

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**Constante térmica y fenología reproductiva de 5  
biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* -  
INIA, Ayacucho 2019.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
BIÓLOGA, EN LA ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y  
RECURSOS NATURALES**

**Presentado por la:  
Bach. MARCAQUISPE CAPISO, Nelia**

**Ayacucho – Perú  
2021**

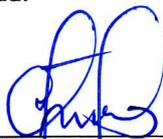
**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Bach. Nelia MARCAQUISPE CAPISO**  
**R.D.N° 092-2021-UNSCH-FCB-D**

A los diez días del mes de setiembre del dos mil veintiuno, siendo las cuatro de la tarde, se reunieron a través de la plataforma virtual Google Meet, los docentes miembros del jurado calificador conformado por el Dr. Jesús DE LA CRUZ ARANGO (presidente) encargado con memorando N° 292-2021-UNSCH-FCB, quien a su vez es miembro jurado; Dr. Saturnino Martín TENORIO BAUTISTA (miembro jurado); Mg. Rebelino ACUÑA MARTINEZ (miembro 4to jurado); Mg. Walter Wilfredo OCHOA YUPANQUI (miembro asesor), actuando como secretaria docente la Mg. Nilda Aurea APAYCO ESPINOZA, para recepcionar la sustentación de tesis titulada: “**Constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos de *Opuntia ficus indica*-INIA, Ayacucho 2019**” presentada por la Bach. Nelia MARCAQUISPE CAPISO; previa verificación de la documentación exigida, el presidente autorizó el inicio del acto académico precisando que el sustentante dispone de cuarenta y cinco minutos, conforme lo establece el reglamento de grados y títulos de la Facultad de Ciencias Biológicas. Finalizada la sustentación, el presidente invitó a los miembros del jurado a participar con observaciones, aclaraciones y preguntas relacionadas al tema; el asesor se comprometió cumplir con las correcciones y sugerencias realizadas. Concluida esta etapa, el presidente invitó a la sustentante y a los asistentes abandonar la sala virtual a fin de proceder a la deliberación y calificación correspondiente.

Seguidamente procedieron a la calificación, alcanzando los siguientes resultados:

<b>MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR</b>	<b>Exposición</b>	<b>Respuesta a preguntas</b>	<b>Promedio</b>
Dr. Jesús DE LA CRUZ ARANGO (Presidente)	18	16	17
Dr. Saturnino Martín TENORIO BAUTISTA (Miembro jurado)	17	17	17
Mg. Rebelino ACUÑA MARTINEZ (Miembro 4to jurado)	17	17	17
	<b>PROMEDIO</b>		<b>17</b>

La sustentante alcanzó el promedio de 17 (diecisiete) aprobado con mención honrosa. Acto seguido, el presidente invitó a la sustentante y al público reingresar a la sala virtual para dar a conocer el resultado de la evaluación; finalizando el presente acto académico siendo a las siete y once de la noche, firmando al pie del presente en señal de conformidad.



Dr. Jesús De La Cruz Arango  
(Presidente – Miembro Jurado)



Dr. Saturnino Martín Tenorio Bautista  
(Miembro – Jurado)



Mg. Rebelino Acuña Martínez  
(Miembro – 4to jurado)



Mg. Walter Wilfredo Ochoa Yupanqui  
(Miembro – Asesor)



Mg. Nilda Aurea Apayco Espinoza  
(Secretaria – Docente)



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS N° 031-  
2021-FCB-D

Yo, SAÚL ALONSO CHUCHÓN MARTÍNEZ, Decano de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **“Constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de Opuntia ficus indica - INIA, Ayacucho 2019.”**, presentado por la Bach. NELIA MARCAQUISPE CAPISO; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 24%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-C.

En tal sentido, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 14 de octubre del 2021.

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez  
DECANO

# Constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho 2019.

*por* Nelia Marcaquispe Capiso

---

**Fecha de entrega:** 14-oct-2021 10:38a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1673818182

**Nombre del archivo:** 1C\_Marcaquispe\_Capiso\_Nelia\_Pregrado\_2021\_TURNITIN.docx (340K)

**Total de palabras:** 14306

**Total de caracteres:** 75342

# Constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho 2019.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://www.fao.org">www.fao.org</a> Fuente de Internet	5%
2	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	3%
4	<a href="http://www.colpos.mx">www.colpos.mx</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://chapingo.mx">chapingo.mx</a> Fuente de Internet	1%
9	<a href="http://scielo.conicyt.cl">scielo.conicyt.cl</a> Fuente de Internet	

1 %

10

[www.scielo.org.bo](http://www.scielo.org.bo)

Fuente de Internet

1 %

11

[repositorio.espam.edu.ec](http://repositorio.espam.edu.ec)

Fuente de Internet

1 %

12

[www.somecta.org.mx](http://www.somecta.org.mx)

Fuente de Internet

1 %

13

[doi.org](http://doi.org)

Fuente de Internet

<1 %

14

[biblat.unam.mx](http://biblat.unam.mx)

Fuente de Internet

<1 %

15

[es.slideshare.net](http://es.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

16

[calendariosaboresbolivia.com](http://calendariosaboresbolivia.com)

Fuente de Internet

<1 %

17

[worldwidescience.org](http://worldwidescience.org)

Fuente de Internet

<1 %

18

Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Trabajo del estudiante

<1 %

19

[repositorio.uns.edu.pe](http://repositorio.uns.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

20

[solid.alligence.com](http://solid.alligence.com)

Fuente de Internet

<1 %

21	<a href="http://2fwww.redalyc.org">2fwww.redalyc.org</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://revistas.utm.edu.ec">revistas.utm.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://eprints.natura.unsa.edu.ar">eprints.natura.unsa.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://repositorio.una.ac.cr">repositorio.una.ac.cr</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://repositorio.unia.edu.pe">repositorio.unia.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://adoc.pub">adoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://revista-agroproductividad.org">revista-agroproductividad.org</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://scielo.sld.cu">scielo.sld.cu</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://www.inia.gob.pe">www.inia.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://repositorio.umsa.bo">repositorio.umsa.bo</a> Fuente de Internet	<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo



Al Ingeniero que en vida fue, Juan Ignacio  
Tineo Canchari.

A mis queridos padres Sixto Marcaquispe y  
Ángela Capiso por su apoyo y confianza.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, *Alma Mater*, y a su plana docencia de la Escuela Profesional de Biología, por impartir los conocimientos durante la formación profesional.

Al Director de la Estación Experimental Agraria Canaán – Ayacucho, por haberme permitido realizar el trabajo de investigación en la distinguida institución.

Al ingeniero Juan Ignacio Tineo Canchari, que ahora Dios lo tiene en su Gloria, en primer lugar por abrirme las puertas del Área de Recursos Genéticos del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) y brindarme todos los recursos necesarios para realizar el trabajo de tesis, por otro lado, por haberme brindado todo el apoyo desinteresada de manera presencial en campo durante la ejecución de la investigación y por impartir sus conocimientos valiosos.

Al Mg. Walter Wilfredo Ochoa Yupanqui, por su asesoramiento, apoyo incondicional, sugerencias y correcciones, desde la elaboración del proyecto de tesis, durante la ejecución de la investigación en campo y en la redacción del borrador de tesis.

A mi familia por todo su amor, esperanza, constante aliento, ayuda espiritual y toda su confianza en mí.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xvii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales	6
2.1.3. Antecedentes Regionales	7
2.2. Marco conceptual	7
2.2.1. Constante térmica	7
2.2.2. Fenología	9
2.2.3. Fenología reproductiva	10
2.2.4. <i>Opuntia ficus indica</i> “tuna”	10
2.2.5. Fruto	10
2.2.6. Calidad	10
2.2.7. Biotipo	11
2.3. Bases teóricas	11
2.3.1. Origen y distribución de <i>Opuntia ficus indica</i> “tuna”	11
2.3.2. Clasificación taxonómica	12
2.3.3. Características morfológicas	12
2.3.4. Fenología reproductiva y desarrollo de los frutos de <i>Opuntia ficus Indica</i>	14
2.3.5. Importancia agroecológica y económica	16
2.3.6. Importancia agroecológica y económica de la tuna en América	17
2.3.7. Enfermedades de la <i>Opunia sp.</i>	18
2.3.8. Desordenes abióticos en los tunales	21
2.3.9. Requerimientos agro climáticas para su cultivo	22
III. MATERIALES Y METODOS	23

3.1.	Ubicación de la zona de estudio	23
3.1.1.	Ubicación geográfica	23
3.1.2.	Ubicación política	23
3.1.3.	Ubicación de la estación meteorológica automática – INIA	23
3.1.4.	Descripción del ambiente	23
3.2.	Población y muestra	24
3.2.1.	Población	24
3.2.2.	Muestra	24
3.3.	Diseño metodológico	24
3.3.1.	Material biológico	24
3.3.2.	Diseño de campo experimental (cultivo en INIA)	24
3.3.3.	Observaciones de la fenología reproductiva	26
3.3.4.	Obtención de datos meteorológicos	27
3.3.5.	Cálculo de constante térmica en grados - día desarrollo (GDD)	27
3.3.6.	Evaluación de calidad de los frutos	27
3.4.	Tipo de investigación	28
3.5.	Análisis estadístico	28
3.6.	Diseño de investigación	28
IV.	RESULTADOS	29
V.	DISCUSIÓN	41
VI.	CONCLUSIONES	51
VII.	RECOMENDACIONES	53
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
	ANEXOS	61

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores promedio de constante térmica acumulada en las etapas de la fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	31
Tabla 2. Prueba Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la variable constante térmica acumulada en cada etapa de la fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	32
Tabla 3. Duración en días, en cada etapa de la fenológica reproductiva de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	33
Tabla 4. Días y constante térmica (GDD), de emergencia de los brotes florales (B) a antesis (A) y a madurez del fruto (M), según las fechas de brotamiento de las yemas de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	34
Tabla 5. Calidad del fruto de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	37
Tabla 6. Coeficiente de correlación y significancia del análisis de relación entre la constante térmica y calidad del fruto en 5 biotipo de <i>Opuntia ficus indica</i> - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Desarrollo y crecimiento de los frutos de <i>Opuntia sp</i> “tuna”.	15
Figura 2. Croquis experimental de 11 biotipos promisorios de <i>Opuntia sp</i> , INIA - Canaán, Ayacucho 2018.	25
Figura 3. Temperatura media en la ocurrencia de fases de la fenología reproductiva, según fechas de brotamiento de las yemas florales de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 - mayo 2020.	35
Figura 4. Relación entre la temperatura media y velocidad de desarrollo de la fenología reproductiva de los 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> - INIA, Ayacucho noviembre 2019 - mayo 2020.	36
Figura 5. Relación entre la constante térmica acumulada en el periodo completo de la fenología reproductiva y longitud (A), diámetro (B) del fruto del biotipo PTI-067A - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	39

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Comportamiento de la temperatura media, precipitación acumulada y ocurrencia de las fases de la fenología reproductivo de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	63
Anexo 2. Descriptor morfológico de <i>Opuntia sp</i> "tuna" INIA- Canaán Ayacucho.	64
Anexo 3. Comportamiento de temperatura máxima, mínima y medias mensuales, estación climática – INIA, Ayacucho agosto 2019 – mayo 2020.	65
Anexo 4. Comportamiento de la temperatura media y humedad relativa mensual INIA, Ayacucho agosto 2019 – mayo 2020.	66
Anexo 5. Promedio de variables ambientales, estación climática - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	67
Anexo 6. Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a antesis en los 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	68
Anexo 7. Prueba de Tukey para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a antesis (B-A) de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	69
Anexo 8. Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa antesis a madurez del fruto de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	70
Anexo 9. Prueba de Tukey para la variable constante térmica en la etapa antesis a madurez del fruto (A-M) de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> - INIA Canaán Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	71
Anexo 10. Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a madurez del fruto (B-M) de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	72
Anexo 11. Prueba de Tukey de la variable constante térmica en la etapa	73

	brotamiento a madurez del fruto (B-M) de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	
Anexo 12.	Análisis de varianza para la duración en días, brotamiento a antesis (B-A) según las fechas de brotamiento de 5 biotipo de <i>Opuntia ficus indica</i> - INIA Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	74
Anexo 13.	Prueba de Tukey para la duracion en días, brotamiento a antesis (B-A), según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	75
Anexo 14.	Análisis de varianza para la duración en días, antesis a madurez del fruto (A-M), según las fechas de brotamiento de 5 biotipos de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	76
Anexo 15.	Prueba de Tukey para la duracion en días, en la etapa antesis a madurez (A-M) del fruto, según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	77
Anexo 16.	Análisis de varianza para la duración en la etapa brotamiento a madurez (B-M) del fruto, según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	78
Anexo 17.	Prueba de Tukey para la duración en la etapa brotamiento a madurez (B-M) del fruto, según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	79
Anexo 18.	Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a antesis (B-A) según las fechas de brotamiento de 5 biotipo promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	80
Anexo 19.	Prueba de Tukey para la variable constante térmica en la etapa de brotamiento a antesis (B-A), según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	81
Anexo 20.	Análisis de varianza para la variable constante térmica en la	82

	etapa antesis a madurez del fruto (A-M), según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	
Anexo 21.	Prueba de Tukey para la variable constante térmica en la etapa de antesis a madurez del fruto (A-M), según las fechas de brotamiento de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	83
Anexo 22.	Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a madurez del fruto (B-M), según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA. Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	84
Anexo 23.	Prueba de Tukey para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a madurez del fruto (B-M); según las fechas de brotamiento, en 5 biotipos promisorios <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	85
Anexo 24.	Análisis de varianza para el indicador peso del fruto de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	86
Anexo 25.	Prueba de Tukey del indicador peso del fruto de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	87
Anexo 26.	Análisis de varianza para el indicador longitud del fruto de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	88
Anexo 27.	Prueba de Tukey del indicador longitud del fruto de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	89
Anexo 28.	Análisis de varianza para el indicador diámetro del fruto de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	90
Anexo 29.	Prueba de Tukey del indicador diámetro del fruto de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	91
Anexo 30.	Análisis de varianza para el indicador contenido de azúcar de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	92

Anexo 31.	Prueba de Tukey del indicador contenido de azúcar de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	93
Anexo 32.	Fotografía de registro diario de datos climáticos durante el periodo estación meteorológica – INIA. Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	94
Anexo 33.	Fotografía de frutos maduros de los 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	95
Anexo 34.	Fotografía de la tesista realizando las mediciones de calidad de los frutos de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	96
Anexo 35.	Fotografía del campo de experimentación, donde se realizó la investigación Constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	97
Anexo 36.	Fotografía de los 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.	98
Anexo 37.	Desarrollo de la fenología reproductiva de <i>Opuntia ficus indica</i> , biotipo PTI 003 - variedad blanca.	99
Anexo 38.	Matriz de consistencia.	100

## RESUMEN

A pesar de la demanda creciente de tuna (fruta), en el mercado local se aprecia únicamente en los meses de enero a marzo, mientras que en resto de año refleja su ausencia, para su producción fuera de temporada es necesario conocer técnicas y los requerimientos térmicos. El objetivo de esta investigación fue determinar la constante térmica en cada fase de la fenología reproductiva y su relación en la calidad del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica*. La investigación descriptiva se realizó en plantas de dos años de edad, dispuestas bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), establecidas en el campo experimental del Instituto Nacional de Investigación Agraria-INIA Canaán Ayacucho entre noviembre 2019 a mayo 2020. Para determinar la constante térmica se registraron las fechas de las ocurrencias de cada fase fenológica (brotamiento de las yemas florales, antesis, amarre del fruto, maduración del fruto y periodo completo) y duración de la etapa. Con los datos de temperaturas obtenidos de la Oficina de Operaciones y Mantenimiento (OPEMAN) del Gobierno Regional de Ayacucho se calculó los Grados Día Desarrollo (GDD) utilizando el método residual, y para la variable calidad se tomó en cuenta el descriptor morfológico de *Opuntia sp* INIA-2003.

