i) como puntos en un sistema de ejes cartesianos X Y. Debido a la variación del muestreo los puntos estarán dispersos. Si los puntos muestran una tendencia lineal positiva o negativa se puede ajustar una línea recta que servirá entre otras cosas para predecir valores de Y correspondientes a valores de X. Según como se presenten los puntos

se podrá establecer si la relación es lineal o no lineal, y si es positiva o negativa. El análisis de regresión puede ser lineal, no lineal (curvilíneo), lineal simple o lineal múltiple; el lineal simple se ocupa sólo de dos variables y el múltiple de tres o más variables. El modelo matemático ajusta los resultados en una recta llamada Recta de Regresión o Recta de Ajuste utilizando el método de mínimos cuadrados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Días a la formación de botones vegetativos (cladodios) (DBP)

Los resultados de análisis de varianza para los días transcurridos desde la poda hasta la formación de botones penca (DBP) se presentan en el Cuadro 1. Según estos resultados, existe diferencias significativas en el tiempo que transcurre desde la poda hasta la aparición de botones penca, es decir, que cada nivel de poda registro diferente tiempo en la formación de botones que dieron lugar a la formación de pencas de tuna. El coeficiente de variación para esta variable fue de 11,64% que refleja que los datos se encuentran en el rango de aceptación para este tipo de investigación.

Cuadro 1. Análisis de varianza para días a la formación de botones vegetativos en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	45,5	22,75	2,85	0,1346 NS
Tratamientos	3	214,92	71,64	8,99	0,0123 *
Error	6	47,83	7,97		
Total	11	308,25			
CV (%)	11,64				

* $p < 0.05$ NS: $p > 0.05$

El resultado de la prueba de medias de Duncan a un nivel de significancia (5%), muestra la conformación de tres grupos de plantas de tuna con similar tiempo transcurrido desde la poda hasta la formación de botones penca, debido a la existencia de diferencias estadísticas significativas en esta variable como efecto de tres niveles de poda (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de medias Duncan ($p > 0,05$) para días a la formación de botones vegetativos en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

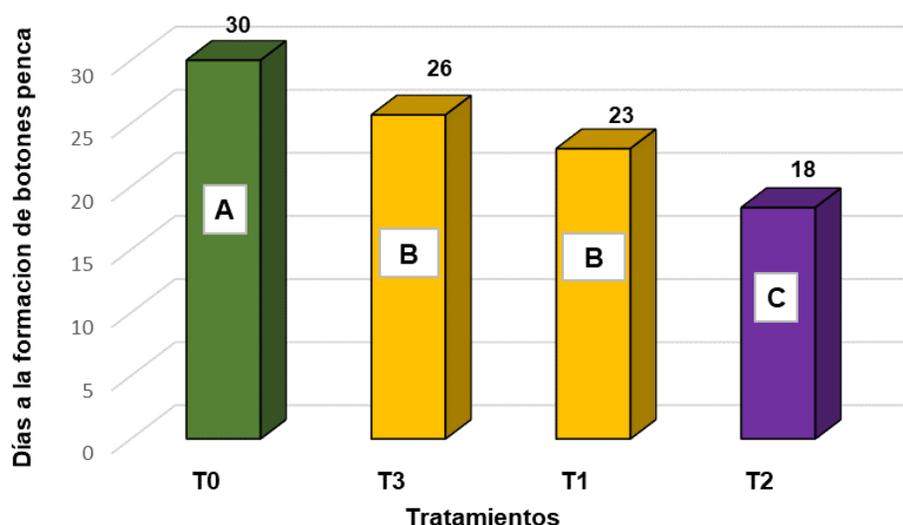
Nivel de poda	Promedio (Días)	Duncan ($\alpha = 5\%$)
T0 (Sin poda)	30	A
T3 (50% poda)	25	B
T1 (10% poda)	23	B
T2 (30% poda)	18	C

El primer grupo de significancia (Grupo A), está conformado por el tratamiento sin poda (T0) estas plantas de tuna no podadas comenzaron a formar botones vegetativos a los 30 días después de iniciar los tratamientos de poda.

El segundo grupo de significancia (Grupo B), se conformó por los tratamientos T3 (50% poda) y T1 (10% de poda) que formaron botones penca después de 26 y 23 días, luego de la poda.

Finalmente, en el tercer grupo de significancia (Grupo C) las plantas de tuna sometidas a un nivel de poda de 30% (T2), fueron las primeras en formar botones penca a los 18 días en promedio, luego de la poda.

La Figura 16, muestra que existió 12 días de diferencia entre el tratamiento que inicio la formación de botones y el tratamiento que tardó más en formar botones penca, +se observa los grupos de plantas formadas por la prueba de medias Duncan, en base a la cantidad de días promedio transcurridos desde la poda hasta que las plantas formaron botones penca.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 16. Agrupación de Duncan ($p > 0,05$) para días a la formación de botones vegetativos en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Estos resultados indican, que el nivel poda realizada en plantas de tuna, tiene un efecto significativo en el tiempo de formación de botones pencas. En consecuencia, las plantas de

tuna podadas, formaran botones penca entre 18 y 26 días. Existen pocos estudios que mencionan el tiempo de formación de botones vegetativos luego de una poda en tuna, sin embargo, la referencia más cercana a los resultados encontrados en esta investigación, es la mencionada por Mateus (2018) quien reportó que el tiempo de formación de brotes vegetativos fue a los 25 días promedio, en un estudio de propagación vegetativa de tuna en campo.

4.2. Grosor de cladodio (GRC)

De acuerdo a los resultados de análisis de varianza para el grosor de cladodio (Cuadro 3), existe diferencias estadísticas significativas en los tratamientos de poda realizados a plantas de tuna.

Los niveles de poda realizados a plantas de tuna tuvieron un efecto en el grosor de los nuevos cladodios, las plantas de tuna con menor nivel de poda tuvieron cladodios de mayor grosor, en cambio, las plantas con mayor proporción de poda presentaron cladodios delgados. Sin embargo, con ningún nivel de poda se llegó al grosor de cladodios del testigo (Plantas sin poda).

El coeficiente de variación del grosor de cladodios en plantas de tuna podadas, fue de 21.53%, valor que indica que los datos son confiables y están dentro del rango de aceptación en este tipo de investigaciones.

Cuadro 3. Análisis de varianza para grosor de cladodios de plantas de tuna, bajo tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,19	0,09	1,14	0,3815 NS
Tratamientos	3	2,07	0,69	8,47	0,0141 *
Error	6	0,49	0,08		
Total	11	2,74			
CV (%)	21,53				

* $p < 0.05$ NS: $p > 0.05$

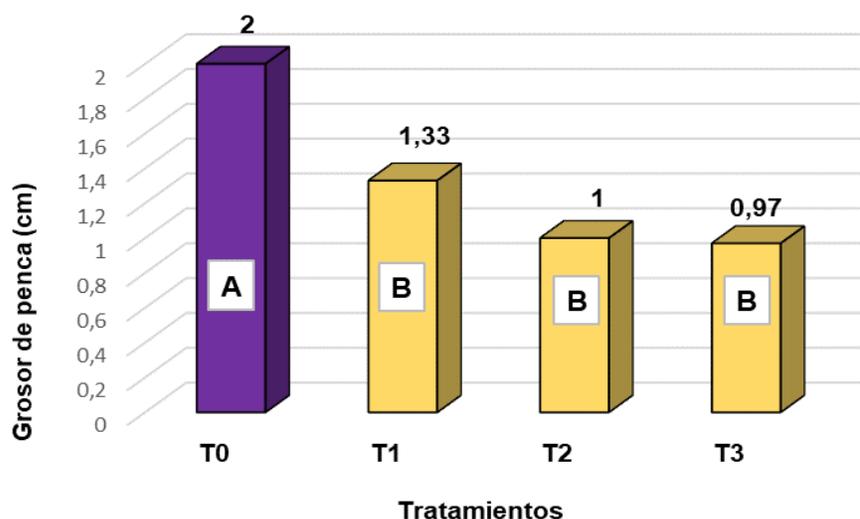
El Cuadro 4 y Figura 14, muestra los resultados de la prueba de medias Duncan a un nivel de significancia del 95%, según este procedimiento, se conformaron 2 grupos de significancia en base al grosor de cladodios registrados. Se advierte que el segundo grupo

de significancia (Grupo B), está conformado por los tres tratamientos de poda (T1, T2 y T3), en los cuales, los grosores de nuevos cladodios variaron de 0.97 a 1.33 cm en promedio, diferencias poco significativas respecto al grosor de cladodios del testigo (Grupo A), que tuvo 2 cm de grosor.

Cuadro 4. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para grosor de cladodios en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Tratamientos	Promedio	Duncan ($\alpha = 5\%$)
T0 (Sin poda)	2,00	A
T1(10% poda)	1,33	B
T2 (30% poda)	1,00	B
T3 (50% poda)	0,97	B

Según estos resultados, los tratamientos de poda en plantas de tuna tuvieron efecto en el grosor de los cladodios, sin embargo, ninguno de ellos alcanzo el grosor de los cladodios de las plantas de tuna del testigo, en un tiempo de desarrollo de más de 200 días después de efectuar esta labor cultural.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 17. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para grosor de cladodios en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Estos resultados son similares a los reportados por Reyes-Agüero *et al.* (2005) quienes, en su artículo titulado Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-indica*

(L.) MILL. (Cactaceae) mencionan que, que el grosor de los cladodios de la tuna varía de 1.8 a 2.3 cm, con un área de 356 a 1182 cm², por lo general son de color verde pálido.

El grosor de nuevos cladodios tuvo un incremento constante, desde el día de poda, aparición de botones vegetativos hasta el desarrollo de cladodios, en más de 200 días de evaluación.

El Cuadro 5 presenta los resultados del análisis de regresión para el grosor de cladodio de tuna, registrado en tres tratamientos de poda y un testigo: T1 = 10% de poda, T2 = 30% de poda, T3 = 50% de poda y T0 = Testigo sin poda.

Los coeficientes de regresión (r) para los tratamientos T1, T2 y T3, fluctúan entre 0.794 y 0.9361, valores que muestran que existe alta asociación entre el tiempo transcurrido y el grosor del cladodio luego de realizar la poda de cladodios. Es decir que, como es lógico, el grosor del cladodio aumenta, a medida que transcurre el tiempo desde la poda, a mayor tiempo transcurrido, mayor será el grosor del cladodio.

En el caso del testigo absoluto T1, el coeficiente de regresión indica que, en un intervalo de 23 días entre evaluaciones, se espera que el grosor del cladodio aumente en 0.11 cm en promedio.

Cuadro 5. Análisis de regresión para grosor de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Tratamiento	Regresión (r)	r ² X 100%	100% - r ²	b	Ecuación (y = a + bx)
T0	0,0088	0,88	99,12	0,0033	Y = 2,0056+0,0033 x
T1	0,9361	93,61	6,39	0,11	Y = 0,35 + 0,11 x
T2	0,794	79,4	20,6	0,083	Y = 0,342 + 0,083 x
T3	0,6717	67,17	32,83	0,074	Y = 0,469 + 0,074 x

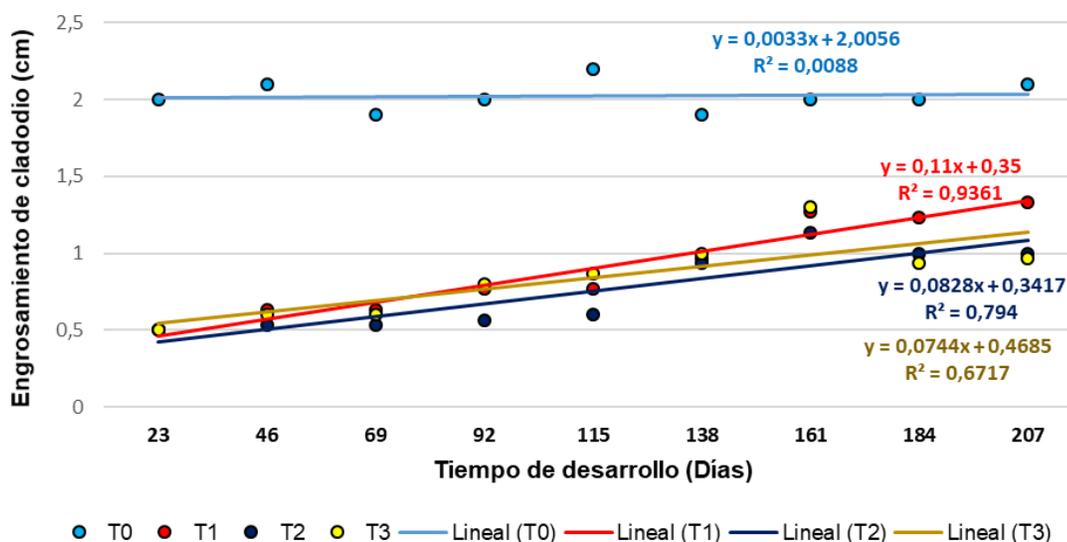
Fuente: Elaboración propia (2024).