La constante térmica y duración de días promedio requerida para completar la fenología reproductiva de 5 biotipos de tuna fueron: 889,63 GDD y 49 días a partir del brotamiento de las yemas florales a antesis; 1861,72 GDD y 111 días de antesis a madurez del fruto 2751,31 GDD y 161 días para el periodo reproductivo completo. Los brotes que emergieron en diferentes fechas requirieron relativamente similar cantidad de constante térmica, y la velocidad de desarrollo se desaceleró conforme la temperatura media del aire fue disminuyendo. Por otro lado, se determinó que existe una relación media entre la constante térmica y calidad del fruto, en excepción del biotipo PTI-067A que se encontró una relación alta entre la CT VS Longitud, Diámetro del fruto.

**Palabras clave:** constante térmica, fenología reproductiva, biotipo, tuna, calidad.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cambio climático es un problema cada vez más preocupante en el mundo; y en el futuro el incremento de las temperaturas, las sequías prolongadas, heladas, entre otros, afectarán severamente el crecimiento y desarrollo de nuestros productos agrícolas que se producen hoy en día, entonces para afrontar a estos eventos climáticos adversos requerimos adoptar y producir cultivos tolerantes y con capacidad de fácil adaptación. Sin embargo, algunos cultivos con estas características se desarrollan y fructifican únicamente en una determinada época, es el caso de la tuna. Por este motivo, en el mercado local y nacional se observa la oferta en abundancia solamente los meses de enero a abril aproximadamente, y en el resto del año es notorio su ausencia. Son algunas razones por lo que nos urge conocer la fenología y determinar los requerimientos térmicos en la fenología reproductiva del tunal, para producir tuna en cualquier época del año con la ayuda de nuevas tecnologías.

Además, la especie *Opuntia ficus indica* "tuna" es uno de los cactus más importantes económicamente a nivel mundial con alto potencial de desarrollo y oportunidades de mercado, sus frutos representan el sustento alimenticio y económico de un gran número de familias gracias a su gran valor nutricional (Espinosa, 2017 y Ávalos, 2013).

La temperatura del aire es el factor del clima más decisivo para completar el desarrollo de los cultivos, y los grados día desarrollo (GDD) o unidades calor es el índice más utilizado para estimar las etapas de desarrollo de los vegetales, predecir necesidades nutrimentales, la producción y el manejo de plagas, entre otros al combinar el tiempo cronológico y la temperatura (Martínez *et al.*, 2017). El conocimiento de los requerimientos térmicos para el inicio del brotamiento de las yemas, floración y maduración del fruto, son muy útiles para producir fruta en cualquier época del año y predecir la cosecha.

Existen investigaciones donde se señalan que las temperaturas extremas son una limitante importante para la producción de frutos de alta calidad, ya que afectan el metabolismo y la fijación neta de CO<sub>2</sub>. Además de acortar o alargar la duración del ciclo fenológico, puede conducir a un limitado crecimiento de la porción comestibles del fruto y consecuentemente a una madurez anticipada, un reducido tamaño, bajo contenido de azúcar, etc. (Almaguer *et al.*, 2014).

### **Objetivo general**

Determinar la relación entre la constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica*.

### **Objetivos específicos**

1. Evaluar la relación entre la constante térmica para el desarrollo del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica*.
2. Evaluar la relación entre la constante térmica y calidad del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica*.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Martínez *et al.*, (2017), en su tesis Fenología y constante térmica de la “pitahaya” (*Hylocereus undatus* Haw. Brit. y Rose) señala que el crecimiento y desarrollo cultivo generalmente se describen en términos de días calendario; sin embargo, determinar el desarrollo en términos de tiempo térmico o tiempo fisiológico, requiere del conocimiento de la acumulación de unidades de calor para que ocurra las diferentes etapas de la fenología. Esta investigación tuvo como finalidad de determinar la CT de *Hylocereus undatus*, valor desconocido para esta especie. Para ello, evaluó la fenología reproductiva de tres variedades de pitahaya (“Ana”, “Juana” y “Carlos”) en dos ciclos consecutivo 2013 y 2014 en las plantas que estuvieron establecidas en Veracruz, México. En tal investigación se determinaron las fechas de registro de las fases fenológicas. Para calcular la CT se utilizaron el método residual, considerando 7 °C como temperatura base. En los resultados señala que el periodo reproductivo de la pitahaya inició después de registrarse los valores máximos de temperatura (<34 °C). Encontraron también que la constante térmica fue muy similar tanto en las etapas las dos variedades y en los dos años y estadísticamente no varió. Para la etapa Brotación-Antesis, la CT fue de 360 GDD y de Antesis-Madurez de fruto la CT fue de 537 GDD; por lo tanto, para completar el período completo de Brotación-Madurez de fruto, la pitahaya acumuló 897 GDD.

Hernández (2009), en la tesis Fenología, productividad y calidad de frutos con y sin semilla en *Opuntia ficus indica*, en el capítulo I (brotación de yemas, apertura y cierre floral y maduración del fruto), uno de los objetivos fue caracterizar en días y grados día acumulados los periodos desde la emergencia de yemas reproductivas a antesis y a maduración de fruto de *Opuntia ficus indica* cv. CP-

Azteca de frutos rojos. La investigación se efectuó en Tepetlaoxtoc, estado de México. Para ello se utilizaron unidades muestrales de cuatro años de edad, bajo un diseño experimental completamente al azar con 20 a 50 repeticiones. Al realizar los cálculos de GDD mediante el método residual, en sus resultados señala que la constante térmica requerida para antesis y madurez (M) del fruto a partir del brotamiento de las yemas florales fue bastante homogéneo entre los brotes que aparecieron el mes de febrero y abril. Las que emergieron en febrero requirieron 68 días (d) para llegar a antesis y 172 para la M; los correspondientes GDD fueron 1126 y 2618. Las que emergieron en abril requirieron 42 (d) para antesis y 160 para M; los correspondientes GDD fueron 1132 y 2621.

Soto *et al.*, (2009) estudió la “Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas en grupos del trigo harinero (*Triticum aestivum ssp*)” en dos fechas de siembra escalonadas, con una densidad de 100 kg/ha, con el objetivo de determinar la influencia que ejerce la temperatura del aire sobre la duración de las diversas fases fenológicas. En los resultados evidenció que la duración en días varió entre las fechas de siembra, y señala que las temperaturas altas aceleraron la culminación del desarrollo fenológico, mientras que las temperaturas bajas alargaron la duración.

Salomón *et al.*, (2016) en su tesis “Fenología reproductiva de *Stenocereus thurberi* (Cactaceae) en una región de transición del norte de Sinaloa, México”. Investigó la fenología de la especie en mención y ha mostrado variación geográfica asociada con el clima y los polinizadores, pero no se conoce su comportamiento en ambientes más húmedos de su área de distribución. El estudio realizó con la finalidad describir la dinámica reproductiva y la estructura de tamaños de tres poblaciones en una transición matorral-bosque caducifolio. Donde uno de los resultados fue, el calendario del periodo reproductivo se demoró 15-30 días y se prolongó por cuatro semanas más en la costa que en las otras poblaciones. La producción de estructuras reproductivas en fechas pico mostró diferencias altamente significativas en la costa. Menciona que la precipitación y la temperatura son determinantes en la producción de estructuras reproductivas y la estructura de tamaños de las poblaciones locales.

Ramírez (2013), en su trabajo de investigación Fenología y valor nutracéutico de diversas variedades pigmentadas de *Opuntia sp* “tuna” menciona que como consecuencia de la alta estacionalidad de la producción de tuna, los precios en el mercado bajan de manera impresionante afectando la comercialización. Para

producir tuna durante todo el año o fuera de temporada y aprovechar eficientemente su potencial agroindustrial, es muy necesario conocer la influencia de los factores climáticos, como la temperatura, precipitación, etc. Uno de los objetivos de este trabajo de investigación fue evaluar la dinámica de crecimiento de 14 variedades de tuna, para identificar variedades precoces y tardías mediante el registro semanal del crecimiento de cinco plantas sanas por variedad cultivada. En sus resultados señala que la emergencia de las yemas florales de las 14 variedades fue asincrónica y sus frutos presentaron un comportamiento de crecimiento sigmoide en la curva de crecimiento (longitud y diámetro). Otro de sus resultados fue que el periodo completo de desarrollo (a partir de la emergencia de las yemas florales hasta la madurez de los frutos) de las 14 variedades tomó entre 26 a 30 semanas, lo que corresponde a 161-203 días. Los días que requieren las yemas para llegar al amarre del fruto entre variedades fue desde los 42 a 63 días, 119 a 140 días a partir de amarre del fruto para alcanzar la madurez fisiológica. De igual manera, evidenció que la precipitación mostró una alta correlación con el tamaño del fruto en todas las variedades bajo estudio, mientras que las temperaturas tuvieron una correlación menor e incluso nula en algunas variedades.

Parra *et al.*, (2015), en su trabajo “Tiempo térmico para estados fenológicos reproductivos de la Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret)”, menciona que el desarrollo de este cultivo es principalmente estimulado por la temperatura, pero también señala que es afectado por otros factores medio ambientales y afirma que la determinación del desarrollo en términos de tiempo térmico o grados día de crecimiento (GDC) es más precisa que en días calendario. Esta investigación se realizó con el objetivo de proponer un modelo fenológico para la feijoa cv. Quimba, con la finalidad de predecir las fechas de cada fase de la fenología reproductiva y principalmente la época de cosecha de los frutos de esta especie en mención. Para ello se marcaron veinte árboles en cada fundo en dos diversas localidades de Colombia, durante el periodo 2012 a 2014, se registraron las fechas de aparición de los estados fenológicos, a partir de la formación del botón floral. La temperatura base estimó mediante el método de mínimo coeficiente de variación, al igual que la duración de los cuatro estados fenológicos reproductivos en términos de GDC. Los resultados evidenciaron que la  $T_b$  y GDC varían dependiendo de la etapa de desarrollo del cultivo, generalmente se requiere un promedio de 2 651 GDC y 189 días para llegar a la cosecha del fruto.

Gudino y De La Barrera (2014), estudiaron la Fenología reproductiva y tolerancia a temperaturas altas en *Stenocereus queretaroensis*, y resalta Numerosas especies de cactáceas presentan frutos comestibles, por lo que han adquirido un papel importante dentro de la agricultura de zonas áridas y semiáridas, tanto para el comercio regional como para el internacional. La investigación desarrolló en el Campus Morelia de la Universidad Nacional Autónoma de México, se propuso como objetivo caracterizar las condiciones ambientales prevalecientes en ese lugar y determinar la temperatura letal y óptima para cada fase fenológica. La fenología reproductiva de *Stenocereus queretaroensis* requiere condiciones específicas de temperatura y precipitación, así como también de la existencia de los polinizadores para asegurar la producción de frutos. Para ello cuantificó la producción de botones, flores abiertas y frutos durante el periodo 2010 a 2012 y evaluó el efecto de temperaturas altas en la integridad celular de tejidos florales. Midió la producción de néctar y la concentración de solutos a través del tiempo durante la antesis. Concluye que, el desarrollo reproductivo frecuentemente requiere de la acumulación de cierta cantidad de estas unidades de frío. El tejido de estructuras jóvenes tolera más el aumento de la temperatura, que sus contrapartes maduras.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Mendoza (2013), en su trabajo de tesis “Comparativo de accesiones de *Chenopodium quinoa willd* “quinua” en condiciones de costa central”, menciona que para alcanzar mayores rendimientos en la cosecha es muy importante y necesario conocer la duración aproximado del desarrollo fenológico del cultivo, así como la interacción con los factores climáticos, puesto que, juega un papel importante en la productividad. Uno de los objetivos de la esta investigación fue determinar el número de días y las unidades de calor acumuladas en grados día (GD) requerida para alcanzar cada fase de desarrollo en la fenología de los diversos genotipos de quinua evaluados bajo condiciones de costa central. El experimento realizó en el Campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina durante el periodo octubre del 2011 y febrero 2012, bajo un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones y 25 genotipos de quinua. Luego calcularon los grados día mediante el método residual, para ello utilizó 7 °C como Temperatura base, por considerarse como la temperatura mínima promedio del centro de origen de la quinua (Altiplano peruano - boliviano) y tuvo los siguientes resultados. De la totalidad de los genotipos evaluados, únicamente

4 mostraron el mejor comportamiento agronómico alcanzando mayores rendimientos. Las unidades de calor requeridas para culminar las 10 fases características fueron: fase 0,0 (germinación) 102,75 °D; fase 1,0 (desarrollo vegetativo) 377,04 °D; fase 2,0 (ramificación) 209,06 °D; fase 3,0 (desarrollo del botón floral) 406,90 °D; fase 4,0 (desarrollo de la inflorescencia) 571,66 °D; fase 5,0 (floración) 699,03 °D; fase 6,0 (antesis) 838,73 °D; fase 7,0 (grano acuoso) 1095,22 °D; fase 8,0 (grano lechoso) 1371,68 °D; fase 9,0 (grano pastoso) 1709,42 °D.