Asimismo, el coeficiente de determinación indica que el 93.61% de los valores de grosor de cladodio registrados, se encuentran representados en la recta de regresión y están asociados al tiempo de desarrollo de los nuevos cladodios en condiciones de campo, el

restante 6.39% de los valores de grosor de cladodio se encuentra fuera de la recta de regresión debido a que son influenciados por otros factores además del tiempo de cultivo (Cuadro 5 y Figura 18).

En el caso de los tratamientos con diferentes niveles de poda: T2 y T3, los coeficientes de regresión indican que, en un intervalo de 23 días entre evaluaciones, se espera que el grosor del cladodio aumente en 0.083 cm y 0.074 cm en promedio, respectivamente.

Asimismo, los coeficientes de determinación de estos tratamientos oscilan entre 67.17 % y 79.4 %, e indican que más del 67 % de los valores de grosor de cladodio registrados, se encuentran representados en las rectas de regresión y están altamente asociados al tiempo de desarrollo del cultivo de tuna, en condiciones de campo, los restantes valores de grosor de cladodio se encuentra fuera de la recta de regresión debido a que son influenciados por otros factores además del tiempo de cultivo (Cuadro 5 y Figura 18).



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 18. Grafica de regresión lineal para grosor de cladodios de tuna bajo tres tratamientos de poda y un testigo

De acuerdo a las curvas de regresión lineal de la Figura 18, el testigo T0 (plantas de tuna sin poda) mantuvo el grosor de sus cladodios, en cambio, los tratamientos T1, T2 y T3 tuvieron un efecto positivo y creciente en el grosor de sus cladodios. El tratamiento T1, con un nivel de 10% de poda de cladodios, registro el mayor aumento en el grosor de los nuevos

cladodios en 207 días de desarrollo. En los tratamientos con 30% de poda (T2) y 50% de poda (T3) el incremento del grosor de nuevos cladodios fue menor en el mismo tiempo de desarrollo.

Los tratamientos T2 y T3, tuvieron coeficientes de regresión de $r = 0.794$ y $r = 0.6717$, respectivamente. Estos valores, próximos a 1, indican que en estos tratamientos existió alta asociación, entre el tiempo de desarrollo del cultivo y el aumento en el grosor de cladodios en 207 días de desarrollo. Similares resultados fueron reportados por López *et al.* (2013) quienes estudiaron en crecimiento de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en la zona central de Veracruz, México, estos autores mencionaron que el grosor de los cladodios fue mayor con el transcurso de los meses de crecimiento, encontraron diferencias estadísticas en los tiempos 30, 60, 120, 180 días después de plantadas. Los cladodios empezaron el aumento de engrosamiento a partir de los 30 después de la brotación.

4.3. Largo de cladodio (LAC)

Los resultados de análisis de varianza para el largo de cladodio, se presentan en el Cuadro 6. Este análisis mostro que no existen diferencias estadísticas significativas en la longitud de cladodios, entre tratamientos de poda realizados a plantas de tuna. El coeficiente de variación fue 8.29%, valor que indica que los datos registrados se encuentran dentro del rango de aceptación para la investigación, además de ser la expresión de la baja dispersión de los datos registrados.

Cuadro 6. Análisis de varianza para largo de cladodios de plantas de tuna, bajo tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	104,67	52,33	5,61	0,0423 NS
Tratamientos	3	97	32,33	3,46	0,0913 NS
Error	6	56	9,33		
Total	11	257,67			
CV (%)	8,29				

NS: $p > 0.05$

Los resultados en el largo de cladodios promedio entre tratamientos y testigo registran diferencias numéricas (Cuadro 7), sin embargo, estas diferencias no son significativas desde el punto de vista estadístico. El tratamiento T1 (10% poda) registró los cladodios más

largos (39,67 cm en promedio), contrariamente, el tratamiento T1 (10% poda) presentó los cladodios más cortos (33,67 cm).

Según el Cuadro 7, las diferencias en la media entre tres niveles de poda y el testigo se encuentran en un rango de variación de 6 cm, entre cladodios de menor y mayor longitud. Estos resultados indican que el efecto de niveles de poda sobre el largo del cladodio de tuna, es mínima y poco significativa.

Cuadro 7. Promedios del largo de cladodios de plantas de tuna, bajo tres niveles de poda

Tratamientos	Promedio
T1 (10% poda)	39,67
T0 (Sin poda)	39,67
T3 (50% poda)	34,33
T2 (30% poda)	33,67

Estos resultados son similares a los reportados por Reyes-Agüero *et al.* (2005) quienes reportaron que el largo de cladodios, de dos a tres años de edad, fluctúan entre 32 y 44 cm de largo. Asimismo, Molina (2001) encontró valores diferentes en el largo máximo de cladodios, en su investigación titulada Caracterización, ordenación y clasificación numérica en nopal (*Opuntia spp*) mediante atributos morfológicos y físico-químicos, reporto que el largo de cladodios en variedades de tuna, varía de 24.5 cm a 48.88 cm.

Según el Cuadro 8, los coeficientes de regresión (r) para los tratamientos T1, T2 y T3, fluctúan entre 0.8912 y 0.9023, valores que muestran que existe alta asociación entre el tiempo transcurrido y el incremento en el largo de cladodio. Es decir que, como es lógico, los nuevos cladodios aumentan su longitud, a medida que transcurre el tiempo desde el día de aparición de botones vegetativos, a mayor tiempo de cultivo de tuna en campo, luego de la poda, mayor será la longitud de los nuevos cladodios.

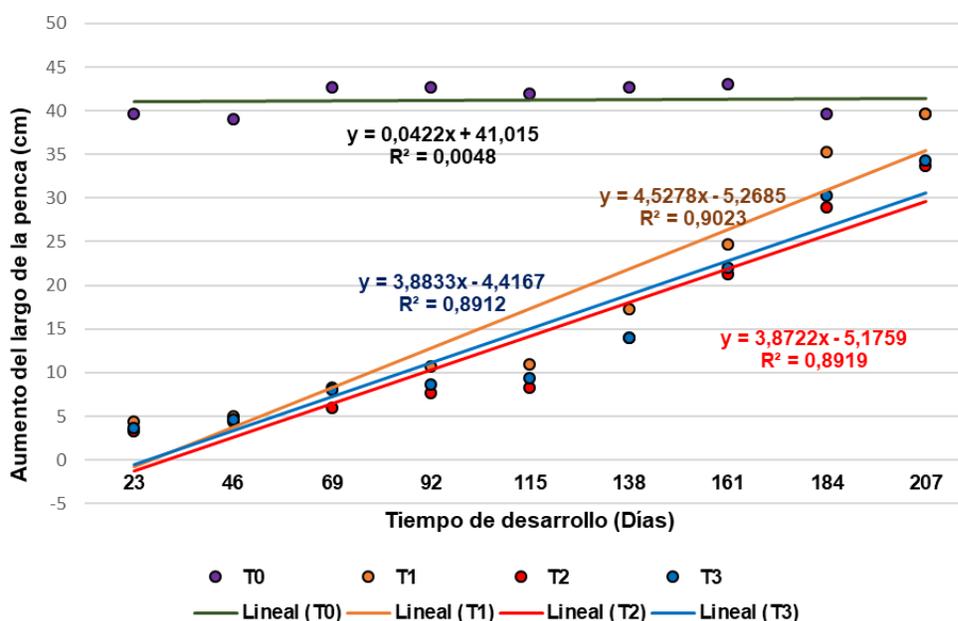
El tratamiento T1 (con 10% de poda) tuvo el mayor coeficiente de regresión de 0.9023 que indica que más del 90 % de los datos registrados se encuentran representados en la curva de regresión de este tratamiento. El restante 9.77 % de los datos están alejados de la curva de regresión. De acuerdo a los resultados del tratamiento T1, en un intervalo de 23 días entre evaluaciones, se espera que la longitud de cladodio aumente en 4,53 cm en promedio.

Cuadro 8. Análisis de regresión para largo de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Tratamiento	Regresión (r)	r ² X 100%	100% - r ²	b	Ecuación (y = a + bx)
T0	0,0048	0,48	99,52	0,0422	Y = 41,015+0,0422 x
T1	0,9023	90,23	9,77	4,53	Y = 4,53 x - 5,27
T2	0,8919	89,19	10,81	3,87	Y = 3,87 x - 5,18
T3	0,8912	89,12	10,88	3,88	Y = 3,88 x - 4,42

Fuente: Elaboración propia (2024).

En el caso de los tratamientos con diferentes niveles de poda: T2 y T3, los coeficientes de regresión fueron similares, indicando que, en un intervalo de 23 días entre evaluaciones, se espera que la longitud de cladodios aumente en 3.87 cm y 3.88 cm en promedio, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 19. Gráfica de regresión lineal para largo de cladodios de tuna bajo tres tratamientos de poda y un testigo

Asimismo, los coeficientes de determinación de estos tratamientos oscilan son muy similares de 89.12 % y 89.19 %, e indican que más del 89 % de los valores de la longitud

de cladodio registrados, se encuentran representados en las rectas de regresión y están asociados al tiempo de desarrollo del cultivo en campo (207 días), los restantes valores de largo de cladodio se encuentra fuera de la recta de regresión debido a que son influenciados por otros factores además del tiempo de cultivo (Cuadro 8 y Figura 19).

Las tendencias de crecimiento en la longitud de los cladodios de la investigación fueron similares a los resultados reportados por López *et al.* (2013) quienes indicaron que conforme transcurrió el tiempo el tamaño de los cladodios aumentaron y fue diferente al transcurrir el tiempo para algunas variedades de tuna en estudio.

4.4. Ancho de cladodio (ANC)

Los resultados de análisis de varianza para el ancho de cladodio se presentan en el Cuadro 9. Según estos resultados, el ancho de cladodio en los tres tratamientos de poda no mostró diferencias estadísticas significativas, comparadas con el tratamiento testigo (Sin poda).

Cuadro 9. Análisis de varianza para ancho de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	41,17	20,58	13,98	0,055 *
Tratamientos	3	5,67	1,89	1,28	0,3624 NS
Error	6	8,83	1,47		
Total	11	55,67			
CV (%)	6,12				

* $p < 0.05$ NS: $p > 0.05$

El coeficiente de variación del ancho de cladodio fue relativamente bajo, 6.12%, valor que indica que el ancho de cladodio es similar entre los tratamientos de poda y el testigo, en más de 200 días de evaluación.

El tratamiento T1 (10% poda) presento cladodios anchos de 20,67 cm en promedio, contrariamente, el tratamiento T3 (50% poda) registró cladodios delgados de 19 cm. Estos resultados indican que los anchos promedio de cladodios, en plantas podadas y no podadas, presentaron un rango de variación de 1.67 cm, es decir que, la diferencia es mínima.

Según estos resultados, se infiere que el efecto del nivel de poda en plantas de tuna no influyo en un mayor crecimiento del ancho del cladodio. Sin embargo, los cladodios de plantas podadas crecen con rapidez a lo ancho, para incrementar su superficie fotosintética que le permita mejorar sus condiciones fisiológicas luego del estrés que ocasiona la poda.

Cuadro 10. Promedios del ancho de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Tratamiento	Promedio
T1 (10% poda)	20,67
T0 (Sin poda)	20,33
T2 (30% poda)	19,33
T3 (50% poda)	19

Estos resultados son similares a los reportados por Reyes-Agüero *et al.* (2005) quienes reportaron que el ancho de cladodios de dos a tres años de edad, fluctúan entre 18 y 25 cm de ancho. Al respecto Molina (2001), reporto que el ancho de cladodios en variedades de tuna, varia de 14.13 cm a 29.63 cm.

El Cuadro 11 presenta los resultados del análisis de regresión de la variable ancho de cladodio para tres tratamientos de poda realizada en plantas de tuna: T1 = 10% de poda, T2 = 30% de poda y T3 = 50% de poda.