### **2.1.3. Antecedentes Regionales**

Roque (2019), estudió “Requerimientos térmicos de las fases fenológicas de dos variedades de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.): precoz y tardío en Ayacucho” en el campo de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga con el objetivo de determinar el requerimiento térmico de las fases fenológicas de dos variedades de amaranto: variedad Oscar Blanco (precoz) y la variedad centenario (tardía), bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar y 5 épocas de siembra. En los resultados al aplicar la prueba ANVA a un nivel de 95 % de confianza, no encuentra diferencias significativas estadísticamente en los requerimientos térmicos entre las épocas de siembra, pero si reporta diferencias significativas entre las variedades, mediante la prueba de comparación Tukey.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Constante térmica**

Es la suma de grados de calor que debe reunir una planta para completar su ciclo fenológico (Martínez *et al.*, 2017). Es decir; que la temperatura media sumado de cada día durante el periodo que demore el desarrollo fenológico, a partir de la germinación hasta la cosecha de un cultivo será lo mismo sea cual sea la localidad y año que se produzca.

La temperatura es el más determinante entre los elementos climáticos para el desarrollo de las plantas y los grados-día desarrollo (GDD) o unidades calor es el índice más utilizado para estimar las etapas de desarrollo de los vegetales (Martí, 1994).

Cuando la planta crece acumula materia de manera diaria, consecuentemente incrementa el volumen y peso hasta llegar a un punto óptimo para pasar de una a otra fase de desarrollo. La acumulación de materia se produce gracias a dos procesos importantes, la fotosíntesis neta y respiración, los cuales están condicionados por la temperatura del medio ambiente (Guía de estudio 12, 2017).

La mayor acumulación de materia seca se da cuando la temperatura favorece más a la fotosíntesis y asimilación que a la respiración, por lo tanto, cuanto más óptima sea temperatura diaria la acumulación se incrementa. Debido a esta asociación se ha considerado que la acumulación de materia seca es sinónimo de acumulación de energía obtenida por la suma de temperaturas (Guía de estudio 12, 2017).

Toda planta o cultivo necesitan acumular obligatoriamente un determinado número de temperaturas en grados día crecimiento o grados día desarrollo, durante la fase vegetativa y fase reproductiva, para completar satisfactoriamente el ciclo de vida. A dichas sumas de temperatura media diaria en cada etapa y periodo completo de desarrollo se le denomina constante térmica. Este valor es propio y fijo para cada cultivo, y se halla sumando las temperaturas desde la germinación hasta la madurez fisiológica de la planta (Guía de estudio 12, 2017). La temperatura controla la tasa de crecimiento de muchos organismos, los que requieren la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estadio a otro en su ciclo de vida. En un cierto lugar determinado, el número de días que demora en completar el ciclo entre la siembra y la cosecha, no es número específico sino más bien es la cantidad total de grados días que debe acumular un cultivo para cumplir con su cabal desarrollo, ya sea por sub periodo vegetativo o por todo su periodo (Roque, 2019).

#### **a. Temperaturas óptimas**

Son aquellos valores de temperatura más favorables para la actividad fotosintética y por ende, para el crecimiento y desarrollo de una planta. De manera general se le define un intervalo de temperaturas óptimas para un determinado especie, gracias a estos valores de temperatura, la multiplicación celular se realiza en su máxima magnitud, alcanza su mejor expresión y velocidad (Guía de estudio 12, 2017).

#### **b. Temperaturas umbrales**

Temperaturas por debajo o por encima de ciertos valores a partir de los cuales el desarrollo morfológico del vegetal comienza a presentar cambios y modificaciones. Los valores son variables, según las especies y variedades de plantas (Guía de estudio 12, 2017).

Dicho parámetro condiciona que un cultivo pueda o no desarrollarse en un territorio determinado. Además, interviene en el proceso vegetativo de las plantas, puesto que, ejercen múltiples efectos sobre las funciones de la planta tales como la respiración, transpiración o la fotosíntesis (Martí, 1994).

En el caso de *Opuntia spp*, la temperatura baja es el factor que más lo limita. Por otro lado, Las temperaturas altas pueden influir en la disminución de la producción, existen investigaciones que en sus reportes mencionan que la planta tolera hasta los 65 °C durante una hora sin presentar daños; sin embargo, a temperaturas menores a 5 °C se presenta daño celular (Valdez *et al.*, 2001)

### **c. Temperatura base**

Señala la temperatura vital mínima, por debajo de la cual se detiene el crecimiento o desarrollo debido al frío, y a medida que aumenta la temperatura por encima de ésta los procesos se aceleran hasta alcanzar la óptima temperatura (Universidad Nacional de Entre Ríos, 2007).

### **2.2.2. Fenología**

Estudia los cambios visibles y diferenciables que muestran las plantas como resultado de su interacción con los elementos climáticos (temperatura, luz, humedad, precipitación, suelo, etc.) del lugar donde se desarrollan. La fenología mide las diferentes fases de desarrollo de las plantas, a través de la observación y determina los diferentes eventos de transformación fenotípica de la planta, dando rangos de tiempo comprendidos entre una y otra etapa (Mendoza, 2013).

Se les llama fases visibles cuando las plantas manifiestan cambios externamente ya sea en la etapa vegetativa o reproductiva, tales como el desarrollo del botón floral, floración, etc., mientras que las fases invisibles son aquellas que no se pueden apreciar a simple vista como la germinación, debido a ello su observación y registro es más complejo, por ende, una fase fenológica viene a ser el período durante el cual aparecen, se transforman o desaparecen los órganos de las plantas (Yzarra y López 2011).

El conocimiento fenológico contribuye al entendimiento de los patrones vegetativos y reproductivos de las plantas y de la fauna asociada a ellas entre herbívoros, polinizadores, y frugívoros. Por lo tanto, puede contribuir a la solución de algunos problemas, puesto que, sienta bases para comprender la biología de la reproducción de las especies, la dinámica de las comunidades, las interacciones planta-animal y la evolución de la historia de vida de los animales que dependen de las plantas. Este conocimiento proporciona información sobre la disponibilidad de recursos a lo largo del año y permite determinar las estrategias de recolecta de frutos, lo que puede favorecer la calidad y cantidad de semillas para la producción de nuevas plántulas (Ochoa *et al.*, 2008).

### **2.2.3. Fenología reproductiva**

La fenología reproductiva o fenofase, es el estudio de las actividades periódicas y repetitivas del ciclo de vida de las plantas y su variación temporal a lo largo del año (Ochoa *et al.*, 2008).

### **2.2.4. *Opuntia ficus indica* “tuna”**

La especie *Opuntia ficus indica* es una de las cactáceas con mayor importancia económica en el mundo, carece de hojas normales o típicas de una planta, presenta tallos completamente modificados para realizar la fotosíntesis y como órganos de reserva de agua, conocidos como cladodios capaces de ramificarse emitiendo flores y frutos. Pertenece a la familia de cactáceas oriundas de México, de amplia distribución y variación (Castro *et al.*, 2009 y Reyes *et al.*, 2009).

El tunal, legado de pueblos prehispánicos presenta un crecimiento rápido, poseen una gran capacidad de adaptabilidad a condiciones restringidas del planeta tanto referido a recursos hídricos, suelos y aspectos medio ambientales. Se aprovecha en la producción de tuna, verdura, forraje y substrato en la cría de cochinilla, estas razones han motivado significativamente las investigaciones que hacen énfasis a formas novedosas para el rendimiento agrícola, adaptabilidad, desarrollo de la planta, erradicación de enfermedades, mejoramiento de la cosecha, calidad en las operaciones de la post cosecha e industrialización (Castro *et al.*, 2009; Reyes *et al.*, 2009).

Su distribución en nuestro país es amplia, especialmente en los valles interandinos donde ha encontrado condiciones adecuadas para su establecimiento. Sus frutos son consumidos por los pobladores locales y son comercializados en los principales mercados del país (Mostacero, 2018).

### **2.2.5. Fruto**

Es el producto del desarrollo del ovario de una flor después de la fecundación, posee y protege las semillas de las plantas con flores, y que en muchos casos propicia también su dispersión. Su gran variabilidad morfológica y las extraordinarias adaptaciones que presenta para facilitar su transporte son la consecuencia de casi 140 millones de años de evolución (Invernón, 2012).

### **2.2.6. Calidad**

Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie.

Un producto es considerado de calidad cuando cumple los requisitos especificados por el cliente o consumidor, para satisfacer sus necesidades

donde se asume la conformidad con el producto sobre la base de una serie de mediciones subjetivas y objetivas del producto. Entre las mediciones de pureza, longitud, diámetro, sabor, color, madurez, seguridad nutricional, contenido de azúcar o cualquier otro atributo o características del producto (ISO conceptos de calidad del fruto, 2009).

### **Principales indicadores de calidad**

Para que el fruto de tuna sea considerada de calidad, según el concepto señalado, deberá cumplir con los siguientes parámetros establecidos por las exigencias del consumidor.

#### **a. peso**

Para que el fruto “tuna” se considere de calidad, deberá pesar como mínimo 120 g (Ayala, 2014)

#### **b. Tamaño del fruto**

La longitud y el diámetro deberán ser mayores a 61 mm y 53 mm respectivamente.

#### **c. Contenido de azúcar**

El contenido de azúcar es uno de los factores decisivos en la calidad del fruto. La fructosa acumulada durante las semanas finales del desarrollo de la pulpa, se conocen como sólidos solubles totales (SST), y sus valores óptimos para la cosecha varían entre 13 y 17 % (Ayala, 2014).

### **2.2.7. Biotipo**

El biotipo es la forma típica de un organismo (persona, animal o planta) que puede considerarse un modelo de su especie, variedad o raza. El biotipo o tipo somático comprende las características generales de un organismo que comparte un fenotipo o las particularidades de los bioelementos que comparte un genotipo. Un biotipo es el grupo de individuos que poseen el mismo genotipo (Zerón, 2011).

## **2.3. Bases teóricas**

### **2.3.1. Origen y distribución de *Opuntia ficus indica* “tuna”**

El tunal *Opuntia ficus indica* perteneciente al género *Opuntia*, especie endémica del continente americano, se desarrollan principalmente en las regiones áridas y semiáridas (Mendoza, 2014).

Como centro de origen para la especie *Opuntia ficus indica* “tuna” se reporta las estribaciones oeste de los Andes del Perú y Bolivia, y en la meseta central de México, de estos lugares se ha esparcido a otros países, especialmente España,

Italia y Australia (Pulgar, 1992). En nuestro país, los primeros restos sobre el uso de esta fruta encontrados datan de la época del Horizonte Pre-agrícola (10 000 años de antigüedad), y se encontraron en los basurales próximos a la cueva de Pachamachay en las cercanías del lago de Junín sobre los 4 200 msnm, aunque el primer reporte definitivo está fechado en México en 1515 (Inglese *et al.*, 2018). El poder de adaptación que poseen las Opuntias les permite colonizar casi cualquier medio, su amplio intervalo para modificar su morfología al pasar del tiempo, ha permitido a este género adaptarse a una gran diversidad de hábitats. Gracias a sus características se ha registrado la presencia de Opuntias en gran parte del mundo. Países como Chile, Perú, Brasil, México, Bolivia, Colombia, Estados Unidos de América, Italia, España, etc. (Pérez De Valle, 2006).

### **2.3.2. Clasificación taxonómica**

Según el sistema de clasificación de Cronquist (1988), el tunal *Opuntia ficus indica* tiene la siguiente posición taxonómica (Rosillo, 2016).

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Carophyllales
Familia	: Cactaceae
Género	: Opuntia
Especie	: <i>Opuntia ficus indica</i>
Nombre vulgar	: Tuna, chumbo, higo, nopalli, nopal.

### **2.3.3. Características morfológicas**

#### **a. Raíz**

Es de tipo adventicia (las raíces secundarias no nacen de la raíz principal sino de otras partes de la planta), el sistema radicular se caracteriza por su tamaño extenso, pero poco profundas, posee la capacidad para penetrar con facilidad en las grietas de los suelos más duros y pedregosos. Generalmente es gruesa, pero no suculenta, de tamaño y ancho variable, a menudo es proporcional al tamaño de la parte aérea. Tiene un desarrollo rápido, formando una red o una malla que aprisiona el suelo evitando la erosión. Generalmente no suele presentar pelos absorbentes cuando se desarrolla en un medio con escasa humedad, mientras que en suelos húmedos existe abundante desarrollo de éstos.

La mayor masa radical están en los primeros 30 cm del suelo y durante la época de lluvia en los extremos de las raíces crecen numerosas raicillas blancas y

provistas de pelos, lo que aumenta la superficie de absorción, la vida de esta se limitan a este periodo, por lo que se denominan raíces de lluvia. Las raíces se originan de yemas laterales adventicias y no se distingue la dominancia de la raíz principal (González, 2001).

#### **b. Tallo**

Está constituido por pencas o cladodios ovoides y aplanados, unidos unos a otros, en conjunto puede llegar hasta 4 metros de altura y 3 metros de diámetro aproximadamente. El tallo a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde en función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos (González, 2001).

El tamaño de los cladodios puede llegar a alcanzar de 33 - 60 cm de longitud y 18 - 25 cm de ancho, con un grosor de 1,8 - 2,3 cm; color verde pálido a oscuro, sin espinas. (Huanca, 2017).

#### **c. Hojas**

Las hojas están profundamente transformadas, poseen una forma de gancho cónica grueso de color verde y son únicamente visibles en la primera edad, en cuyas axilas se hallan las areolas en las que se encuentran las espinas. Posterior a un mes aproximadamente de su aparición empiezan a tomar una coloración amarillenta y se desprenden, su disposición casi regular sobre el cladodio es una de las características de la especie *Opuntia ficus-indica*. En estas hojas transitorias se realiza la fotosíntesis. Las cuales están protegidas por una capa de cutícula gruesa que, en ocasiones, está cubierta de cera o pelos que disminuyen la pérdida de agua, puesto que poseen abundante parénquima. Consecuentemente, en este tejido, se almacena considerables cantidades de agua, lo que permite a las plantas soportar largos periodos de sequía (Huanca, 2017).