Cuadro 11. Análisis de regresión para ancho de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Tratamiento	Regresión (r)	r ² X 100%	100% – r ²	b	Ecuación (y = a + bx)
T0	0,0138	1,38	98,62	0,017	Y = 20,29 + 0,017 x
T1	0,9372	93,72	6,28	2,25	Y = 2,25 x – 1,1204
T2	0,9646	96,46	3,54	2,24	Y = 2,24 x – 1,22
T3	0,9329	93,29	6,71	2,267	Y = 2,267 x – 2,56

Fuente: Elaboración propia (2024).

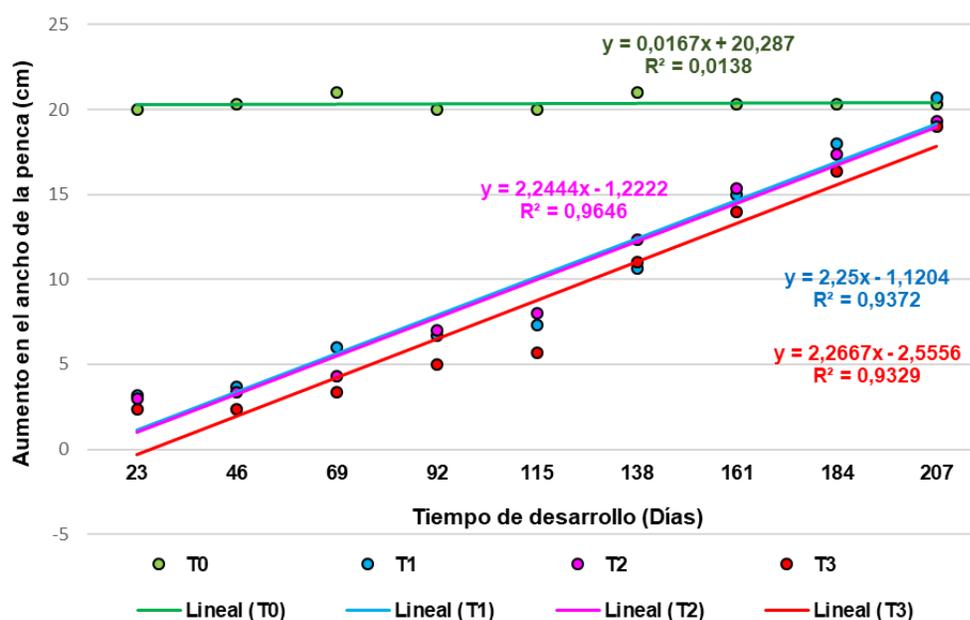
Los coeficientes de regresión (r) para los tratamientos T1, T2 y T3, fluctúan entre 0.9329 y 0.9646, valores que muestran que existe alta asociación entre el tiempo transcurrido y el incremento en el ancho de los nuevos cladodios de tuna. Es decir que, a medida que

transcurre el tiempo desde la aparición de botones vegetativos en condiciones de campo, mayor será el ancho de los cladodios.

En el caso del tratamiento T1, el coeficiente de regresión indica que, en un intervalo de 23 días entre evaluaciones, se espera que el ancho del cladodio aumente en 2,267 cm en promedio.

Asimismo, el coeficiente de determinación indica que el 93.27% de los valores de ancho de cladodio registrados, se encuentran representados en la recta de regresión y están asociados al tiempo de desarrollo del cultivo en condiciones de campo (> a 200 días), el restante 6.71% de los valores de ancho de cladodio se encuentra fuera de la recta de regresión debido a que son influenciados por otros factores además del tiempo de cultivo.

Similar comportamiento fue registrado en el tratamiento T3, que se manifiesta en una similar recta de regresión lineal que el tratamiento T1, las diferencias en el ancho de cladodio de estos dos tratamientos de poda fueron mínimas. Es decir que el crecimiento del ancho de cladodio es similar si una planta fue podada al 10% o al 50% (Figura 20).



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 20. Grafica de regresión lineal para para ancho de cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

En el caso del tratamiento T2 el coeficiente de regresión indica que, en un intervalo de 23 días entre evaluaciones, se espera que el ancho de cladodio aumente en 2.24 cm en promedio. El coeficiente de determinación de este tratamiento fue de 96.46 % que indica que los valores de ancho de cladodio registrados, se encuentran representados en la recta de regresión y están altamente asociados al tiempo de desarrollo del cultivo de tuna en condiciones campo.

Corroborando lo anteriormente descrito, la Figura 20 muestra que las rectas de regresión lineal de los tratamientos T1 y T3 están casi superpuestas debido a que tuvieron similares datos de ancho de cladodio en más de 200 días de crecimiento.

El ancho final de cladodio de los tres tratamientos, se aproxima al ancho de cladodio del testigo que no se podó. Según estos resultados es posible deducir preliminarmente que las plantas de tuna podadas, forman nuevos cladodios que tienden a alcanzar el ancho máximo de cladodio en el menor tiempo posible (> a 200 días) con el propósito de aumentar la superficie fotosintética, es decir que, las plantas podadas de tuna tienden a priorizar el crecimiento de los cladodios a lo ancho, más que a lo largo.

Las tendencias del aumento del ancho de los cladodios de la Figura 20, son similares a los resultados de López *et al.* (2013), quienes reportaron que el incremento promedio del ancho del cladodio fue lento a lo largo de los 12 meses en tres variedades en estudio.

Al final del experimento se obtuvo un incremento de 2.8 a 6.4 cm, esto podría deberse a que algunas variedades se adaptaron mejor a las condiciones ambientales de Angostillo. El aumento del ancho de cladodios fue diferente respecto a la longitud, se piensa que las variedades ocuparon la energía para los procesos fisiológicos en el incremento de la longitud de cladodio.

4.5. Número de areolas en la cara del cladodio (CAR)

Los resultados de análisis de varianza para el número de areolas en la cara del cladodio se presentan en el Cuadro 12. Según estos resultados, el número de areolas en la cara de los cladodios, mostró diferencias estadísticas significativas, entre tratamientos de poda en estudio, con un coeficiente de variación de 6.12% que expresa la poca dispersión de los datos registrados y que los datos tienen alta confiabilidad. Estos resultados muestran que

existe efecto de los niveles de poda efectuados en la cantidad de areolas en la cara de los cladodios evaluados.

Cuadro 12. Análisis de varianza para número de areolas de la cara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	93,17	46,58	0,44	0,6628 NS
Tratamientos	3	1382,33	460,78	4,36	0,049 *
Error	6	634,17	105,69		
Total	11	2109,67			
CV (%)	6,12				

* $p < 0.05$ NS: $p > 0.05$

El primer grupo de significancia (Grupo A), está formado por los tratamientos T1 (plantas de tuna con 10% de poda) y T2 (plantas de tuna con 30% de poda), que registraron 66 y 61 areolas en promedio, en la cara del cladodio. El segundo grupo de significancia (Grupo B), está conformado por los tratamientos T3 (plantas de tuna con 50% de tuna) y T0 (plantas de tuna sin poda), registraron 44 y 41 areolas en promedio, respectivamente. Como la cantidad de areolas son próximas, la prueba de medias Duncan las junto en un solo grupo.

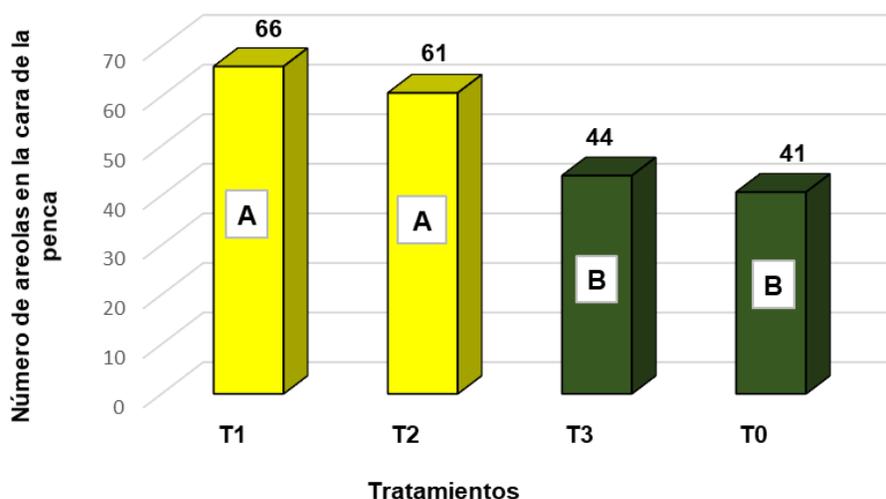
Cuadro 13. Comparación de medias Duncan ($p > 0,05$) para número de areolas de la cara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Tratamientos	Promedio	Duncan ($\alpha = 5\%$)
T1 (10% poda)	66	A
T2 (30% poda)	60,67	A
T3 (50% poda)	44	B
T0 (Sin poda)	40,67	B

La Figura 21 muestra gráficamente el resultado de la prueba de medias Duncan realizada al número de areolas en la cara de los cladodios, para los tratamientos de poda y el testigo. Se advierte que existió diferencias entre la cantidad de areolas para nivel de poda. La mayor cantidad de areolas en la cara de cladodios se presentaron en plantas de tuna con 10% y 30% de poda.

Estos resultados son similares a los reportados por Molina (2001), quien encontró que el número de areolas en la cara de los cladodios varía de 30 a 53, dependiendo de la variedad.

Asimismo, Reyes-Agüero *et al.* (2005) indican que las areolas de cladodios desarrollados fluctúan entre 52 y 69 areolas por cara, con densidad de 8 a 14 aréolas por cada 100 cm².



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 21. Agrupación de Duncan ($p > 0,05$) para número de areolas de la cara del cladodio en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

El Cuadro 14 presenta los resultados del análisis de regresión del número de areolas en la cara del cladodio para los tratamientos de poda en estudio: T1 = 10% de poda, T2 = 30% de poda y T3 = 50% de poda.

Los coeficientes de regresión (r) para los tratamientos T1, T2 y T3, fluctuaron entre 0.7161 y 0.8058, valores que muestran que existe asociación entre el tiempo transcurrido y el incremento del número de areolas en la cara de los cladodios. Es decir que, a medida que transcurre el tiempo desde la poda y el desarrollo de botones vegetativos, la cantidad de areolas en la cara de los cladodios, se incrementa. Los tratamientos T1 y T2 con niveles de 10% y 30% de poda registraron coeficientes de regresión muy próximos, valores que indican que, en un intervalo de 23 días entre evaluaciones, se incrementan 6 areolas en promedio, en la cara de los cladodios de ambos tratamientos (Cuadro 14).

El coeficiente de determinación del tratamiento T1 indica que el 71,61% de los valores del número de areolas registrados, se encuentran representados en la recta de regresión y están asociados al tiempo de desarrollo de los cladodios en condiciones de campo. El

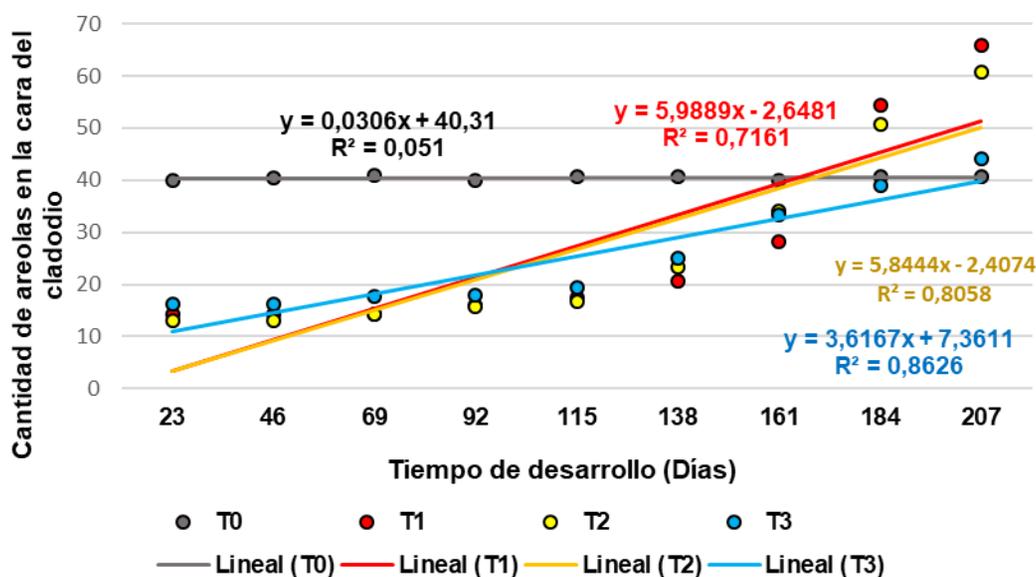
restante 28.39% de los valores se encuentra fuera de la recta de regresión debido a que son influenciados por otros factores además del tiempo de desarrollo de los cladodios (Cuadro 14 y Figura 22).