#### **d. Flores**

Las flores de 7 a 10 cm de largo, son solitarias y hermafroditas, pues en la misma flor se encuentran los órganos reproductores de ambos sexos. Generalmente se desarrollan en el borde superior de las pencas y cada areola produce una flor por areola, aunque no en una misma época de floración, unas puedan brotar el primer año, otras el segundo y tercero. Son sésiles donde las flores presentan cambios en el color durante la apertura y en el cierre, los estambre son numerosos que oscilan de 480 a 500 que se encuentran insertos

en la cavidad receptacular, el estilo es ensanchado en la base y termina en estigma lobulado y presenta un canal estilar en la cual se desarrollan los tubos polínicos, el ovario es ínfero. Los óvulos están dispuestos en placentación parietal (Huanca, 2017 y Pimienta, 2000).

#### **e. Frutos**

Es una baya globosa, cilíndrica, de 5 a 10 cm de largo por 4 a 8 cm de diámetro, posee una coloración verde cuando está inmaduro y posteriormente se torna de coloración característica de la variedad. En el ápice tiene una depresión en lugar donde estuvo insertada la flor. La pulpa es de consistencia gelatinosa, contiene numerosa semillas pequeñas, arriñonadas de color variable (Piga, 2004).

#### **2.3.4. Fenología reproductiva y desarrollo de los frutos de *Opuntia ficus indica***

La evolución del desarrollo y maduración de tuna, se refiere que la fenología del tunal y de las demás plantas está directamente relacionada a los factores climáticos como la temperatura, radiación y humedad. Como resultado de la interacción con dichos factores, el tunal muestra las fases como la brotación de yemas, la floración (antesis), amarre del fruto y la maduración de los frutos (Mostacero, 2018).

##### **a. Brotación de yemas florales**

Es cuando las areolas se desarrollan muy tempranamente en la axila del primordio de la hoja. A partir de una masa de células, la areola inicia a evolucionar, posteriormente se transforma rápidamente en un meristemo apical típico de forma esférica con todas las zonas regulares; túnica, células madres centrales, zonas periféricas y meristemo de la costilla de la medula.

La areola únicamente puede dar lugar a una flor o un cladodio y posteriormente se inactiva completamente, además un solo cladodio puede producir 20 o más yemas florales, y durante el desarrollo floral, el pericarpio mantiene la actividad fotosintética. La yema floral es casi esférica y cuando alcanza una longitud de 0,5 cm, el gineceo y el androceo pueden ser distinguidos bajo el microscopio (Inglese *et al.*, 2018).

##### **b. Floración (antesis)**

Una vez que el perianto alcanza su máximo tamaño ocurre la apertura floral cuando las temperaturas del ambiente están relativamente bajas. Las flores se abren y cierran el mismo día, la apertura floral del género *Opuntia* generalmente dura 8 a 11 h, sin embargo algunas flores pueden abrir al segundo y tercer día

con cambios de color del perianto de amarillo claro a rosado. El instante de la apertura floral marca el inicio de la polinización de flores, que en el nopal pueden ser hermafroditas o unisexuales (Hernández, 2009).

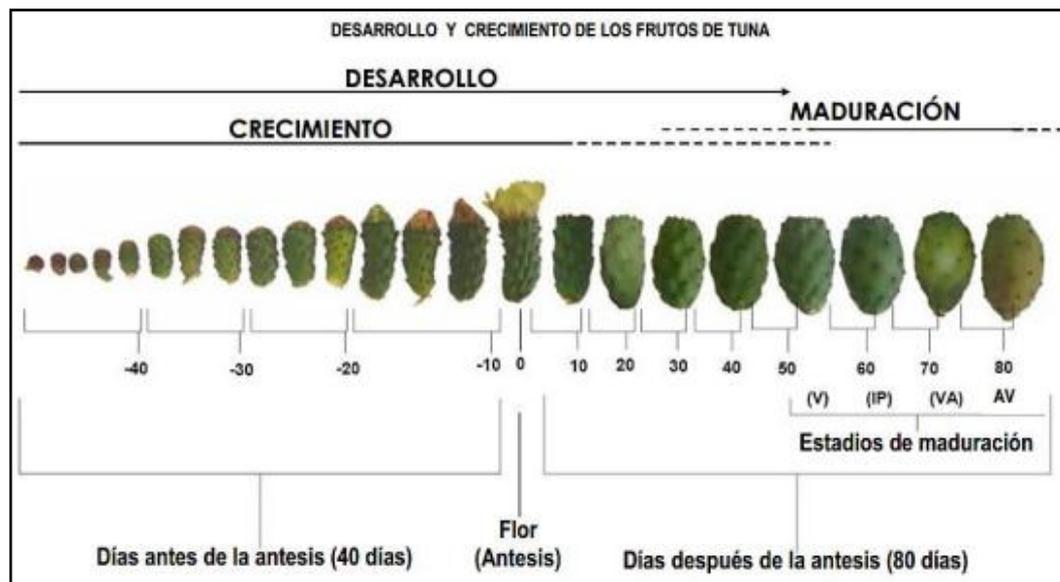
En cladodios de un año de edad crecen el 74 % de las flores. La antesis de la flor se efectúa generalmente en horas de la mañana y las flores cierran al atardecer y nuevamente puede abrirse al día siguiente. La dehiscencia de las anteras puede ocurrir 12 horas antes o al momento de la floración (Inglese *et al.*, 2018).

**c. Amarre del fruto**

Después de dos o tres días que haya ocurrido la antesis, el perianto cae y una vez fecundado el óvulo comienza el desarrollo del fruto. El amarre, es el punto que marca la transformación del receptáculo en cáscara del fruto (Martínez, *et al.*, 2017).

**d. Maduración del fruto**

El crecimiento del fruto sigue un patrón doble sigmoide en términos de peso seco; evidenciando un incremento notorio del peso seco de la cáscara durante la etapa I, para las semillas durante la etapa II mientras que la porción comestible o la pulpa durante la etapa III del periodo de desarrollo del fruto. De hecho cuando se están desarrollando más de cinco frutos sobre un cladodio de un año, se lleva a cabo una importación extensiva de asimilados, particularmente en la etapa III de desarrollo del fruto (Inglese *et al.*, 2018).



Leyenda: estadios de maduración: v (futo verde), IP (inicio de pigmentación amarillo), VA (verde amarillo), AV (amarillo verde)

**Figura 1.** Desarrollo y crecimiento de los frutos de *Opuntia sp* "tuna" (Castro *et al.*, 2009).

### **2.3.5. Importancia agroecológica y económica**

Los tunales actualmente son parte del entorno natural y de los sistemas agrícolas y se considera que la especie *Opuntia ficus indica* es de mayor valor económico en el mundo. Por esta razón, muchos países del mundo practican su cultivo. Se halla desde Canadá hasta Patagonia, Argentina, y desde el nivel del mar hasta los 5 100 msnm en el Perú (Inglese *et al.*, 2018).

El tunal tiene varios usos desde alimenticio, la manufactura de diversos productos en la medicina y cosmética:

#### **a. Alimenticio**

Los usos más comunes de esta planta son los frutos y los cladodios. El consumo como hortaliza se ha extendido cada vez más debido a sus ventajas nutricionales, por ello, se prepara platos a base de cladodios tiernos en sus diferentes presentaciones (Ríos y Quintana, 2014).

#### **b. Fruta**

La tuna (fruta) es de amplia aceptación en el mercado nacional e internacional para el consumo en fresco, como también para la agroindustria (jugos, licores, mermeladas, etc.). Pues, es un producto que contiene minerales como el calcio (Ca), fósforo (P), y vitaminas que ayudan en el funcionamiento fisiológico del organismo humano (INIA, 2008).

#### **c. Forraje**

En los últimos años, especialmente en épocas de sequía, los cladodios han sido aprovechados como alimento (forraje) para los animales domésticos entre vacunos, ovinos, porcinos y caprinos especialmente las variedades sin espinas (Ríos y Quintana, 2014).

#### **d. Medicinales**

Las pencas del tunal son empleados en extractos, jugos y emoliente como diuréticos, antidiabéticos, cicatrizante de úlcera, antiescorbútico antiinflamatorio para tratar dolores de garganta, etc. puesto que, el consumo de la cladodios tiernos y tuna acida controla los niveles de azúcar en la glucosa y de colesterol en la sangre. Así como la fruta (tuna) y los cladodios tiernos poseen componentes bioactivos que son beneficiosos para la salud cuando se consume de manera adecuada (Huanca, 2017).

#### **e. Sustrato**

El tunal es infestada por insectos *Dactylopus coccus costa* "cochinilla", con la finalidad de obtener el carmín. Este insecto vive sobre los cladodios

alimentándose de la sabia del tunal, se caracteriza por poseer una sustancia blanca que le cubre todo el cuerpo, el cual forma manchas del mismo color en la planta. Se han registrado mayor incidencia en los tunales que están distribuidas entre los 500 a 3 000 msnm (Ríos y Quintana 2014; y INIA, 2008).

### **2.3.6. Importancia agroecológica y económica de la tuna en América**

Los usos tradicionales y típicos del tunal son de amplio rango según los países y sus diversas formas de aplicación han encendido la imaginación de muchos agricultores, ganaderos y de la comunidad científica (Inglese *et al.*, 2018).

#### **a. Perú**

Hasta el momento se registran el 60 % de los cultivos están destinados al uso como sustrato para la crianza de cochinilla, y el restante 40 % del cultivo están destinados a la producción de la fruta en fresco para el mercado local y no para la exportación. Sin embargo, recientemente el consumo de la fruta ha crecido en sus diversas presentaciones principalmente en jugos.

El principal objetivo de la crianza de cochinilla es la obtención del pigmento (carmín), en nuestro país se produce en un 10 000 hectáreas que representa el 80 % bajo un cultivo intensivo y el resto es obtenido de las plantas semidomesticadas de los distritos de Huarochirí y Ayacucho (Inglese *et al.*, 2018).

#### **b. Argentina**

Posee 1 650 hectáreas plantadas aproximadamente, destinadas a la obtención de fruta y son comercializadas en el mercado nacional. La variedad más importante es una selección local denominada “Amarilla sin espinas” (Inglese *et al.*, 2018).

#### **c. Bolivia**

Son destinadas a múltiples usos. La mayor producción se concentra en altitudes entre 1 500 a 3 000 msnm (Cochabamba, Chuquisaca, Sucre, Tarija y La Paz) con 350 - 640 mm de precipitación anual, recientemente su producción del tunal se ha incrementado y está destinada principalmente para abastecer la demanda de forraje para el ganado de zonas áridas y semiáridas de Bolivia (Inglese *et al.*, 2018).

#### **d. Brasil**

En Brasil se estima que el tunal cultivado cubre una extensión de 500 000 hectáreas, las cuales son destinadas casi la totalidad al uso como forraje. Este país se caracteriza por el manejo intensivo en la producción de forraje en verde y

seco con altos rendimientos, lo cual le convierte en el país con más alta producción nacional de forraje del mundo (Inglese *et al.*, 2018).

#### **e. Chile**

Posee 934,4 hectáreas de plantaciones, la producción es principalmente destinada al consumo de fruta en fresco para el mercado nacional. Sin embargo, existe un interés creciente hacia el uso de los cladodios del nopal como alimento mermeladas y nopalitos en la dieta chilena (Inglese *et al.*, 2018).

#### **f. México**

Presenta gran diversidad genética y el más alto consumo del mundo, entre las principales especies cultivadas son *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia xoconoxtle*, *Opuntia megacantha* y *Opuntia streptacantha*. La extensión cultivada con nopal tunero actualmente alcanza 53 876 hectáreas. Se reporta que un es fuente de ingresos económicos aproximadamente de 200 000 familias, alcanzando una producción anual 428 763 ton/año. Se evidencia también la producción de nopal – verdura y forraje (Inglese *et al.*, 2018).

### **2.3.7. Enfermedades de la *Opuntia* sp**

Al igual que otros cultivos, el tunal *Opuntia ficus-indica* es atacada por varias enfermedades abióticas y bióticas, su importancia depende del destino del producto. La información sobre la etiología y la epidemiología de los patógenos es escasa, y los estudios científicos no cubren adecuadamente los daños económicos que causan ni la distribución geográfica de muchas enfermedades del tunal. Según literaturas, los patógenos causantes de la gran parte de las enfermedades son hongos y en menor proporción por bacterias, virus y fitoplasmas debido a las condiciones ambientales típicos (clima seco) de las regiones donde se cultivan a nivel mundial. Las enfermedades se evidencian problemáticas notoriamente únicamente en algunas etapas del periodo vegetativo y reproductivo de los tunales cuando los factores ambientales les son favorables para los patógenos. Sin embargo, el cambio climático y la densidad de las plantaciones favorecen a mayor incidencia y aparición de nuevas enfermedades (Inglese *et al.*, 2018).

#### **a. Enfermedades fungosas**

##### **• Mancha negra**

El agente causal es el *Pseudocercospora opuntiae*, en primer instancia los síntomas son decoloraciones circulares de 3 a 4 cm de diámetro de la cutícula del cladodio, posteriormente se torna de coloración transparente y aceitosa. En

el medio del área circular afectada empieza a aparecer una mancha de color café al igual que en los márgenes, mientras pasan los días el color se intensifica hasta ser un color negro, finalmente el área circular afectada se hunde hacia el lado opuesto del cladodio. La coloración café oscuro a negro es un indicador del colapso del tejido (Inglese *et al.*, 2018).

- **Roya**

El agente causal es el *Aecidium opuntiae*, esta enfermedad es causada por *Puccinia opuntiae*, la cual produce pústulas de color amarillo-anaranjado sobre los cladodios y las tunas. Conforme la lesión se seca, se desarrolla un ligero hundimiento de la zona afectada (Inglese *et al.*, 2018).