Cuadro 14. Análisis de regresión para número de areolas de la cara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Tratamiento	Regresión (r)	r ² X 100%	100% - r ²	b	Ecuación (y = a + bx)
T0	0,051	5,1	94,9	0,031	Y = 40,31 + 0,031 x
T1	0,7161	71,61	28,39	5,99	Y = 5,99 x - 2,65
T2	0,8058	80,58	19,42	5,84	Y = 5,84 x - 2,41
T3	0.8626	86,26	13,74	3,62	Y = 3,62 x + 7,36

Fuente: Elaboración propia (2024).

En el caso del tratamiento T3, el coeficiente de regresión indica que, en un intervalo de 23 días entre evaluación, se espera que se desarrollen 4 areolas en promedio en la cara de los cladodios.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 22. Gráfica de regresión lineal para número de areolas de la cara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Asimismo, el coeficiente de determinación de este tratamiento fue de 86.26%, e indican que más del 86.0 % de los valores registrados, se encuentran representados en la recta de regresión y están altamente asociados al tiempo de desarrollo de los cladodios en condiciones de campo, los valores restantes de esta variable, se encuentra fuera de la recta de regresión debido a que son influenciados por otros factores además del tiempo de cultivo.

Según los resultados de la Figura 22, las rectas de regresión de los tratamientos al 10% (T1) y al 30% de poda (T2), son similares, se encuentran muy próximas indicando que la cantidad de areolas aumenta en la misma cantidad, en ambos tratamientos. Asimismo, se advierte que la cantidad final de areolas en la cara de los cladodios, en todos los tratamientos fue mayor, respecto al tratamiento testigo en la que no se realizó poda.

4.6. Número de areolas en la contracara (CAD)

El Cuadro 15 muestra los resultados de análisis de varianza realizada al número de areolas en la contracara de los cladodios, en los tratamientos de poda en estudio, a un nivel de significancia de 5%. De acuerdo a estos resultados, la diferencia en la cantidad de areolas en la contracara de los cladodios, como efecto de tres niveles de poda, es significativa, desde el punto de vista estadístico. El coeficiente de variabilidad para esta variable fue de 23.48%, este valor muestra que los datos experimentales son confiables, debido a que está por debajo del valor recomendado y es adecuado para este tipo de investigación.

Cuadro 15. Análisis de varianza para número de areolas de la contracara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	78,17	39,08	0,34	0,7223 NS
Tratamientos	3	1362,25	454,08	3,99	0,0504 *
Error	6	682,5	113,75		
Total	11	2122,92			
CV (%)	23,48				

* $p < 0.05$ NS: $p > 0.05$

Al realizar la prueba de Duncan para el número de areolas en la contracara de los cladodios, se identificaron tres grupos de significancia (Cuadro 16). El primer grupo de significancia (Grupo A) corresponde a los tratamientos T1 y T2 que registraron 56 y 54 areolas en

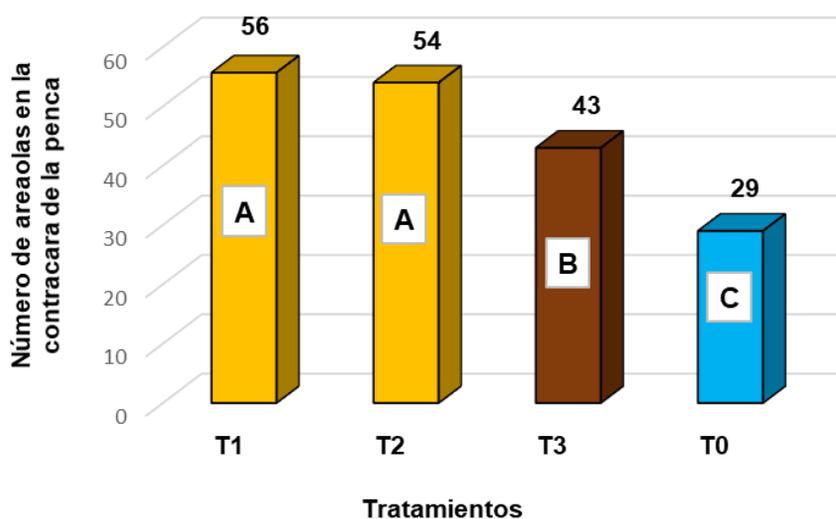
promedio respectivamente. Estos valores son muy próximos y por esta razón se encuentran en un solo grupo.

Cuadro 16. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para número de areolas de la contracara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Tratamientos	Promedio	Duncan ($\alpha = 5\%$)
T1 (10% poda)	55,67	A
T2 (30% poda)	54	A
T3 (50% poda)	43	B
T0 (Sin poda)	29	C

El segundo grupo de significancia (Grupo B) corresponde al tratamiento T3 que, con 50% de poda, registró 43 areolas en la contracara de los cladodios, en promedio. En el tercer grupo de significancia (Grupo C), se encuentra el tratamiento T0, que registro 29 areolas en la contracara, en promedio.

Según la Figura 23, la diferencia en la cantidad de areolas en la contracara de los cladodios respecto al testigo, es significativa. Las plantas podadas en los tratamientos, registraron entre 43 y 56 areolas en la contracara de los cladodios, cantidad superior al registrado en el testigo que tuvo 29 areolas en la contracara.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 23. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para número de areolas de la contracara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Respecto a esta variable, Molina (2001) reportó que la cantidad de areolas en la contracara del cladodio, varía de 29 a 57 areolas. Por su parte, Reyes-Agüero *et al.* (2005) indican que las areolas de cladodios desarrollados fluctúan entre 52 y 69 areolas por cara, con densidad de 8 a 14 areolas por cada 100 cm².

El Cuadro 17 presenta los resultados del análisis de regresión del número de areolas en la contracara de los nuevos cladodios de los tres tratamientos de poda en estudio. Los coeficientes de regresión (r) para los tratamientos T1, T2 y T3, fluctuaron entre 0.8157 y 0.8481, valores que muestran que existe asociación entre el tiempo transcurrido desde la poda y la cantidad de areolas en la contracara de los cladodios. Es decir que, a medida que transcurre el tiempo desde la poda, los nuevos cladodios tendrán mayor cantidad de areolas en la contracara.

Cuadro 17. Análisis de regresión de para número de areolas de la contracara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda.

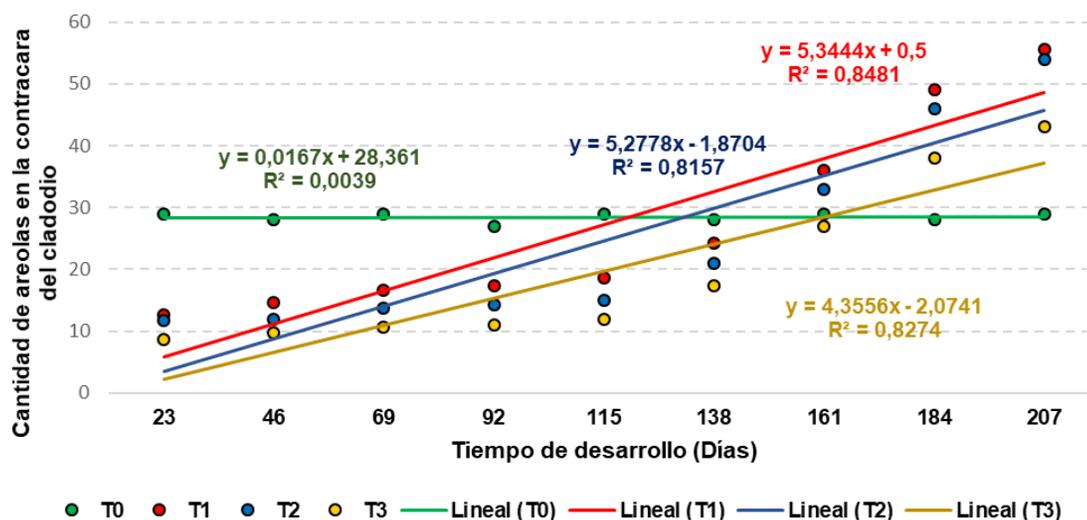
Tratamiento	Regresión (r)	r ² X 100%	100% – r ²	b	Ecuación (y = a + bx)
T0	0,0039	0,39	99,61	0,017	Y = 28,36 + 0,017 x
T1	0,8481	84,81	15,19	5,34	Y = 0,5 + 5,34 x
T2	0,8157	81,57	18,43	5,28	Y = 5,28 x – 1,87
T3	0,8274	82,74	17,26	4,36	Y = 4,36 x – 2,07

Fuente: Elaboración propia (2024).

Los coeficientes de regresión de los tratamientos T1 y T2, indican que, en un intervalo de 23 días entre evaluaciones, se espera que la cantidad de areolas en la contracara de los cladodios aumenten en 5 unidades en promedio. Por su parte, el tratamiento T3, registro un coeficiente de regresión próximo a los otros tratamientos, sin embargo, se espera que, en 23 días de intervalo de evaluación, la cantidad de areolas aumente en 4 unidades.

El coeficiente de determinación de los tratamientos en estudios, fluctuaron entre 81.57% y 84.81%. Según estos resultados, más del 80% de los datos registrados en los tratamientos, se encuentran representados en las rectas de regresión respectivas, los valores restantes se encuentran fuera de las rectas de regresión debido a que son influenciados por otros factores además del tiempo de cultivo (Cuadro 17 y Figura 24).

En la Figura 24 se muestra que las rectas de regresión de los tratamientos T1 y T2 se encuentran muy próximas y registran la similar tendencia. Se advierte también que, todos los tratamientos en estudio, registraron mayor cantidad de areolas en la contracara de los cladodios en comparación con el testigo. Estos resultados indican que los niveles de poda en plantas de tuna, tienen un efecto en la cantidad de areolas en la contracara de los cladodios.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 24. Gráfica de regresión lineal para número de areolas de la contracara del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

4.7. Número de areolas en la cresta (ACR)

La cresta en los cladodios de tuna, se constituye en una parte importante de la planta debido a que, es en este lugar se desarrollan los botones florales y que dan origen a los frutos de tuna. El análisis de varianza (ANVA) para esta variable, indica que diferencias en el número de areolas en la cresta de los cladodios, no fueron significativos.

Estos resultados indican que, los niveles de poda no afectaron significativamente a la cantidad de areolas en la cresta de los cladodios, si bien, existen diferencias, los valores son muy próximos entre plantas podadas y las plantas no podadas. El coeficiente de variación para esta variable fue de 32.98%, valor aceptable para este tipo de investigación.

Cuadro 18. Análisis de varianza para para número de areolas de la cresta del cladodio, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	18,5	9,25	0,16	0,8579 NS
Tratamientos	3	122,92	40,97	0,7	0,5871 NS
Error	6	352,83	58,81		
Total	11	494,25			
CV (%)	32,98				

NS: $p > 0.05$

Como se mencionó anteriormente, el análisis de varianza mostró que no existen diferencias estadísticas significativas en el número de areolas de la cresta de los cladodios, de plantas de tuna podadas y no podadas. Sin embargo, existió diferencias numéricas en la cantidad de areolas en la cresta de los cladodios, con el tratamiento de 10% de poda se obtuvieron la mayor cantidad de areolas en la cresta (28 areolas), en cambio, con el tratamiento testigo, sin poda se tuvo la menor cantidad de areolas (19 areolas). Los tratamientos T2 (30% poda) y T3 (50% poda) presentaron 22 y 24 areolas en promedio, respectivamente.

La cantidad de areolas en la cresta de los cladodios presentados en este estudio se encuentran en el rango descrito por Molina (2001) quien estableció que el número de areolas en la cresta de los cladodios varía de 31 a 50 areolas, dependiendo de la variedad.

4.8. Cantidad de botones florales (BFL)

El Cuadro 19 presenta los resultados del análisis de varianza realizado a la variable cantidad de botones florales. Se advierte que el efecto de diferentes niveles de poda sobre la cantidad de botones florales formados, fue altamente significativo a un nivel de significancia del 5%, por lo cual se realizó la prueba de medias Duncan.