- **Pudrición de raíces por Phytophthora**

El agente causal es el *Phytophthora nicotianae*, la pudrición generalmente ocurre en la base del tunal, los síntomas más característicos incluyen la aparición de los exudados gomosos liberados por la parte baja del tronco. Las plantas afectadas por la *Phytophthora* presentan lesiones acuosas con márgenes de coloración café irregulares en la superficie del tronco y posteriormente empieza la pudrición suave que se tornan de café o rojizo. Las plantas afectadas se notan cloróticas, detienen el crecimiento y los cladodios se marchitan, causando la muerte de la planta (Inglese *et al.*, 2018).

- **Pudrición del cladodio y de la fruta**

El agente causal es *Lasiodiplodia theobromae*, las primera síntomas son manchas negruzcas circulares de 15 – 50 mm de diámetro que aparecen en la superficie de los cladodios liberando exudados gomosos en el margen de la lesión. Los picnidios son frecuentemente visibles sobre la superficie del área lesionada (Inglese *et al.*, 2018).

## **b. Enfermedades bacterianas**

- **Pudrición suave negra**

El agente causal es *Erwinia carotovora*, generalmente en primavera las pencas presentan manchas acuosas de coloración café y los tejidos externos se secan y frecuentemente se agrietan; los tejidos internos tomando de un color obscuro casi negro. Dichas anomalías también pueden ser visibles en la superficie de los frutos (Inglese *et al.*, 2018).

## **c. Fitoplasmas y enfermedades virales**

- **Engrosamiento de cladodios o macho**

Se asume que esta enfermedad es causada por fitoplasma, y presenta síntomas como mal formaciones de los cladodios (forma de corazón), proliferación de

brotos y engrosados, enanismo severo tanto de brotes, flores y frutos y muestran un crecimiento retardado y amarillamiento de cladodios son asociados con fitoplasmas del subgrupo 16srII (Inglese *et al.*, 2018).

#### **d. Insectos plaga de la planta de tuna**

- ***Dactylopius coccus costa* “cochinilla”**

Es considerada como plaga benéfica o perjudicial dependiendo los fines trazados de las plantaciones del tunal. Si el objetivo es la producción de tuna (fruta), entonces la cochinilla incide negativamente en la producción. Por tal motivo no es recomendable tener plantaciones para producción de fruta y cochinilla de forma paralela (producción mixta) debido que el beneficio de una será el perjuicio de otra.

La cochinilla habita la superficie de los cladodios, generalmente agregada o en colonias, y se instalan justo en la base de las espinas. Se alimentan de la sabia de los cladodios y de frutos en ocasiones. Después de pocas semanas del establecimiento en el tunal, aparecen áreas amarillas en la planta, el cual eventualmente se desprende. Algunas veces pueden originar nuevos brotes vegetativos, sin embargo, posteriormente caerán si las cochinillas permanecen en las plantas, dependiendo del grado de infestación, el tronco también puede colapsar (Inglese *et al.*, 2018).

- ***Ceratitis capitata* “mosca de la fruta”**

La mosca de fruta, al momento de realizar la ovoposición a nivel del fruto genera una vía de entrada para los hongos y bacterias, quienes descomponen principalmente la pulpa de la tuna, por otro lado, las larvas de *Ceratitis capitata* generan galerías como producto de su alimentación. Todo ello conduce a la madurez anticipada y posterior caída del fruto, consecuentemente se pierde la cosecha.

- **Insectos lepidópteros**

La “palomilla” *Cactoblastis cactorum*, “gusano cebrá” *Olycella nephelepassa*, “gusano blanco” *Megastes cyclades* y “barrenador de las uniones de cladodios” *Metapleura potosí* pertenecientes a la familia Pyralidae son los más abundantes y destacados insectos lepidópteros que se alimentan de las plantas de tuna.

*Cactoblastis* en estadio de larva son tan perjudiciales, puesto que, se alimentan vorazmente de los tejidos internos del tunal, hasta llegar a un punto de destruir totalmente una planta de tamaño pequeño a mediano en una sola estación, posteriormente se desplazan en grupo a otros cladodios sanos que están más

próximos para seguir alimentándose y consecuentemente conlleva a la destrucción de tunales. Estas larvas pueden tener dos o tres generaciones por año.

Las larvas de la especie *Megastes cyclades* son tan perjudiciales y móviles al igual de las *Cactoblastis* y causan el colapso de tallos y ramas años tras años debido a las galerías ocasionadas producto de su alimentación.

Las larvas de la *Metapleura* provoca daños a nivel de los tejidos internos del cladodio, uniones entre cladodio-fruto y la pulpa de los frutos, este último puede pasar desapercibido porque no es fácil de detectar frutos infestados, lo cual es un alto riesgo para los vendedores de tuna en fresco.

Por último, *Olycella* ataca plantas jóvenes hasta tres años de edad, el daño causado es localizado y se encuentra detrás de los abultamientos como tumores en los cladodios (Inglese *et al.*, 2018).

- ***Spodoptera frugiperda* “gusano cogollero”**

Es una plaga polífaga que causa severas pérdidas si no se controla oportunamente, tiene como hábito alimenticio las plantas tiernas y jóvenes provocando la deformación de ésta.

### **2.3.8. Desordenes abióticos en los tunales**

Existe muy poca información científica sobre las enfermedades no infecciosas o por fenómenos naturales que ocasionan daños en la planta.

#### **a. Daños por helada**

Las temperaturas inferiores a 5 °C pueden causar daños sobre toda la planta y afectar solamente una parte de ella, el grado de severidad depende de la edad y etapa fisiológica en que se encuentra el tunal, como consecuencia se tiene bajos rendimientos o en la calidad. Los frutos en etapa de maduración son más susceptibles a las heladas, los daños consisten en manchas necróticas sobre la superficie de la cáscara (Inglese *et al.*, 2018).

#### **b. Daño por granizo**

Las granizadas pueden resultar perjudiciales dependiendo de la duración de la tormenta y el estado fisiológico en la que se encuentra el tunal. Causa heridas en los puntos de impacto tanto en los cladodios y frutos, las cuales posteriormente son vías de ingreso para los hongos y bacterias (Inglese *et al.*, 2018).

#### **c. Agrietamiento de frutas**

Aunque la causa exacta no es conocida, el agrietado de frutos ocurre cuando las plantas absorben agua (riego o lluvia) después de un periodo prolongado de

sequía, que causa la expansión rápida del fruto rompiendo la cáscara cerca de la base del fruto (Inglese *et al.*, 2018).

### **2.3.9. Requerimientos agro climáticas para su cultivo**

El tunal es un cultivo de zonas áridas y sub tropicales, se ha adaptado a un amplio rango de climas y suelos que puede crecer desde los 800 a 3 500 msnm, pero su condición óptima se observa en altitudes comprendidas entre los 2 600 y 2 800 msnm. En nuestra localidad se encuentra en la formación ecológica de acuerdo al Sistema de Holdridge a estepa espinosa Montano Bajo Subtropical (ee-MBS de 2 100 – 3 100 msnm), y es indicadora de zonas xerofíticas, monte espinoso subtropical (mte-s), bosque seco montano bajo subtropical (bs-MBS). Puede crecer desde el nivel del mar hasta los 3 000 msnm (Holdridge, 1982).

#### **a. Suelo**

Preferentemente los suelos deben ser de textura franca, franco arcilloso arenosa, arenosos, franco arenoso con pH entre 6,5 – 8,5 con buen drenaje y de salinidad baja, debido a que las raíces son sensibles a anoxia. Suelos con salinidad alta reducen el normal crecimiento hasta en un 40 % (Castro *et al.*, 2009).

#### **b. Agua**

Aunque las plantas de tuna es tolerante al estrés hídrico, si el objetivo de la plantación es la producción de verdura, entonces el lugar deberá ser accesible a una fuente de agua para proveer las veces que se requiera y obtener buenos rendimientos. Si el cultivo es para forraje y fruto la producción depende de la cantidad y calidad del riego (Castro *et al.*, 2009).

#### **c. Temperatura**

Para un óptimo crecimiento y desarrollo requiere una temperatura media anual entre 16 – 28 °C. El tunal realiza la fotosíntesis en su máxima nivel, a temperaturas diurnas de 25 °C y nocturnas de 15 °C, más altas o bajas reducen la asimilación de dióxido de carbono, consecuentemente se reduce la acumulación de materia neta y productividad.

Las temperaturas superiores a 30 °C conducen a reducciones aproximadamente en 70 % de la actividad fotosintética, que conllevan a una madurez anticipada, reducción en el tamaño de la tuna. Por otro lado, las temperaturas diarias menores de 15 °C retardan el crecimiento y la madurez del fruto y conduce a que la cáscara sea más gruesa, menor contenido de azúcar y color deficiente de la cáscara (Castro *et al.*, 2009; Inglese *et al.*, 2018).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación de la zona de estudio**

La investigación se realizó en el campo experimental perteneciente a la Subdirección de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología-SUBDIRGEB, una de las áreas del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Canaán – Ayacucho.

##### **3.1.1. Ubicación geográfica**

El campo experimental se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas.

Altitud : 2730 msnm  
Latitud : 13° 09' 48" S  
Longitud : 74° 12' 20" O (Roque, 2019)

##### **3.1.2. Ubicación política**

Lugar : Estación experimental Canaán - Ayacucho – INIA ubicado en la Av. Abancay s/n – Canaán bajo.  
Distrito : Andrés Avelino Cáceres Dorregaray  
Provincia : Huamanga  
Región : Ayacucho

##### **3.1.3. Ubicación de la estación meteorológica automática - INIA**

La estación meteorológica automática INIA, perteneciente a la Oficina de Operaciones y Mantenimiento (OPEMAN) del Gobierno Regional de Ayacucho (Gore Ayacucho), está ubicado dentro del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Canaán – Región Ayacucho, provincia Huamanga distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray.

##### **3.1.4. Descripción del ambiente**

La temperatura media anual para Ayacucho es de 16 °C, con una máxima media anual igual a 24 °C y una temperatura mínima anual a 8,4 °C correspondiendo a los meses de verano como los más calurosos acompañado de lluvias, y siendo el

periodo más frío correspondientes a los meses de junio y julio, presentándose heladas invernales. La precipitación total para esta localidad es de 572,9 mm, siendo los meses de octubre a marzo con presencia de lluvias más frecuente y abundante (Roque, 2019).

### **3.2. Población y muestra**

#### **3.2.1. Población**

La población lo constituyeron 72 tunales establecidos en el campo experimental del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Canaán – Ayacucho, conformados por 8 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica*, dispuestos en 3 niveles constituyendo bloques por triplicado.

#### **3.2.2. Muestra**

La muestra fue determinada considerando -por conveniencia debido al interés de estudio del INIA-, 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* “tuna”, con 3 repeticiones por cada biotipo en cada uno de los 3 niveles o bloques donde se cultivan, haciendo un total de 45 tunales. Los 5 biotipos pese a ser promisorios, carecían de estudios sobre los requerimientos térmicos durante el periodo reproductivo, constituyendo también un criterio para su selección.

### **3.3. Diseño metodológico**

#### **3.3.1. Material biológico**

El material biológico evaluado fue constituido por 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* “tuna”.

**PTI-003:** Verde limón fruto mediano sin espinas (variedad blanca)

**PTI-011:** Rojo naranja fino sin espinas (variedad naranja)

**PTI-015:** Verde limón fino fruto grande sin espinas (variedad blanca)

**PTI-047:** Morado verduzco grande sin espinas (variedad morada)

**PTI-067A:** Morado verduzco sin espinas/Susy Díaz sin espina (variedad morada)

#### **3.3.2. Diseño de campo experimental (cultivo en INIA)**

Las dimensiones y características del campo experimental fueron:

- Diseño estadístico : DBCA
- Numero de bloques : 3
- Número de plantas por biotipo : 9 plantas
- Distanciamiento entre plantas : 3,5 m
- Distanciamiento entre bloques : 3,5 m
- Sistema de plantación : Tresbolillo
- Área total del campo : 784 m<sup>2</sup>

BLOQUE I	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	PTI-119	PTI-003	PTI-052	PTI-167	PTI-011	PTI-067A	PTI-013	PTI-045	PTI-054	PTI-047	PTI-015
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

BLOQUE II	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	PTI-119	PTI-067A	PTI-167	PTI-045	PTI-013	PTI-011	PTI-054	PTI-047	PTI-015	PTI-003	PTI-052
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

BLOQUE III	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	PTI-119	PTI-167	PTI-054	PTI-047	PTI-045	PTI-003	PTI-015	PTI-052	PTI-013	PTI-067A	PTI-011
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

- 1 PTI-003 VERDE LIMON FRUTO MEDIANO SIN ESPINAS
- 2 PTI-011 ROJO NARANJA FINO SIN ESPINAS
- 3 PTI-013 VERDE LIMON CAYHUA ESPINOSO
- 4 PTI-015 VERDE LIMON FINO FRUTO GRANDE SIN ESPINAS
- 5 PTI-045 VERDE LIMON FRUTO GRANDE SIN ESPINAS
- 6 PTI-047 MORADO VERDUZCO GRANDE SIN ESPINAS
- 7 PTI-052 ROJO NARANJA SIN ESPINAS
- 8 PTI-054 ROJO NARANJA CON ESPINAS
- 9 PTI-067A MORADO VERDUZCO SIN ESPINAS (SUSY DIAZ SIN ESPINA)
- 10 PTI-167 MORADO VERDUZCO CON ESPINAS (SUSY DIAZ CON ESPINAS)
- 11 PTI-119 VERDE LIMON FRUTO MEDIANO SIN ESPINAS

PTI: Perú Tuna INIA

**Figura 2.** Croquis experimental de 11 biotipos promisorios de *Opuntia sp.*, INIA - Canaán, Ayacucho 2018.

### **3.3.3. Observaciones de la fenología reproductiva**

#### **a. Identificación de los biotipos en estudio**

La ejecución de la investigación se realizó de noviembre 2019 a mayo 2020, en los tunales de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* “tuna” de dos años de edad, para ello, se realizó la ubicación de los mismos con sus respectivas repeticiones, luego se procedió a marcar con esmalte en la cara más visible del cladodio, para su rápida ubicación al momento de evaluar.

#### **b. Identificación de los brotes florales**

Se seleccionaron y se marcaron 5 brotes florales por cada repetición, siendo un total de 45 brotes por cada biotipo, tomando en cuenta su tamaño de 2 a 5 mm de diámetro y su forma esférica con la finalidad de evitar las confusiones con las yemas vegetativas ya que en la campaña noviembre 2019 a mayo 2020 aparecieron brotes de ambos tipos en proporciones casi similares en algunos ejemplares en estudio.

#### **c. Frecuencia y hora en que se realizaron las observaciones fenológicas**

Las observaciones se efectuaron de manera interdiaria en la etapa de brotamiento de las yemas florales, mientras que en la etapa de floración, que tiene una duración muy corta se llevaron a cabo todos los días, desde la semana que antecede a la fecha en que se espera la mencionada atapa y luego a partir del amarre del fruto se continuó con las observaciones interdiarias durante la etapa de maduración.

La hora de observación fue aproximadamente a las 07:00 am, hora en la que se registran los datos climáticos en la estación meteorológica – INIA, Canaán Ayacucho, a cargo del personal de la Oficina de Operaciones y Mantenimiento (OPEMAN) del Gobierno Regional de Ayacucho (GORE Ayacucho), con la finalidad de que los datos fenológicos a registrar siempre correspondan a la misma hora de la observación. La metodología empleada fue propuesta en el “Manual de observaciones fenológicas” (Yzarra y López 2011).

#### **d. Registro de las fechas**

Se registraron las fechas en las que ocurrieron las siguientes transformaciones visibles durante la fenología reproductiva de *Opuntia ficus indica* “tuna”:

- Aparición de las yemas reproductivas o florales (cuando tenían aproximadamente 2 a 5 mm de diámetro).
- Antesis (cuando ocurrieron la apertura floral).
- Madurez del fruto (cuando tenían el 80 % de coloración en el pericarpio)

Se registraron también la duración en días, las etapas fenológicas de brotación de las yemas florales a antesis (B-A) y antesis a maduración (A-M), así como el periodo reproductivo completo brotación a madurez del fruto (B-M). Este criterio se basó en la metodología propuesta por (Hernández, 2009 y Martínez *et al.*, 2017).

#### **3.3.4. Obtención de datos meteorológicos**

Los datos climáticos como temperatura (máxima y mínima) diaria, precipitación, humedad relativa fueron obtenidos mediante un documento, de la Oficina de Operaciones y Mantenimiento (OPEMAN) perteneciente al Gobierno Regional de Ayacucho (GORE Ayacucho). Institución encargada de registrar los datos climáticos diarios de la estación meteorológica - INIA mediante un convenio con el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Canaán Ayacucho.

#### **3.3.5. Cálculo de constante térmica en grados - día desarrollo (GDD)**

Para realizar el cálculo de GDD que el fruto necesita acumular para completar cada fase y periodo completo de la fenología, se utilizó el Método Residual aplicado por Martínez-Ruiz, 2017, basado en la siguiente ecuación:

$$\Sigma GDD = \left( \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) - T_{base}$$

Dónde:

T<sub>max</sub> = temperatura máxima diaria

T<sub>min</sub> = temperatura mínima diaria

T<sub>base</sub> = temperatura base o cero vital para la tuna (0°C)

(0°C) se utilizó, por ser el valor empleado por (Hernández, 2009) en su investigación, y considera que a esta temperatura se detiene el crecimiento vegetativo del nopal pero ocurre la inducción floral y diferenciación de las yemas florales.

#### **3.3.6. Evaluación de calidad de los frutos**

##### **a. Cosecha**

Una vez maduros los frutos al 80 % de pigmentación de pericarpio (recomendado por Hernández, 2009) se tomaron 5 frutos por planta, los mismos que han sido evaluados desde el brotamiento, luego fueron marcados para su respectiva evaluación en el laboratorio del Área de Recursos Genéticos de la Institución Nacional de Investigación Agraria (INIA) Canaán Ayacucho.

##### **b. Transporte**

Una vez obtenida las muestras (frutos), fueron colocadas y condicionadas en baldes de 18 litros y posteriormente fueron transportadas a temperatura

ambiente al laboratorio de Recursos Genéticos del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) Canaán Ayacucho.

### **c. Procesamiento de muestras de calidad**

En el laboratorio, sobre una mesa se procedió a ordenar los frutos según los biotipos. Los indicadores de calidad evaluados fueron: peso del fruto, tamaño de fruto (longitud y diámetro) y contenido de azúcar. Siguiendo la metodología empleada por (Cisneros, 2019).

- **Peso del fruto**

Para determinar el peso de los frutos se dispuso sobre una balanza electrónica digital de 250 g marca RADWAG modelo WTB.

- **Longitud y diámetro de los frutos**

Para la medición de la longitud y diámetro de los frutos se empleó una regla vernier caliper digital metálico de rango de medición: 0 – 150 mm de resolución 0,1 mm tamaño de la pantalla, con una pantalla de tamaño LCD: 40 x 15 mm.

- **Contenido de azúcar o los grados brix (°brix)**

Para la determinación del contenido de azúcar de los frutos, se trituró la pulpa de una fruta en un vaso precipitado con una ayuda de varilla hasta que la mezcla esté homogénea, posteriormente se tomó una gota de la mezcla y se virtió al equipo refractómetro digital HI 96814 de marca Hanan Instrument, para su lectura automática.

Los datos de calidad de frutos obtenidos fueron comparados con el descriptor morfológico de *Opuntia sp* de Tineo (2003). (Anexo 2)

### **3.4. Tipo de investigación**

La investigación realizada fue de tipo básico - descriptivo; básico porque la investigación provee nuevos conocimientos sobre la fenología reproductiva de *Opuntia ficus indica* y descriptivo porque no se realizó la manipulación de variables.

### **3.5. Diseño de investigación**

La investigación se desarrolló bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con tres repeticiones en cada factor bloque. (Figura 2).

### **3.6. Análisis estadístico**

Con los resultados obtenidos se creó una base de datos, posteriormente se empleó la prueba de ANOVA a un 95 % de confianza y para la comparación de medias se empleó la prueba Tukey, mientras que para evaluar la relación se utilizó el análisis de correlación mediante el programa InfoStat versión 2020.

## **IV. RESULTADOS**

**Tabla 1.** Valores promedio de constante térmica acumulada en las etapas de la fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>BIOTIPO/ETAPA</b>	<b>Brotación – Antesis (GDD)</b>	<b>Antesis – Maduración (GDD)</b>	<b>Brotación – Madurez (GDD)</b>
<b>PTI-003</b>	866,99	1848,43	2715,43
<b>PTI-015</b>	883,94	1919,95	2803,89
<b>PTI-011</b>	892,83	1823,17	2716,00
<b>PTI-047</b>	895,71	1862,23	2757,95
<b>PTI-067A</b>	908,70	1854,83	2763,53
<b>promedio</b>	889,63	1861,72	2751,31
<b>DMS</b>	58,71	88,66	126,28
<b>CV</b>	4,83	3,48	3,36

PTI: Perú tuna INIA, DMS: Diferencia mínima significativa, CV: Coeficiente de variación

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.** Prueba Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la variable constante térmica acumulada en cada etapa de la fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>BIOTIPO/ETAPA</b>	<b>Brotación – Antesis</b>	<b>Antesis – Maduración</b>	<b>Brotación – Maduración</b>
PTI-003	A	AB	A
PTI-015	A	<b>B</b>	A
PTI-011	A	<b>A</b>	A
PTI-047	A	AB	A
PTI-067A	A	AB	A

Medias con una letra común dentro de la columna no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

PTI: Perú tuna INIA, DMS: diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.** Duración en días, en cada etapa de la fenológica reproductiva de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>BIOTIPO/ETAPA</b>	<b>Brotación – Antesis, (Días)</b>	<b>Antesis – Madurez, (Días)</b>	<b>Brotación – Maduración, (Días)</b>
<b>PTI-015</b>	<b>48</b>	<b>114</b>	162
<b>PTI-003</b>	49	110	159
<b>PTI-011</b>	50	<b>109</b>	<b>158</b>
<b>PTI-047</b>	50	112	162
<b>PTI-067A</b>	<b>51</b>	111	162
<b>promedio</b>	49	111	161

PTI: Perú tuna INIA

Fuente: Elaboración propia

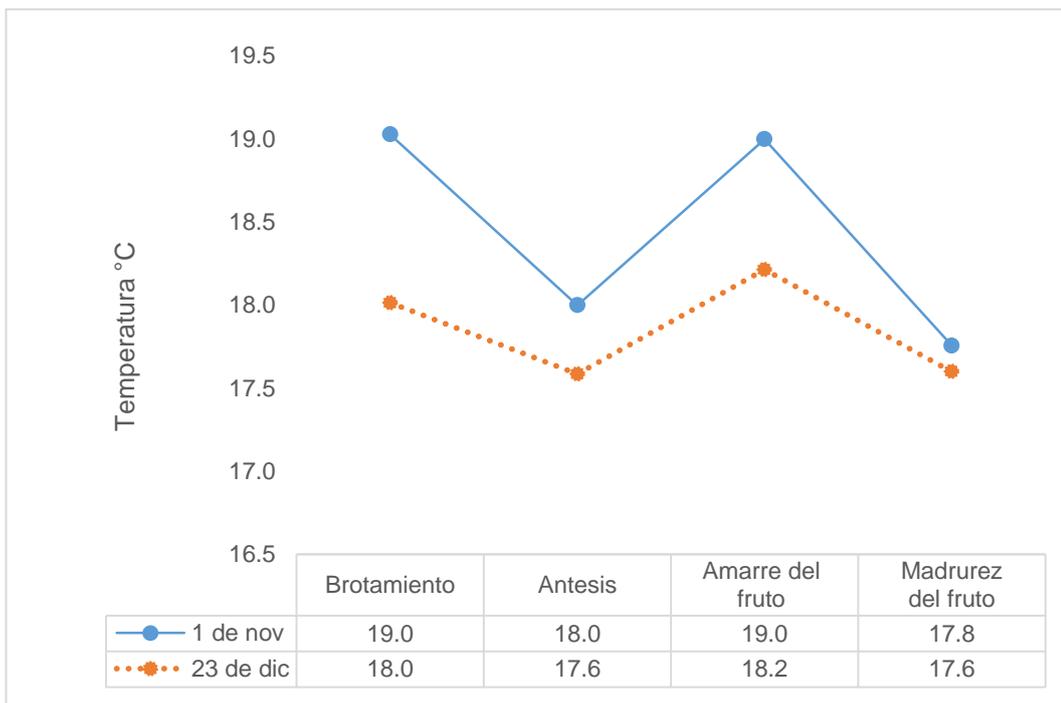
**Tabla 4.** Días y constante térmica (GDD), de emergencia de los brotes florales (B) a antesis (A) y a madurez del fruto (M), según las fechas de brotamiento de las yemas de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>Fechas del brotamiento de yemas</b>	<b>Días, B-A</b>	<b>GDD, B-A</b>	<b>Días, A-M</b>	<b>GDD, A-M</b>	<b>Días, B-M</b>	<b>GDD, B-M</b>
<b>1-Nov</b>	48 B	880,6 A	107 B	1878 A	155 B	2758,90 A
<b>23-Dic</b>	51 A	890,09 A	111 A	1870,9 A	162 A	2759,98 A
<b>DMS</b>	2.243	50,013	3,166	52,413	3,917	76,647
<b>CV</b>	5,59	6,98	3,6	3,45	3,05	3,43

Medias con una letra común dentro de la columna no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0,05$ )

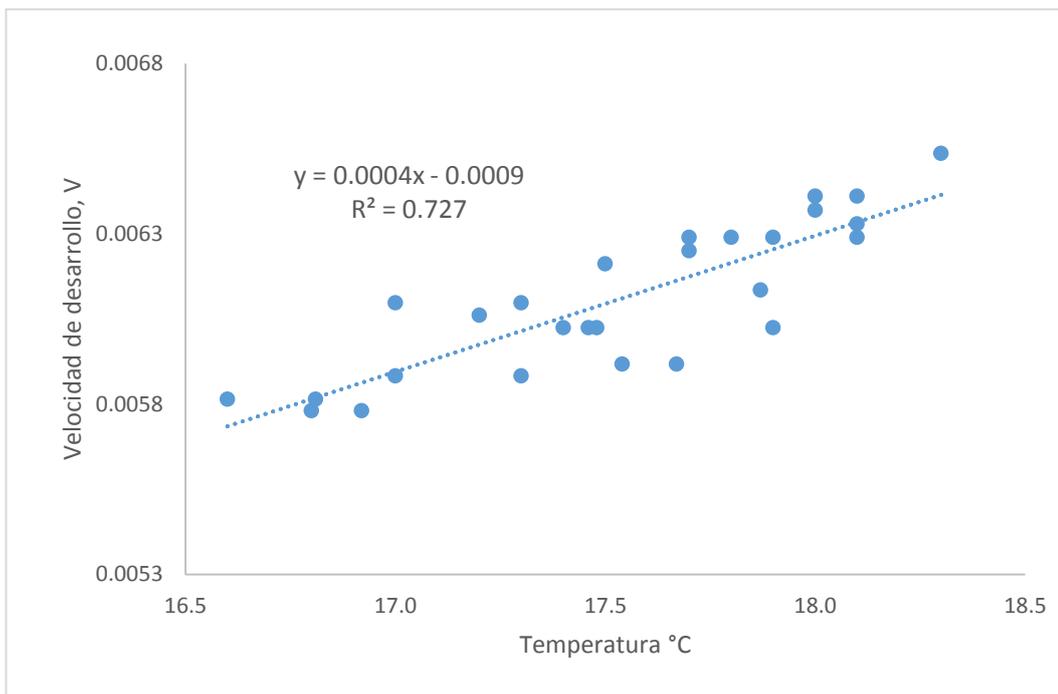
PTI: Perú tuna INIA, DMS: Diferencia mínima significativa, CV: Coeficiente de variación