Cuadro 19. Análisis de varianza para la cantidad de botones florales presentes en plantas de tuna, bajo tres niveles de poda.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	7,17	3,58	3,15	0,1163 NS
Tratamientos	3	144,92	48,31	42,41	0,0002 **
Error	6	6,83	1,14		
Total	11	158,92			
CV (%)	20,99				

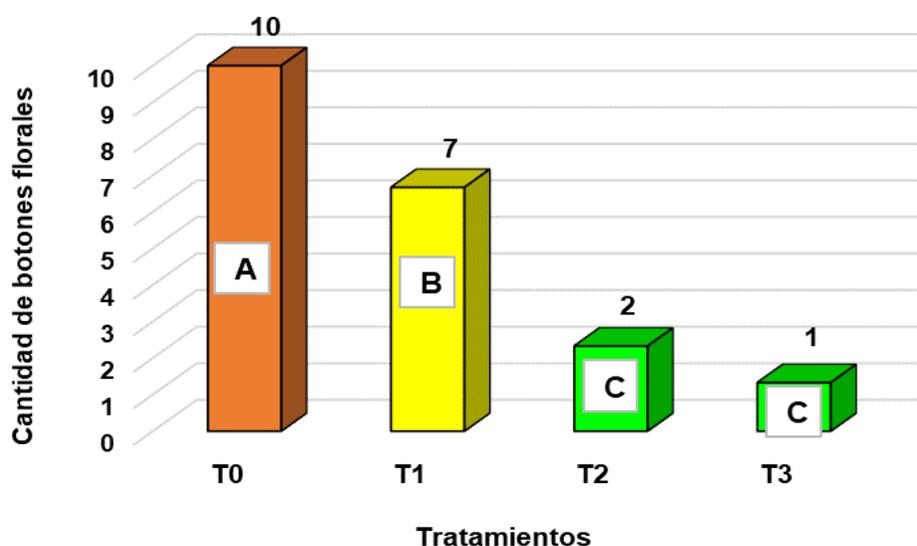
** $p < 0.05$ NS: $p > 0.05$

El coeficiente de variación fue del 20.99 %, el mismo indica que los datos obtenidos en la investigación son confiables y están dentro del rango de aceptación para este tipo de trabajos.

Cuadro 20. Comparación de medias Duncan ($p > 0,05$) para la cantidad de botones florales presentes en plantas de tuna, bajo tres niveles de poda.

Tratamientos	Promedio	Duncan ($\alpha = 5\%$)
T0 (Sin poda)	10	A
T1 (10% poda)	7	B
T2 (30% poda)	2	C
T3 (50% poda)	1	C

La prueba de medias Duncan para la cantidad de botones florales, resultado del efecto de tres niveles de poda, permitió identificar 3 grupos de significancia, de similares valores promedio (Cuadro 20 y Figura 25). El primer grupo de significancia (Grupo A) muestra la mayor cantidad de botones florales por cladodio, que se alcanzó con el testigo, en el que no se realizó poda. El segundo grupo de significancia (Grupo B) correspondió al tratamiento T1 (10% de poda) con la que se alcanzó a formar 7 botones florales en promedio.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 25. Agrupación de Duncan ($p > 0,05$) para la cantidad de botones florales presentes en plantas de tuna, bajo tres niveles de poda.

Según el Cuadro 20 y Figura 25, el tercer grupo de significancia (Grupo C) se conformó por los tratamientos T2 y T3 en las que se aplicó poda al 30% y 50%, respectivamente. En ambos tratamientos la cantidad de botones florales fue reducido, alcanzando la formación de 1 y 2 botones florales por cladodio, en promedio.

Estos resultados indican que existe efecto significativo del nivel de poda y la cantidad de botones florales, se evidencia que, en el primer año de evaluación, las plantas con mayores niveles de poda, registraron menores cantidades de botones florales. Asimismo, se puede inferir que, a mayor nivel de poda, menor será la cantidad de botones florales, en el primer año después de la poda.

4.9. Cantidad de botones vegetativos (cladodios) (BPE)

Respecto a la cantidad de botones vegetativos que darán lugar a la formación de nuevos cladodios, el análisis de varianza mostró que las diferencias entre tratamientos de poda no fueron estadísticamente significativas a un nivel de significancia del 5%.

Cuadro 21. Análisis de varianza para la cantidad de botones vegetativos en plantas de tuna, bajo tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	36,17	18,08	0,52	0,6171 NS
Tratamientos	3	83,58	27,86	0,81	0,5344 NS
Error	6	207,17	34,53		
Total	11	326,92			
CV (%)	31,91				

NS: $p > 0.05$

El coeficiente de variación fue del 31.91 %, el mismo indica que los datos obtenidos en la investigación son confiables y están dentro del rango de aceptación para este tipo de trabajos.

De acuerdo a los resultados encontrados se comprobó que existen diferencias numéricas en la cantidad de botones vegetativos en plantas podadas y no podadas, sin embargo, no son estadísticamente significativas, es decir que, la cantidad de botones vegetativos formados no pueden atribuirse específicamente a los niveles de poda efectuados, pudiendo existir otros factores por los cuales se generaron esa cantidad de botones vegetativos.

El tratamiento testigo T0, registro la menor cantidad de botones vegetativos en promedio (14 botones), en cambio, los tres tratamientos en estudio tuvieron mayor cantidad de botones vegetativos (18 a 21 botones).

Los tratamientos T2 (30% de poda) y T3 (50% de poda) registraron la mayor cantidad de botones vegetativos, 21 y 20 botones, respectivamente, que puede atribuirse a la respuesta fisiológica de las plantas podadas, para tratar de reponer la superficie fotosintética perdida en las podas, en consecuencia, las plantas de tuna podadas, en el primer año después de efectuarse la poda, priorizan el desarrollo de cladodios, más que inflorescencias y frutos.

En estudios similares, Aguilar (1991) reporto resultados diferentes a los presentados en esta investigación. Las experiencias de este autor en la producción de nopal (tuna) en el área de Chapingo México, indicaron que la cantidad de brotes vegetativos por planta, oscilo entre 1 y 5 brotes por planta, debido al efecto de factores ambientales que se presentan en las diferentes épocas del año influyen en la brotación, crecimiento y desarrollo del cladodio.

4.10. Altura de planta (ALT)

El análisis de varianza (ANVA) para la variable altura de planta se muestra en el Cuadro 22. De acuerdo a estos resultados, las diferencias de altura de planta del testigo vs tratamientos, fueron significativos. Estos resultados indican que la aplicación de niveles de poda en plantas de tuna, tienen un efecto estadísticamente significativo en la altura de planta.

Cuadro 22. Análisis de varianza para la altura de planta de tuna, sometidas a tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,06	0,03	0,86	0,471 NS
Tratamientos	3	0,42	0,14	4,18	0,0504 *
Error	6	0,2	0,03		
Total	11	0,67			
CV (%)	12,32				

* $p < 0.05$; NS: $p > 0.05$

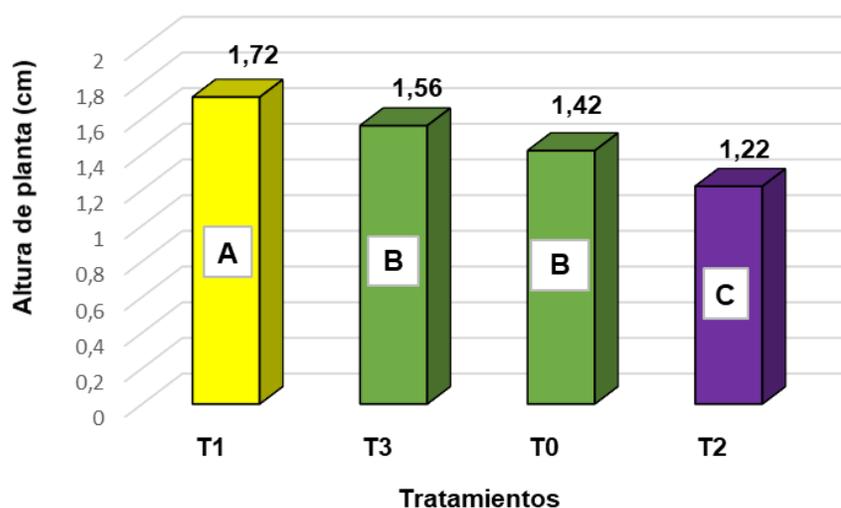
El coeficiente de variación fue del 12.32 %, el mismo indica que los datos obtenidos en la investigación son confiables y están dentro del rango de aceptación para este tipo de trabajos. Los resultados del Cuadro 23, mostraron diferencias estadísticas significativas en

la altura de planta, a un nivel de significancia del 5%, por lo cual se realizó la prueba de medias Duncan, que permitió identificar 3 grupos de significancia de similares valores de altura de planta (Cuadro 23 y Figura 26). El primer grupo de significancia (Grupo A) muestra la mayor altura de planta con una media de 172 cm, que se alcanzó con el tratamiento T1 (10% de poda).

Cuadro 23. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para la altura de planta de tuna, sometidas a tres niveles de poda

Tratamientos	Promedio	Duncan ($\alpha = 5\%$)
T1 (10% poda)	172	A
T3 (50% poda)	156	B
T0 (Sin poda)	142	B
T2 (30% poda)	122	C

El segundo grupo de significancia (Grupo B) correspondió a los tratamientos T3 (50% de poda) y T0 (Sin poda) que registraron valores comprendidos entre 142 y 156 cm de altura, en promedio.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 26. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para la altura de planta de tuna, sometidas a tres niveles de poda

Finalmente, el tratamiento T2 en la que se aplicó 30% de poda, conformó el tercer grupo de significancia (Grupo C) que registro la menor altura de planta, 122 cm en promedio.

En trabajos similares Reyes-Agüero *et al.* (2005), reportaron que las plantas arbustivas y arborescentes de tuna presentan 1.7 m de altura en promedio, con un tallo primario lignificado, bien definido de color castaño oscuro, verde o gris, cilíndrico, de 45 cm de largo, a 20 cm de diámetro. Espinosa (2017), en su investigación titulada Caracterización de semillas de diferentes accesiones de tunas (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), en relación a su ploidía y apomixis, reporto que el tamaño de las plantas en la variedad tuna salmón, es mayor a 2 metros de altura. Es importante mencionar que el crecimiento de las plantas de tuna es influenciado por factores ambientales que se presentan en las diferentes épocas del año (Aguilar, 1991).

4.11. Rendimiento de frutos por cladodio (RFC)

Esta variable está relacionada con la cantidad de botones florales que se forman. En general, en condiciones normales de desarrollo, la cantidad de frutos por cladodio será la misma que la cantidad de botones florales. El análisis de varianza (ANVA) para la variable cantidad de frutos por cladodio se muestra en el Cuadro 24. De acuerdo a estos resultados, las diferencias de rendimiento de frutos por cladodio del testigo y los tratamientos de poda, fueron altamente significativos, a un nivel de significancia del 5%.

Cuadro 24. Análisis de varianza para el rendimiento de frutos por cladodio, en plantas de tuna sometidas a tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	7,17	3,58	3,15	0,1163 NS
Tratamientos	3	144,92	48,31	42,41	0,0002 **
Error	6	6,83	1,14		
Total	11	158,92			
CV (%)		20,99			

** p < 0.05; NS: p > 0.05

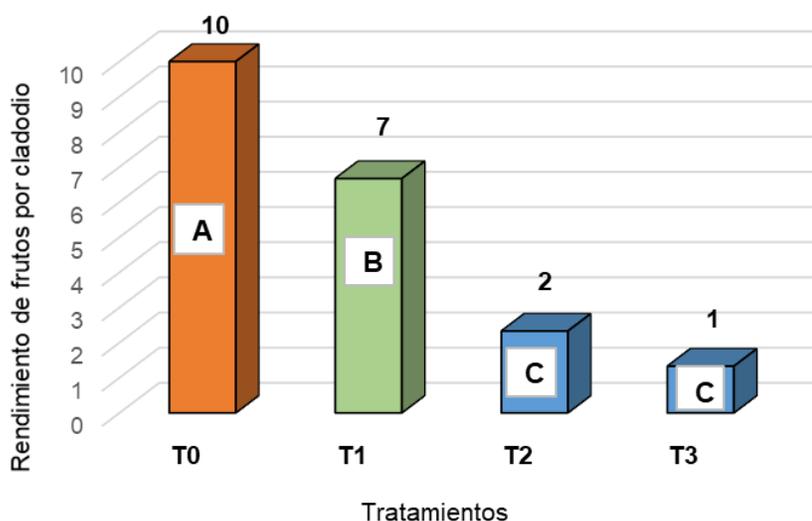
El coeficiente de variación para esta variable, fue 20.99% indicando que los datos registrados son confiables debido a que el valor del coeficiente de variación está dentro del rango de aceptación para este tipo de investigación. Estos resultados indican que existe efecto del nivel de poda sobre la cantidad de frutos formados en los cladodios, de plantas de tuna sujetas a evaluación. En virtud a que existen diferencias estadísticas significativas, se procedió con la prueba de medias Duncan.

La prueba de Duncan para el rendimiento de frutos por cladodio, se muestra en el Cuadro 25, con un nivel de significancia del 5%. La cantidad de frutos por cladodio resultado del efecto de niveles de poda, permitió identificar 3 grupos de significancia (Cuadro 25 y Figura 27). El primer grupo de significancia (Grupo A) muestra la mayor cantidad de frutos por cladodio (10 unidades en promedio), que se alcanzó con el testigo que no fue podado. El segundo grupo de significancia (Grupo C) correspondió al tratamiento T1 (10% de poda) que formó 7 frutos por cladodio en promedio.

Cuadro 25. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para el rendimiento de frutos por cladodio, en plantas de tuna sometidas a tres niveles de poda

Tratamientos	Promedio	Duncan ($\alpha = 5\%$)
T0 (Sin poda)	10	A
T1 (10% poda)	7	B
T2 (30% poda)	2	C
T3 (50% poda)	1	C

El tercer grupo de significancia (Grupo C) fue conformado por los tratamientos T2 y T3 con 30% y 50% de poda, respectivamente. Ambos tratamientos de poda, no fueron favorables para la formación de frutos por cladodio, con el tratamiento T2 se obtuvo 2 frutos por cladodio, mientras que el tratamiento T3, solo produjo 1 fruto por cladodio en promedio.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 27. Agrupación de Duncan ($p>0,05$) para el rendimiento de frutos por cladodio, en plantas de tuna sometidas a tres niveles de poda

Estos resultados indican que cuanto mayor sea el nivel de poda, menor será el rendimiento de frutos producidos en el primer año de desarrollo después de realizar la poda (Cuadro 25 y Figura 27). Al respecto, Martínez-Gonzales *et al.* (2001), presentaron resultados similares en su estudio sobre Poda y época de despunte en cladodios de nopal tunero, indicando que el número de frutos por planta no difirió entre fechas de poda, pero sí entre intensidades de despunte. El número de frutos por planta, disminuyó a medida que la intensidad de poda aumentó y todas las intensidades resultaron estadísticamente diferentes. La poda de despunte de 75% del cladodio redujo en promedio 94.6% y 93.0% el número de frutos por planta; en cambio, con el despunte a 25% del cladodio se redujo 40% y 32%.

4.12. Peso total de fruto (PTF)

El Cuadro 26 muestra los resultados de análisis de varianza del peso total de fruto obtenido en tres niveles de poda y un testigo a un nivel de significancia de 5%. De acuerdo a estos resultados, la diferencia del peso de frutos de tuna, como efecto de los niveles de poda, es altamente significativa, desde el punto de vista estadístico.

Cuadro 26. Análisis de varianza para el peso total de fruto, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	43,01	21,5	0,94	0,4416 NS
Tratamientos	3	1751	583,67	25,5	0,0008 **
Error	6	137,33	22,89		
Total	11	1931,34			
CV (%)	4,48				

** $p < 0.05$; NS: $p > 0.05$

El coeficiente de variabilidad fue 4.48%, este valor muestra que los datos experimentales son confiables ya que está por debajo del valor recomendado y es adecuado para experimentos en campo abierto.

De acuerdo al modelo estadístico utilizado, el efecto de los niveles de poda tuvo influencia significativa en la variación del peso de fruto de tuna. En consecuencia, se procedió con la prueba de medias Duncan al 5% de significancia.

La prueba de medias Duncan para el peso total de fruto, resultado del efecto de los niveles de poda, permitió identificar 3 grupos de significancia de similares pesos de fruto (Cuadro 27 y Figura 28).

El primer grupo (Grupo A) correspondió a los tratamientos T1 (10% de poda) y T0 (Sin poda), los cuales registraron pesos de fruto comprendidos entre 116 y 118.7 gramos en promedio, respectivamente. Las plantas con un nivel de 30% de poda, ocupan en el segundo grupo de significancia (Grupo B), con 104.13 gramos en promedio. Finalmente, el tercer grupo de significancia (Grupo C) fue resultado de la aplicación de 50% de poda, con el cual se obtuvo frutos de 96.2 gramos en promedio.

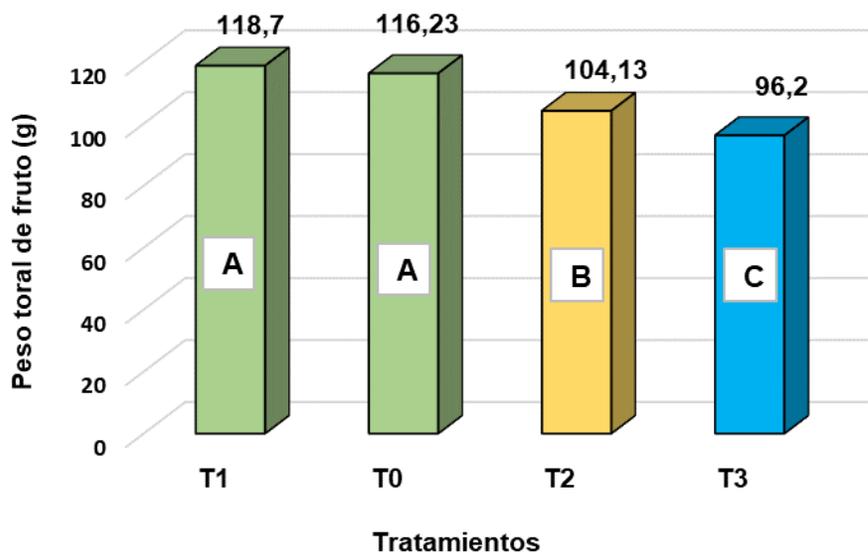
Cuadro 27. Comparación de medias Duncan ($p>0,05$) para el peso total de fruto, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Tratamientos	Promedio	Duncan ($\alpha = 5\%$)
T1 (10% poda)	118,7	A
T0 (Sin poda)	116,23	A
T2 (30% poda)	104,13	B
T3 (50% poda)	96,2	C

Las diferencias de peso en frutos de los tratamientos T1 y T0 son bajas, estos resultados indican que con la aplicación de 10% de poda en plantas de tuna, se obtendrán frutos pesados, comparables a frutos de plantas no podadas. Por el contrario, con la aplicación de niveles elevados de poda, se tendrán frutos livianos, en comparación con frutos de plantas no podadas.

Estos resultados son similares a los reportados por Paucara (2017) en su trabajo de investigación titulado: Caracterización física y química de la tuna (*Opuntia ficus indica*) en el municipio de Luribay provincia Loayza del departamento de La Paz. En este trabajo el peso promedio de los frutos de tuna varió de 102.77 g a 106.69 g en las variedades, roja y blanca, respectivamente.

Por su parte Espinosa (2017), reportó la existencia de frutos de tuna de mayor peso que los obtenidos en el presente estudio. El peso promedio de los frutos de la variedad tuna salmón fue de 173.86 gramos.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 28. Agrupación de Duncan ($p > 0,05$) para el peso total de fruto, en plantas de tuna bajo tres niveles de poda

El efecto de los niveles de poda sobre el peso de los frutos de tuna, corrobora lo descrito por Martínez-Gonzales *et al.* (2001), quienes indicaron que el peso de frutos por planta varió por efecto de diferentes intensidades de poda de despunte, es decir que, el peso de frutos por planta, disminuyó a medida que la intensidad de poda aumentó. La poda de despunte de 75% del cladodio redujo en promedio 94.6% y 93.0% el peso de frutos por planta; en cambio, con el despunte a 25% del cladodio el peso de frutos se redujo entre 32% y 40%.

4.13. Diámetro del fruto (DFR)

Los resultados de análisis de varianza para el diámetro de fruto se presentan en el Cuadro 28. Según estos resultados, las diferencias del diámetro de fruto de tuna obtenido de plantas podadas al 10%, 30%, 50% y un testigo sin podar, no son significativas, desde el punto de vista estadístico. En consecuencia, no existe evidencia de que los niveles de poda tengan un efecto en el diámetro de frutos.

El coeficiente de variación de esta variable fue de 3.78%, que expresa la poca dispersión y alta confiabilidad de los datos registrados por estar dentro del rango de aceptación para estudios en campo.

Cuadro 28. Análisis de varianza para el diámetro de fruto de plantas de tuna bajo tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,07	0,04	0,91	0,4500 NS
Tratamientos	3	0,34	0,11	2,91	0,1227 NS
Error	6	0,24	0,04		
Total	11	0,65			
CV (%)	3,78				

NS: $p > 0.05$

De acuerdo a los resultados para el diámetro del fruto, se evidenció que los valores encontrados son similares, muy próximos y con poca diferencia numérica, que no son significativas desde el punto de vista estadístico. El mayor diámetro de fruto con una media de 5,47 cm, se alcanzó con un nivel de 30% de poda (T2), valor muy próximo a los diámetros de fruto del testigo (sin poda) (T0), que registro 5.33 cm, en promedio.

En cambio, los tratamientos T3 (50% poda) y T1 (10% poda), registraron frutos de tuna de 5,13 y 5,03 cm de diámetro, respectivamente. Según estos resultados se evidenció que el rango de variación del diámetro de fruto entre tratamientos y testigo fue de 0.44 cm, resultado que indica que la variación del diámetro de fruto del testigo y de los tratamientos, fue reducida.

El diámetro de fruto reportado en este estudio, es similar al descrito por Paucara (2017) quien indicó que los frutos de las variedades rojo y blanco fueron, 4.85 cm y 5.26 cm, respectivamente. Asimismo, los resultados son similares a los reportados por Espinosa (2017) quien reporto 5.94 cm de diámetro de fruto en la variedad tuna salmón.

Los resultados de esta investigación son diferentes a los reportados por Martínez-González (2001) quienes encontraron que los frutos de menor diámetro se obtuvieron de plantas con cladodios podados a 50% y 75% de intensidad; en cambio, los frutos de mayor diámetro fueron aquéllos provenientes de plantas con poda de despunte a 0% y 25% de intensidad. Estas diferencias pueden atribuirse a las condiciones ambientales de los lugares de evaluación y a la adaptación fisiológica que mostraron las plantas a los niveles de poda.

4.14. Longitud del fruto (LFR)

El Cuadro 29, muestra los resultados del análisis de varianza de la variable longitud de fruto de tuna de los tratamientos y el testigo. Según estos resultados, todas las fuentes de variación fueron no significativas para la longitud de fruto de tuna. Es decir que las diferencias en la longitud de fruto como efecto de los niveles de poda (10%, 30% y 50% de poda) fueron reducidas.

Cuadro 29. Análisis de varianza para longitud de fruto de plantas de tuna bajo tres niveles de poda

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,55	0,27	1,06	0,4046 NS
Tratamientos	3	1,37	0,46	1,77	0,2534 NS
Error	6	1,55	0,26		
Total	11	3,46			
CV (%)	7,36				

NS: $p > 0.05$

Esto indica que, los niveles de poda y el testigo tienen un efecto similar en la longitud de fruto. Es decir que, el análisis de varianza no encontró diferencias importantes en la longitud del fruto de tunas, en las plantas podadas en estudio.

De acuerdo a los resultados del Cuadro 30, existió diferencias numéricas en la longitud de fruto de tuna obtenidas en tres tratamientos de poda y el testigo, sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Cuadro 30. Promedios de la longitud de fruto de plantas de tuna bajo tres niveles de poda

Tratamientos	Promedio
T2 (30% poda)	7,27
T0 (Sin poda)	7,2
T3 (50% poda)	6,63
T1 (10% poda)	6,5

La diferencia en promedios de longitud de fruto de plantas podadas y no podadas es de 0.77 cm, diferencia casi imperceptible a simple vista. Según estos resultados, existe un leve incremento en la longitud de fruto de tuna con un nivel de 30% de poda (T2), respecto al testigo que no se podó (T0).

Estos resultados son similares a los reportados por Paucara (2017) quien indicó que el promedio del largo de los frutos varía de 7.06 cm a 7.38 cm en las variedades Tuna Blanca y Tuna roja, respectivamente. Frutos más largos fueron reportados por Espinosa (2017) indicando que la tuna salmón tiene frutos de 8.27 cm de largo. La poca diferencia en longitud de fruto puede atribuirse a la adaptación fisiológica que mostraron las plantas a los niveles de poda, que se evidenció en una mayor o menor cantidad de frutos por planta, y no así, en el tamaño de frutos.