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.** Temperatura media en la ocurrencia de fases de la fenología reproductiva, según fechas de brotamiento de las yemas florales de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 - mayo 2020.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.** Relación entre la temperatura media y velocidad de desarrollo de la fenología reproductiva de los 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho noviembre 2019 - mayo 2020.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.** Calidad del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>BIOTIPO / CALIDAD</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Contenido de azúcar (°Brix)</b>
<b>PTI-067A</b>	157,79 A	80,57 A	59,29 A	14,34 A
<b>PTI-003</b>	158,98 A	80,98 A	58,61 A	15,26 A
<b>PTI-015</b>	158,99 A	81,92 AB	58,15 A	14,68 A
<b>PTI-011</b>	167,72 AB	82,68 AB	59,32 A	14,89 A
<b>PTI-047</b>	180,34 B	86,22 B	63,32 A	14,98 A
<b>promedio</b>	164,76	82,47	59,74	14,83
<b>DMS</b>	19,19	4,82	5,40	0,94
<b>CV</b>	8,52	4,29	6,62	4,63
<b>Categoría según el descriptor morfológico</b>	Grande	Mediano	Mediano	Aceptable

Medias con una letra común dentro de la columna no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0,05$ )

PTI: Perú tuna INIA, DMS: diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

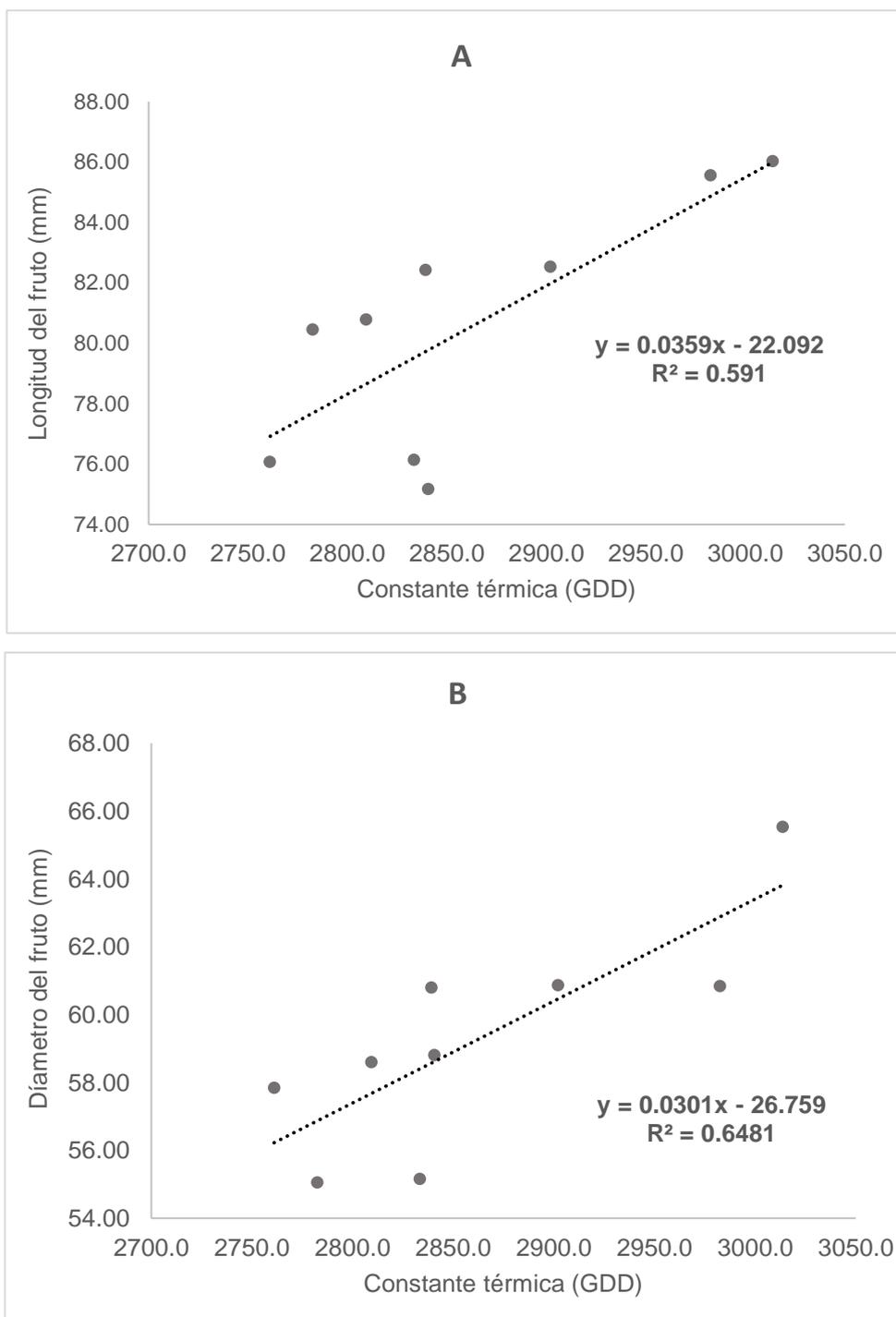
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6.** Coeficiente de correlación y significancia del análisis de relación entre la constante térmica y calidad del fruto en 5 biotipo de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>Biotipo / Calidad</b>	<b>Peso (g)</b>		<b>Longitud (mm)</b>		<b>Diámetro (mm)</b>		<b>Contenido de azúcar (°Brix)</b>	
	Coef. correlación	<i>P</i> - valor	Coef. correlación	<i>P</i> - valor	Coef. correlación	<i>P</i> - valor	Coef. correlación	<i>P</i> - valor
<b>PTI-003</b>	0,48	0,19	0,26	0,50	0,19	0,62	0,21	0,59
<b>PTI-011</b>	0,50	0,17	0,43	0,24	0,04	0,92	0,29	0,44
<b>PTI-015</b>	0,49	0,18	0,40	0,28	0,65	0,06	0,04	0,92
<b>PTI-047</b>	0,35	0,36	0,41	0,27	0,19	0,62	0,25	0,52
<b>PTI-067A</b>	0,66	0,05	0,77	0,02	0,81	0,01	0,63	0,07

PTI: Perú Tuna INIA

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5.** Relación entre la constante térmica acumulada en el periodo completo de la fenología reproductiva y longitud (A), diámetro (B) del fruto del biotipo PTI-067A - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

Fuente: Elaboración propia

## V. DISCUSIÓN

### **Inicio de brotamiento de las yemas florales**

La investigación realizada demostró que la emergencia de las yemas florales de algunos de los 5 biotipos de *Opuntia ficus indica* evaluados, iniciaron a partir de los primeros días del mes de agosto de 2019 a una temperatura máxima entre 24,8 a 25,8 °C y temperatura mínima entre 6,4 a 9,2 °C, sin embargo, después de una semana del brotamiento aproximadamente, la variación de las temperaturas extremas se registraron 25,8 y 3,8 °C; tal evento causó la muerte de los brotes florales y brotes vegetativos tiernos. Posteriormente, a partir de la última semana de agosto iniciaron a emerger numerosos nuevos brotes florales, esta vez en la mayoría de las unidades de evaluación cuando la temperatura mínima superó los 6,0 °C, con una precipitación nula y humedad relativa del aire promedio de 69 %, considerándose en este trabajo de investigación como la primera campaña, tal como se observa en el anexo 1. Nerd y Mizrahi (1995a) confirman nuestros resultados afirmando que los cladodios sometidos a temperaturas invernales en los meses más fríos con temperaturas promedio de 12,5 °C producen mayor porcentaje de yemas florales (>90 %), coincidiendo con Gudino y De La Barreda (2014) quienes afirman que el desarrollo reproductivo frecuentemente requiere de la acumulación de cierta cantidad de estas unidades de frío. Sin embargo, Valdez *et al.*, (2001) indica que las variedades de *Opuntia spp* difieren en su tolerancia a las heladas, pero afirma que los materiales sin espinas que generalmente se identifican *Opuntia ficus indica* están entre los más sensibles a las heladas respecto a las demás opuntias.

El desarrollo de la fenología reproductiva fue asincrónico, puesto que, además de las yemas florales que emergieron en el mes de agosto mostraron una nueva fase de brotamiento en los meses de noviembre, diciembre 2019 y enero 2020 cuando ya brotes del mes de agosto se encontraban en las fases de antesis y

otros en plena etapa de maduración del fruto, coincidiendo con lo reportado por Ramírez (2013), por ende, para responder a los objetivos señalados en la siguiente investigación se identificaron y se marcaron los primeros brotes florales del mes noviembre, y se consideró como la segunda campaña de producción (anexo 1). Esta vez se registraron temperatura máxima y mínima entre 28,2 y 8,8 °C respectivamente, con 18,5 °C de promedio con una precipitación de 42,5 mm y 70,5 % de humedad relativa.

### **Constante térmica en la etapa brotamiento de las yemas florales a antesis**

Para determinar la constante térmica de cada etapa y periodo completo de la fenología reproductiva en grados-días-desarrollo (GDD), se realizó mediante el método residual utilizando 0 °C como temperatura base en todas la etapas de desarrollo del fruto; tal como lo hizo Hernández (2009) en México. Sin embargo, para otros investigadores, la temperatura base varía dependiendo de la etapa de desarrollo del cultivo (Pilau *et al.*, 2011 y Parra *et al.*, 2015).

Partiendo de que cada fase de desarrollo de un cultivo requiere un mínimo de acumulación de temperatura para llegar a su término y que la planta pueda pasar a la fase siguiente (Soto *et al.*, 2009), La tabla 1 presenta los requerimientos térmicos en cada etapa de fenología reproductiva de tuna según los biotipos. Se obtuvo un promedio de 889,63 GDD de calor acumulado desde la emergencia de los brotes florales hasta llegar a la antesis. Para el biotipo PTI-003 se obtuvo un total de 866,99 GDD (tabla 1 columna 2), lo cual es un valor menor con respecto a los demás biotipos en esta etapa, mientras que para PTI-067A se obtuvo 908,70 GDD, es decir, 40,71 GDD más respecto al PTI-003. La cantidad de calor acumulado obtenidos fueron 883,94 GDD, 892,83 GDD y 895,71 GDD para los biotipos PTI-015, PTI-011 y PTI-047 respectivamente.

En la prueba estadística análisis de varianza (ANVA), los valores de la variable constante térmica acumulada desde la emergencia de los brotes florales hasta la antesis resultaron ser no significativas ( $p$ -valor $>0,05$ ) entre los biotipos, considerando que los valores mayores a  $\alpha=0,05$  presentan diferencias no significativas, tal como muestra en la tabla 2 columna 2. Nuestros resultados no coinciden con lo reportado por Hernández (2009) en su investigación realizada en México, que determinó 1132 GDD para esta etapa en tunales de *Opuntia ficus indica* en variedad cv. CP-Azteca de frutos rojos, la diferencia en un 21,4 % de unidades de calor se puede asumir como consecuencia de las características genéticas de las variedades y su interacción con los factores climáticos.

### **Constante térmica en la etapa antesis a madurez del fruto**

En la tabla 1 columna 3 se observa la constante térmica promedio acumulada en la etapa antesis a madurez del fruto (fruto maduro) fue 1861,72 GDD. En cambio en esta etapa el biotipo PTI-011 se mostró ser el que necesita menor constante térmica 1823,17 GDD y el biotipo que acumuló la máxima constante térmica fue PTI-015 que acumuló 1919,95 GDD lo que significa que tardó unos días más en acumular 96,78 GDD respecto al PTI-011, los biotipos PTI-003, PTI-047 y PTI-067A acumularon 1848,43; 1862,23 y 1854,83 GDD respectivamente.

El ANVA muestra significancia en la constante térmica acumulada entre los biotipos ( $p$ -valor $<0,05$ ) tal como se muestra en la tabla 2 columna 3. Los biotipos PTI-003, PTI-011, PTI-047 y PTI-067A al igual que PTI-003, PTI-015, PTI-047, PTI-067A no se diferencian en la cantidad de calor acumulado. La prueba de Tukey confirma que el biotipo PTI-011 acumuló menor GDD y el biotipo PTI-015 acumuló mayor GDD respecto a los demás biotipos. Hernández (2009) Señala que la variedad cv. CP-Azteca de frutos rojos requiere acumular 1489 GDD, el cual es un valor inferior en un 25 % de unidades de calor respecto al valor promedio de nuestro resultado.

### **Constante térmica en el periodo completo (brotamiento de las yemas a madurez del fruto)**

Finalmente, en la tabla 1 columna 4 se observa que la constante térmica promedio acumulada en el periodo completo del desarrollo de la fenología reproductiva de la *Opuntia ficus indica*, (emergencia de los brotes florales a madurez del fruto) fue 2751,31 GDD. En la primera etapa (Brotamiento a antesis) el PTI-003 acumuló unidades de calor mínimo, no obstante, en la etapa siguiente (antesis a madurez del fruto) no ocurrió lo mismo, pero, en el periodo completo mostró ser relativamente precoz acumulando así un total de 2715,43 GDD.

Un suceso similar ocurre con el biotipo PTI-015 que acumuló relativamente menor constante térmica, durante en la primera etapa, mientras en la segunda etapa fue mayor con respecto a los demás biotipos, en consecuencia en el periodo completo resultó ser el más tardío con un valor de 2803,89 GDD. Los biotipos PTI-011, PTI-047 y PTI-067A durante en el periodo completo acumularon 2716,00; 2757,95 y 2763,53 GDD respectivamente.

Al realizar el análisis de varianza (ANVA) a 95 % de confianza para la variable constante térmica acumulada en el periodo completo de desarrollo, resultaron ser estadísticamente no significativas ( $P$ -valor $>0,05$ ). En cambio Hernández

(2009) señala que la variedad cv. CP-Azteca de frutos rojos requieren acumular un promedio de 2621 GDD.

En consecuencia los GDD obtenidos en nuestra investigación difiere en un 8 % con respecto al valor reportado del autor mexicano. Una de las razones es que las características genéticas de las variedades (Gallegos y Mondragón 2011) y factores ambientales en conjunto influyen en el desarrollo de la fenología y procesos metabólico (Deaquiz 2014). Tal es así, las temperaturas muy altas afectan el intercambio de CO<sub>2</sub>, como resultado se reduce el avance de la maduración del fruto, aun con riego (Inglese *et al.*, 2018). Un cultivo al no satisfacer los requerimientos hídricos durante el desarrollo acorta la fase (Ferrer *et al.*, 2016).