4.15. Costos parciales de producción

Siguiendo la recomendación del método de análisis económico propuesto por CIMMYT (1998), se obtuvo el presupuesto parcial de la investigación mediante el cual se calculó el beneficio bruto, el beneficio neto y costos de producción de los tratamientos en estudio.

4.15.1. Descripción de los costos

El Cuadro 31, muestra el presupuesto parcial de los tratamientos en estudio. El análisis de costos parciales fue efectuado en base a las prácticas agronómicas realizadas, que se iniciaron con la limpieza de malezas del área experimental, eliminación de restos de pencas, frutos anteriores, seguido de la poda según tratamientos, aplicación de fungicida para prevenir la aparición de hongos en áreas cortadas, cosecha, finalizando con el transporte para la comercialización de frutos de tuna.

4.15.1.1. Ingreso bruto

El ingreso bruto de cada uno de los tratamientos, fueron obtenidos a partir de los rendimientos promedio, multiplicado por el precio de venta por caja de tuna, que varía según el tamaño de los frutos, la caja de frutos pequeños tiene menor valor económico que la caja con frutos grandes (Cuadro 31). Dado que los precios de la tuna son estacionales a tres meses del año (enero, febrero y marzo) se tomó de referencia el precio de la caja de tuna en mercados de la ciudad de El Alto. Según los datos del Cuadro 34, los rendimientos de tuna obtenidos en los 3 tratamientos y el testigo fluctuaron entre 75 y 1531 Kg/ha que se traducen en ingresos brutos totales de 1154 Bs y 29168 Bs, respectivamente.

De acuerdo a este análisis, se infiere que, a mayor rendimiento de frutos de tuna, mayor será el ingreso bruto, aunque el tamaño de fruto influye directamente en un mayor o menor

ingreso. Asimismo, el Cuadro 31 muestra que el rendimiento de frutos de tuna aumenta favorablemente cuando el nivel de poda es bajo (T1 = 10%), en cambio, con niveles de poda elevados (T2 = 30% poda; 50% poda) los rendimientos de fruto son afectados considerablemente, en el primer año luego de efectuada la poda. Al respecto CIMMYT (1998), menciona que las condiciones de los productores son distintas a las condiciones experimentales, por lo tanto, los rendimientos experimentales generalmente son mayores, comparados con los rendimientos en parcela de productor.

Cuadro 31. Costos totales de los tratamientos para el cultivo de tuna por hectárea

Parámetros económicos	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
INGRESOS				
Rendimiento (kg/ha)	1250	1531	320	75
Valor de tuna (caja)	50	80	60	60
Ingresos brutos (Bs)	20800	29168	4615	1154
EGRESOS				
Limpieza del área experimental	750	750	750	750
Poda	0	1953,2	4687,5	7800
Labores culturales	400	400	400	400
Cosecha	9765,6	7800	4688	1953
Transporte	4160	3646	769	193
GASTOS ESPECIALES				
Fungicida y adherente	0	250	250	250
Cajas de madera	2080	1823	385	97
Costos variables	17155,6	16622,2	11929	11443,1
Costos fijos	1000	1000	1000	1000
Costos de producción	18155,6	17622,2	12929	12443,1
Ingreso neto (Bs)	2644,4	11545,8	-7544,4	-11096,9
Relación B/C Bs	1,1	1,6	0,4	0,1

Fuente: Elaboración propia (2024).

En cuanto a egresos de la investigación, se incluyeron los costos por el tiempo de trabajo (Jornales) en actividades de: limpieza del área experimental, realización de poda según

niveles, labores culturales, cosecha y transporte del producto a los centros de comercialización. Es importante mencionar que se consideró un costo de 150 Bs por jornal de trabajo de 8 horas. Asimismo, se incluyeron los gastos especiales realizados, por la compra de cajas de madera, fungicida y adherente.

4.15.1.2. Ingreso neto

Los resultados del Cuadro 31, muestra que el ingreso neto calculado para los tratamientos en estudio, fluctuaron entre 2644,4 Bs y 11545,8 Bs para los tratamientos T0 y T1 respectivamente. Contrariamente a lo esperado, el beneficio neto de los tratamientos T2 y T3 fueron negativos, este resultado puede explicarse debido a que las plantas podadas priorizan la recuperación de su área fotosintética luego de la poda, que se traduce en el crecimiento de nuevos cladodios y no así en el desarrollo de flores y frutos.

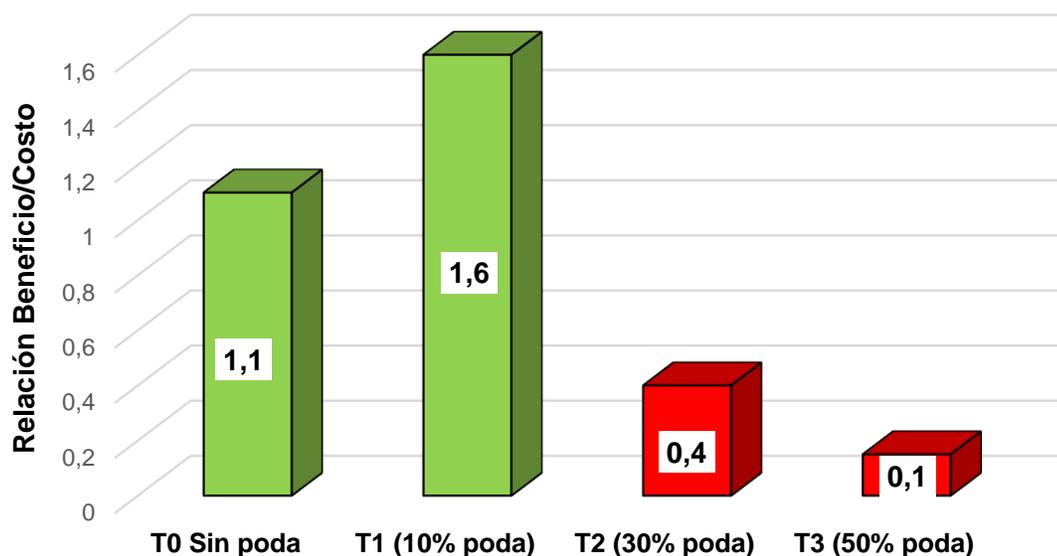
Como se mencionó anteriormente, a una mayor producción de frutos de tuna, mayor será el ingreso económico por la comercialización de este producto. En consecuencia, desde el punto de vista económico, con el tratamiento T1 (10% poda), se obtuvo el mayor ingreso neto (11545,8 Bs/ha), contrariamente, con el tratamiento T3 (50% poda), el ingreso neto fue negativo (-11096.9 Bs/ha).

4.15.2. Relación beneficio costo

El cálculo de beneficio /costo se realizó efectuando la diferencia entre los ingresos que resultan de la comercialización del producto y los egresos es decir el costo de los insumos que se requiere para lograr dicha producción, conformados por los costos variables (Cuadro 31). Si el beneficio/costo es mayor a 1 entonces el tratamiento en estudio es rentable.

El análisis de Beneficio Costo presentados en el Cuadro 31 y Figura 29, muestran que los tratamientos T0 y T1 son los más rentables, puesto que presentan un B/C de Bs 1,1 y Bs 1,6; respectivamente. Los tratamientos T2 y T3, no son rentables debido a que tiene un B/C inferior a uno.

El tratamiento T1, en el que se usó un nivel de poda de 10%, registró la máxima rentabilidad de Bs 0.6, por cada boliviano invertido. Similarmente, el tratamiento T0, en el que no se realizó ninguna poda, registró una rentabilidad de 0.1, sin embargo, tuvo menor tamaño de frutos en comparación con los tratamientos T1, T2 y T3.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 29. Gráfico comparativo de la Relación Beneficio Costo calculado para los tratamientos en estudio

De acuerdo a información del Plan Territorial de Desarrollo Integral del Gobierno Municipal de Sapahaqui (2021), este municipio tiene la mayor extensión de cultivo de tuna a nivel nacional, con 411.53 ha y una producción anual de fruta de 16795,1 qq, obtenida con mínimas labores de cultivo. Si se logrará escalar los resultados de esta investigación, a otras parcelas de producción de comunidades vecinas y del municipio en general, aplicando 10% de poda en plantas en producción, se lograría un incremento significativo en la producción de esta fruta, mejorando también los ingresos económicos de las familias.

5. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el presente estudio, nos permite sustentar las siguientes conclusiones:

Se rechaza la hipótesis nula planteada en la presente investigación, debido a que existen evidencias de que la aplicación de diferentes niveles de poda, influyen en la cantidad de nuevos cladodios y en el rendimiento de frutos de tuna, cultivados a campo abierto.

Las plantas de tuna, con mayor proporción de poda al 50%, promovieron el desarrollo de cladodios delgados (0.97 cm.) sin embargo, las plantas podadas al 30%, obtuvieron un grosor de (1 cm) y las plantas de tuna con menor nivel de poda 10%, tuvieron cladodios de mayor grosor (1.33 cm.) concluyendo el mejor tratamiento corresponde al T1 con la poda de (10%).

El análisis del tamaño de nuevos cladodios, mostró que, los cladodios en desarrollo tienden a alcanzar el ancho máximo de cladodio en menor tiempo luego de la poda, las plantas podadas de tuna tienden a priorizar el crecimiento de los cladodios a lo ancho, más que a lo largo, con el propósito de aumentar la superficie fotosintética que le permita sobrevivir en condiciones de campo.

El análisis de los resultados indica que existe efecto significativo del nivel de poda y la cantidad de botones florales: Se evidencia que, en el primer año de evaluación, las plantas con mayores niveles de poda (30% y 50%) registraron menores cantidades de botones florales (1 y 2), que puede atribuirse a una respuesta fisiológica de las plantas que priorizan la recuperación de área fotosintética en lugar de desarrollar mayor cantidad de flores y frutos.

Respecto al rendimiento, se estableció que existen diferencias altamente significativas en la cantidad de frutos por cladodio obtenidos por tratamiento de poda, comparados con el testigo. Estos resultados indican que existe efecto del nivel de poda sobre el rendimiento de frutos por cladodio, cuanto mayor sea el nivel de poda, menor será el rendimiento de frutos, en el primer año de desarrollo, después de la poda.

Se estableció que el nivel óptimo de poda es el tratamiento T1 10% de poda, con el que se obtuvo los mayores rendimientos de fruto por planta, comparable con los rendimientos de plantas de tuna de alta producción.

De acuerdo al modelo estadístico utilizado, el efecto de los niveles de poda tuvo influencia significativa en la variación del peso de fruto de tuna, estos resultados indican que con la aplicación de 10% de poda en plantas de tuna, se obtuvieron frutos pesados, similares a los frutos de plantas de alto rendimiento. Por el contrario, con la aplicación de niveles elevados de poda (30% y 50%), se tuvieron frutos livianos.

El análisis puso en evidencia que no existen diferencias significativas en el tamaño de los frutos de tuna obtenidos por tratamiento de poda y testigo. Es decir que, las diferencias numéricas en la longitud y ancho de fruto como efecto de los niveles de poda y el testigo, fueron reducidas e imperceptibles a simple vista.

El análisis de Beneficio Costo de la presente investigación muestra que los tratamientos T0 (Sin poda) y T1 (10% poda), son los más rentables, puesto que presentan un B/C de Bs 1,1 y Bs 1,6; respectivamente. Los tratamientos T2 (30% poda) y T3 (50% poda), no son rentables debido a que tiene un B/C inferior a uno.

6. RECOMENDACIONES

Continuar con las evaluaciones en las plantas podadas en el segundo, tercer y cuarto año, para complementar los resultados del presente estudio.

Realizar estudios sobre el control de la mancha negra de los cladodios que es una enfermedad que causa mayor daño económico en el cultivo de la tuna.

Realizar cursos de capacitación en manejo del cultivo de tuna dirigida a productores de esta especie en el Municipio de Sapahaqui, con el propósito de incrementar las áreas de producción y mejorar los rendimientos aplicando podas de cladodios y raleo de flores y frutos.

Investigar el potencial productivo de *Opuntia ficus indica* para la obtención de nopalitos para consumo como verdura y como forraje para el ganado del municipio de Sapahaqui.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Angulo, S. 2012. La tuna tiene propiedades beneficiosas para la salud. Opinión, Bolivia, (10/06/15).
- Aguilar, G. 2005. Producción forzada de nopal (*Opuntia ficus-indica*, cv.) Tlaconopal mediante anillado parcial. Revista Fitotecnia Mexicana 28 (3): 295-298.
- Aguilar, G. 1991. Experiencias en la producción de nopal (*Opuntia* spp.) en el área de Chapingo. México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 19 p.
- Aparicio, J. 2006. Diagnóstico del ecosistema en localidades de la puna y valles interandinos del norte del departamento de La Paz-Bolivia. Bolivia, 98 p.
- Castro, J; Paredes, C; y Muñoz, D. 2009. El cultivo de TUNA *Opuntia ficus indica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú. 2009, 18p.
- Corrales, J; Flores, C.A. 2003. Tendencias actuales y futuras en el procesamiento del nopal y la tuna. In C.A. Flores Valdez, ed. Nopalitos y tunas, producción, comercialización, poscosecha e industrialización, pp. 167–215. México, Autonomous University of Chapingo.
- Domínguez, A. 1995. Revisión bibliográfica sobre algunos aspectos tecnológicos y usos alternativos de los cladodios y frutos del nopal (*Opuntia* spp.) en la alimentación humana. En: Revista de Ciencias Naturales, CIENCIA ERGO SUM. México, 8 p.
- Espinosa, F. 2017. Caracterización de semillas de diferentes accesiones de tunas (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), en relación a su ploidía y apomixis. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Postgrado. Universidad de Chile. Santiago de Chile
- Flores-Valdez, C. 2003." Importancia del nopal". 1ª Ed. Universidad Autónoma Chapingo, CIESTAAM, México, pp 1-18.
- Google Earth. 2020. Imagen Satelital de la comunidad Chucavi, La Paz, Recuperado de <https://earth.google.com/web>

- Granados-Sánchez; D; Castañeda-Pérez, A. D. 2003. El nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Editorial Trillas. México, D. F. 227 p.
- Griffith, P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *American Journal of Botany* 91 (11): 1915-1921.
- Inglese, P; Basile, F; Schirra, M. 2002a. Cactus pear fruit production. In P.S. Nobel, ed. *Cacti: Biology and uses*, pp. 163–184. Berkeley, CA, USA, University of California Press.
- Inglese, P; Mondragón, C; Nefzaqui, A; Sáenz, C. 2018. Ecología del cultivo, manejo y usos del Nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas Roma, Italia
- Kiesling, R. 1998. Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. Recuperado de <http://www.jpacd.org/contents1998.htm>. México.
- López, J; Malpica A; López, J; García E; Sol A. 2013. Crecimiento de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en la zona central de Veracruz. En: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Pub. Esp. Núm. 5. Vera Cruz, México. p. 1005-1014
- Marques Dos Santos M; Galindo, M; Cervantes, A. 2007. Análisis de Regresión un Enfoque Práctico. División de Ciencias Químico Biológicas, Académica de Estadística y cómputo científico, Facultad de estudios superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. 109 p.
- Martínez-González J; López-Jiménez A; Cruz-Hernández P; Delgado-Alvarado A. 2001. Poda y época de despunte en cladodios de nopal tunero. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. pp 159-167.
- Mateus Arango, C. H. (2018). Evaluación de métodos de propagación asexual del nopal (*Opuntia ficus indica*), y respuesta a diferentes sustratos en el municipio los santos Santander. *Agricolae & Habitat*, 1(1), 27-31. <https://doi.org/10.22490/26653176.2341>
- Molina, M. 2001. Caracterización, ordenación y clasificación numérica en nopal (*Opuntia spp.*) mediante atributos morfológicos y físico-químicos. Tesis de Maestría. Facultad

de Agronomía. Subdirección de estudios de Posgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

Mondragón-Jacobo, C; Pimienta-Barrios, S. 1995. Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. Roma, 169 p.

Novales, A. 2010. Análisis de Regresión. Departamento de Economía Cuantitativa, Universidad Complutense.

Ochoa, M; Barrera, G. 2018. Historia e importancia agroecológica y económica del Nopal, en Ecología del cultivo, manejo y usos del Nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas. Roma, Italia.

Ochoa, R. 2009. Diseños experimentales. 1ª Ed. La Paz, Bolivia. 188 p

Oliveira, F. 2008. Crescimento do sistema radicular da *Opuntia ficusindica* (L.) Mill (palma forrageira) em função de arranjos populacionais e adubação fosfatada. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, para obtenção do título de Mestre. CSTR UFCG.

Orestes, O. 2009. Comportamiento de Mucílago a partir de Tuna en Malestares Estomacales-Universidad Nacional de San Marcos-Lima – Perú.

Ojer, M; Reginato, G; Vallejos, F; Boulet A. 2011. Poda de formación y producción. pp. 79-101. En: Producción de duraznos para industria. 1ª ed. Mendoza: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo: Fe.pedi. 243 p

Paucara, C. 2017. Caracterización física y química de la tuna (*Opuntia ficus indica*) en el municipio de Luribay provincia Loayza del departamento de la paz. Tesis de grado Ingeniería Agronómica Universidad Mayor de San Andrés UMSA. La Paz, Bolivia.

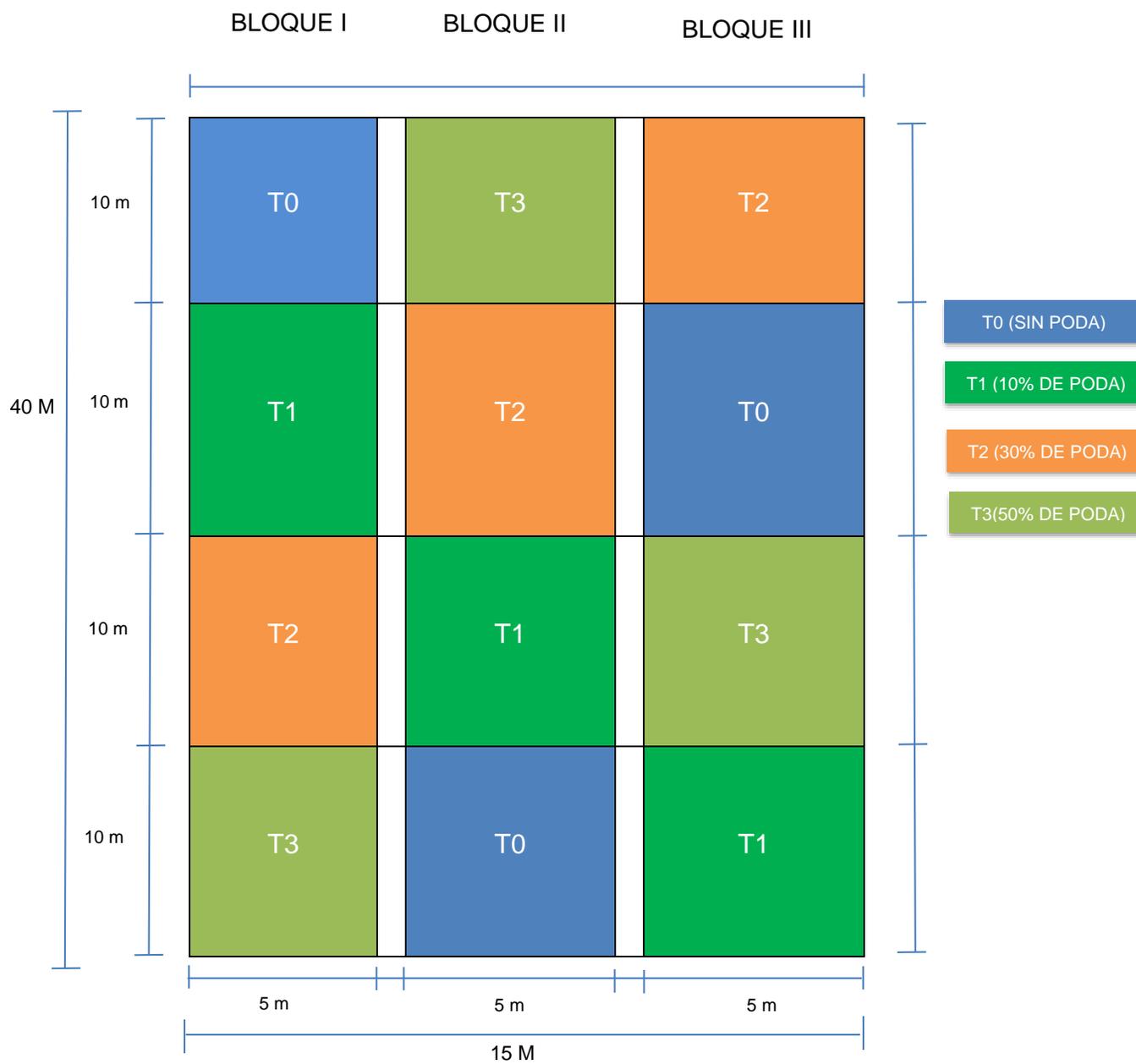
Pimienta, B; LOZA, S; Castillo M. 2003. Caracterización Anatómica y Conductividad Hidráulica Teórica de los elementos de Vaso de Variedades Silvestres y Cultivadas de Nopal Tunero (*Opuntia*). Acta Botánica, México, pp. 21-30.

Pimienta, E. 1990. El nopal tunero, Universidad de Guadalajara, México.

- PTDI GMAS. 2021. Plan Territorial de Desarrollo Integral del Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui. La Paz, Bolivia.
- Reyes-Agüero A; Aguirre-Rivera R; Hernández, H. 2005. Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Instituto de Biología. Departamento de Botánica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. p 13.
- Rodríguez, Y. 2017. Evaluación del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) como agente estabilizante en néctar de maracuyá (*Passiflora edulis*). Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/67
- Sáenz, C. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO N° 162. Roma, 182 p. 88
- Sáenz, C; Berger, H; Corrales, J; Galleti, L; García del Cortazar, V; Higuera, I; Mondragón, C; Rodríguez, A; Sepúlveda, E; Varnero, M. eds. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. FAO Plant Production and Protection Paper No. 162. Rome, FAO. 165 pp.
- Stadler-Kaulich, N. 2014. *Opuntia ficus-indica* como especie diversificadora en sistemas agroforestales. Primer Encuentro Internacional de la Tuna para forraje como una medida de adaptación al cambio climático en Bolivia. Cochabamba Bolivia.
- Stadler, N. 2014. La Agroforestería - el Vivir Bien en la diversidad. Mollesnejta, en Combujo, Vinto, Valle de Cochabamba/Bolivia. Calle Cota del Parque Tunari s/n", 6(3): 288-293. Recuperado de <http://www.ucbcba.edu.bo>

8. ANEXOS

Anexo 1. Croquis de distribución de unidades experimentales en 3 bloques de investigación



Anexo 2. Presupuesto en Bolivianos (Bs), para evaluar el efecto de podas en la floración y fructificación de tuna en la comunidad Chucavi.

Nº	Descripción	Unidad	Cantidad	P/U (Bs)	Subtotal (Bs)
1	Alquiler de la plantación	Alquiler	1	1500	1500
2	Limpieza del área experimental	Jornal	4	100	400
3	Tijeras de podar	Pieza	2	60	180
4	Carretilla	Pieza	1	300	300
5	Guantes de goma	Pieza	6	10	60
6	Guantes de cuero	Pieza	6	15	90
7	Lentes de protección	Pieza	4	20	80
8	Yutes	Pieza	20	4	80
9	Estacas	Pieza	100	4	400
10	Cosecha	Jornales	5	100	500
11	Evaluación agromorfológica en cosecha	Jornales	10	100	1000
12	Cajas de madera	Pieza	20	5	100
13	Bañadores para secado	Pieza	20	7	140
14	Balanza electrónica	Pieza	1	200	200
15	Flexómetro de 3 metros	Pieza	4	15	60
16	Vernier	Pieza	4	25	100
17	Material de escritorio	Paquete	1	200	200
18	Transporte	Global	1	700	700
Total					6090

Anexo 3. Registro fotográfico de delimitación del área experimental.



Anexo 4. Registro fotográfico de aplicación de tratamientos de poda.



Anexo 5. Registro fotográfico de evaluación de ancho de cladodio, largo de cladodio y número de cladodios por planta.



Anexo 6. Registro fotográfico de evaluación de espesor de cladodio, número de areolas en la cara y contracara del cladodio.



Anexo 7. Registro fotográfico de evaluación de botones vegetativos (penca).



Anexo 8. Registro fotográfico de evaluación de botones florales y frutos



Anexo 9. Registro fotográfico de evaluación de cantidad, ancho y largo de frutos de tuna