#### **Duración en días, de las etapas de desarrollo de la fenología reproductiva**

En la tabla 3 se muestra los promedios de duración en días, en cada etapa y periodo completo en el desarrollo de la fenología de los 5 biotipos de *Opuntia ficus indica*, fueron necesarios 49 días de emergencia de los brotes florales hasta llegar a la antesis, 111 días de antesis a madurez del fruto y 161 días para el periodo completo. Ramírez (2013) señala que las variedades de *Opuntia ficus indica* requiere como promedio 57 días a partir de la emergencia de la yemas florales a antesis, 119 días de antesis a madurez fisiológica del fruto y 177 días para el periodo completo, menciona también los requerimientos en días calendario difiere según la variedad.

#### **Días y constante térmica según las fechas de brotamiento de yemas florales**

Partiendo de: la determinación del desarrollo en términos de tiempo térmico o grados día (GD) es más precisa que en días calendario (Parra *et al.*, 2014). La duración (en días) del cultivo puede diferir bajo condiciones climáticas, la temperatura es el factor principal que puede acelerar o retardar el desarrollo, sin embargo, los requerimientos térmicos son constantes (Maqueira *et al.*, 2016). La tabla 4 muestra la duración requerida para que los brotes florales de *Opuntia ficus indica* llegaran a antesis y a madurez del fruto fue variable entre fechas de aparición, la duración de cada etapa y periodo completo se alargó conforme los brotes aparecieron más tardío, y los días fueron más variables: los días a antesis y a madurez del fruto. En cambio, la constante térmica fue casi homogéneo. Al realizar la comparación entre fechas de aparición de los brotes florales, las más tempranas (1 de noviembre 2019) con tardía (23 de diciembre 2019), se detectó

los brotes que emergieron temprano necesitaron un promedio de 48 días para llegar a antesis, 107 días de antesis a madurez del fruto y 155 días para el periodo completo, mientras que los brotes que emergieron tarde necesitaron promedio de 51 días para llegar a antesis, 111 días de antesis y madurez del fruto y 162 días para el periodo completo.

El análisis de varianza (ANVA) demuestra la variación significativa estadísticamente ( $p$ -valor $<0,05$ ) entre los brotes que aparecieron temprano y tardío, y la prueba Tukey confirma que los brotes que emergieron tardío requirieron mayor número de días.

En contraste, al realizar la comparación entre fechas (tempranas y tardías) la constante térmica acumulada fue menos heterogéneo, de igual modo entre etapas. Los brotes que emergieron en 1 de noviembre necesitaron acumular 880,60 GDD de brotamiento hasta llegar a antesis, 1878 GDD de antesis a madurez del fruto y 2758,90 GDD en el periodo completo, y los brotes que emergieron el 23 de diciembre necesitaron acumular 890,09 GDD desde el brotamiento hasta llegar a antesis, 1870,90 GDD de antesis a madurez del fruto y 2759,98 GDD en el periodo completo.

El ANVA muestra, que el calor acumulado entre los brotes que aparecieron temprano y tardío, resultaron ser no significativas estadísticamente ( $P$ -valor $>0,05$ ) tanto en la etapa de brotamiento a antesis, antesis a madurez del fruto y en el periodo completo, consecuentemente podemos demostrar que los GDD acumulado fue constante. Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Roque (2019), cuando confirma la variación significativa en la duración en días, y cuando confirma que los requerimientos térmicos resultaron constantes en el cultivo de *Amaranthus caudatus* L. "kiwicha". Coincide también con los resultados de Martínez *et al.*, (2017) y Plana *et al.*, (2003) cuando reportan que la constante térmica resultante no variaron en las etapas ni en los ciclos 2013 y 2014 en la investigación realizada en los cultivos *Hylocereus undatus* "pitahaya" y "trigo".

Por su parte Hernández (2009) contradice a lo mencionado líneas arriba, al señalar que los brotes que aparecieron tarde se desarrollaron y maduraron en menor tiempo respecto a los brotes que aparecieron temprano. Sin embargo, no muestra el comportamiento de la temperatura del aire durante el periodo en el cual desarrolló el trabajo de investigación.

Castillo y Santibáñez (1987), menciona que la duración del desarrollo de la fenología de trigo se reduce a la mitad en el periodo más cálido del año, por

ende, la temperatura del aire ejerce un fuerte efecto regulador sobre la velocidad del desarrollo. Esta mención se evidencia en la figura 3, donde presenta las temperaturas promedio del aire en la ocurrencia de cada fase de la fenología reproductiva de tuna en las dos fechas de emergencia de brotes florales, se observa que las temperaturas para los brotes que emergieron el 23 de diciembre siempre fueron inferiores a los brotes que emergieron el 1 de noviembre, debido a que las temperaturas medias del ambiente en los últimos meses de madurez de fruto fueron decreciendo (anexo 4), a menor temperatura se alargó la duración en días, por lo tanto, se modificaron la duración del desarrollo y las ocurrencias de los estadios. Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Soto *et al.*, (2009) cuando demuestra similar comportamiento en el cultivo de trigo. Investigaciones ratifican que las temperaturas medias mínimas por debajo del umbral mínimo provocan el alargamiento del ciclo biológico de los cultivos (Lara, 2015). En consecuencia se puede concluir la existencia de una relación directa entre las dos variables de desarrollo, a mayor temperatura dentro del rango óptimo, la velocidad de desarrollo reproductiva de tuna es acelerada, tal como se muestra en la figura 4.

#### **Calidad del fruto y su relación con CT**

La tabla 5 muestra los parámetros de calidad: peso, longitud, diámetro y contenido de azúcar de los frutos de los 5 biotipos en estudio.

El descriptor morfológico señala 5 categorías para el peso del fruto: muy pequeño (<80 g), pequeño (81-120 g), mediano (121-150 g), grande (151- 200 g), muy grande (> 201 g). Los frutos de los 5 biotipos en estudio fueron de tamaño grande con peso promedio de 164,76 g. Entre los ejemplares en estudio el PTI-011 y PTI-047 presentaron frutos ligeramente más pesados respecto a los demás con 167,72 y 180,34 g respectivamente.

El análisis de varianza (ANVA), efectivamente muestra diferencias significativas estadísticamente (P-valor<0,05) en el peso del fruto entre los biotipos y la prueba Tukey confirma que los biotipos PTI-047, PTI-011 tuvieron frutos ligeramente más pesados respecto a los demás biotipos.

Tomando en cuenta el estudio realizado por Hernández (2009) los resultados coinciden para el biotipo PTI-003 perteneciente a la variedad blanca. Los biotipos PTI-067A, PTI-003, PTI-015 presentaron 157,79; 158,98; 158,99 g respectivamente. Según el descriptor, los 5 biotipos se posicionan dentro de la categoría grande.

Cisneros (2019), no concuerda con nuestros resultados al señalar que los biotipos PTI-003, PTI-011, PTI-015 y PTI-047 tuvieron frutos con peso dentro de la categoría mediano, el biotipo PTI-067A con peso dentro de la categoría pequeño, en su investigación de calidad y rendimiento de *Opuntia sp* en el Banco Nacional de Germoplasma INIA- Canaán. El peso del fruto es afectado por el orden de producción de las yemas florales y el número de frutos en el cladodio, así, las yemas florales que emergen más temprano se transforman en los frutos más pesados y los frutos más pesados son obtenidos de cladodios que presentan únicamente seis frutos (Inglese *et al.*, 2018). La carga frutal en la tuna (*Opuntia ficus indica*) afecta el rendimiento, sin embargo, favorece la calidad de los frutos en peso fresco, tamaño, relación pulpa/cáscara y firmeza (Celi y Alcívar, 2018).

El descriptor morfológico señala 5 categorías para longitud del fruto: muy pequeño (< 40 mm), pequeño (41- 60 mm), mediano (61 - 100 mm), grande (101 - 140 mm), muy grande (>14 mm).

Los resultados obtenidos para este indicador, los 5 biotipos en estudio se encuentran dentro de la categoría mediano según el descriptor morfológico de *Opuntia sp*, con 82,47 mm en promedio. Sin embargo, el PTI-047 muestra ligeramente mayor longitud con 86,22 mm, seguido por PTI-011, PTI-015, PTI-003, PTI-067A, con 82,68; 81,92; 80,98 y 80,57 mm respectivamente. Al realizar el análisis de varianza (ANVA), resultaron ser significativas (P-valor<0,05) y la prueba Tukey demuestra que el biotipo PTI-047 tuvo frutos con tamaño de longitud ligeramente mayor.

Estos resultados son congruentes con lo reportado por Cisneros (2019), quien señala que los 5 biotipos (plantas madre) que están establecidas en el Banco Nacional de Germoplasma de *Opuntia sp*. INIA producen frutos con longitud de tamaño mediano, entre 89 a 92mm promedio (mediano). Sin embargo, nuestros resultados fueron superiores a las tunas cosechadas en el altiplano andino de la segunda región de Chile, Cerezal y Duarte (2014), quienes reportan 70mm de longitud.

El descriptor morfológico señala 5 categorías para el diámetro del fruto: muy pequeño (< 20 mm), pequeño (21 – 52 mm), mediano (53 – 91 mm), grande (92 – 120 mm), muy grande (>121 mm).

Los resultados obtenidos para el indicador en mención, los 5 biotipos se encuentran dentro de la categoría mediano con 59,74 mm en promedio. El PTI-

047 presenta un diámetro ecuatorial ligeramente mayor con 63,32 mm. Seguido por PTI-011, PTI-067A, PTI-003 y PTI-015 con 59,32; 59,29; 58,61 y 58,15 mm respectivamente. Sin embargo al realizar la prueba de análisis de varianza (ANVA), resultaron ser no significativas ( $p$ -valor $>0,05$ ); y la prueba Tukey confirma el homogéneo tamaño de longitud entre los frutos de los 5 biotipos.

Dichos resultados mostrados concuerdan con lo designado por Cisneros (2019), puesto que, reporta tamaño de longitud dentro de la categoría mediano, valores entre 52 a 61 mm, de los 5 biotipos pero en plantas madre que están en el Banco Nacional de Germoplasma de *Opuntia sp.* Al igual que en la longitud del fruto, nuestros resultados fueron superiores a las tunas cosechadas en el altiplano andino de la segunda región de Chile, ya que fueron 40 mm de diámetro (Cerezal y Duarte 2014). Por su parte Celi y Alcívar (2018) mencionan que el tamaño del diámetro se ve afectado a medida que incrementan los frutos por cladodio.

El descriptor morfológico señala cinco categorías para el contenido de azúcar del fruto: muy agrio ( $<7,2$ ); agrio, (7,3 – 11,1), aceptable; (11,2 - 15,3); dulce (15,4 - 17,4) muy dulce ( $>17,5$ ).

En la misma tabla 5 se muestra los resultados obtenidos el indicador contenido de azúcar en el fruto, más conocido como sólidos solubles totales. En nuestra investigación se obtuvo como promedio general de 14,84 °Brix. El PTI-003 perteneciente a la variedad blanca mostró tener un valor relativamente mayor en el contenido de azúcares, superando así al resto de los biotipos con 15,26 °Brix, seguidamente por PTI-047, PTI-011, PTI-015, PTI-067A con 14,89; 14,98; 14,68 y 14,34 °Brix respectivamente y se posicionan dentro de la categoría aceptables según el descriptor morfológico de *Opuntia sp.* Al realizar el análisis de varianza (ANVA), resultaron ser no significativas ( $p$ -valor  $>0,05$ )

Resultados similares obtiene Cisneros (2019) en los frutos en el Banco Nacional de Germoplasma de *Opuntia sp.*, para los biotipos PTI-003, PTI-015 y PTI-067A, sin embargo, la cantidad de azúcar para los biotipos 047 y PTI-003 con valores 16,0 y 17,4 °Brix respectivamente, los cuales pertenecen a la categoría dulce. Por su parte Terán *et al.*, (2015) reporta un valor promedio de 8,33 °Brix.

La amplia variación del contenido de azúcar de los frutos de tuna puede deberse a las características genéticas de las variedades, de los requerimientos nutricionales además de los rasgos innatos como la edad, sanidad, etc. Al igual a factores medio ambientales como de incidencia de la radiación solar y la

temperatura. Respecto a ello Hernández (2009) demuestra que la estación fría reduce en 2,5 °Brix aproximadamente el contenido de azúcar respecto a los frutos que se producen las épocas cálidas. Al igual que Fischer y Pérez (2012), menciona que una reducción de la intensidad lumínica afecta el color y calidad de los frutos, la radiación solar óptima favorece el color al permitir una síntesis mayor de pigmentos rojos (antocianinas y licopeno); mejorando el índice refractométrico (°Brix), y aumentando el contenido de materia seca y, además, el de ácido ascórbico.

### **Relación entre la constante térmica y la calidad de los frutos**

La tabla 6 muestra los coeficientes de correlación y significancia del análisis de relación entre la constante térmica acumulada en el periodo completo de desarrollo y la calidad del fruto de los 5 biotipos de tuna. Para este análisis, los datos de calidad fueron obtenidos a partir de los frutos maduros, considerándose como único muestreo en fecha de cosecha.

Para determinar la relación, se realizó el análisis de regresión considerándose estadísticamente significativa para  $p\text{-valor} < 0,05$ ; y se observa que el  $p\text{-valor}$  en el indicador peso, longitud, diámetro y contenido de azúcar del fruto de los 5 biotipos de tuna supera a 0,05; a excepción de PTI-067A en el indicador longitud y diámetro del fruto. Dichos valores superiores a 0,05 indican una relación no significativa estadísticamente, al realizar el análisis de correlación de Pearson, la variable constante térmica mostró una correlación media sobre la calidad de los frutos. Nuestros resultados es confirmado por Ramírez (2013) al señalar que la temperatura tiene una correlación muy baja incluso nula con el tamaño del fruto en algunas variedades de tuna, demostrando así los efectos indirectos que tiene la temperatura sobre los indicadores de calidad del fruto del *Opuntia ficus indica* "tuna".

En nuestra investigación se buscó la relación entre la constante térmica total y calidad, únicamente cuando los frutos han llegado a la madurez fisiológica. Por otro lado, Almaguer *et al.*, (2014) encontró una mayor relación entre la producción de *Opuntia ficus indica* (verdura) y la constante térmica a los 21 días después de la emergencia de los brotes vegetativos, luego de haber realizado múltiples muestreos en diversas fechas a lo largo del desarrollo, por lo tanto, puede ser posible encontrar una mayor relación en alguna etapa de desarrollo de los frutos de tuna. Sin embargo, se encuentra muy poca información sobre trabajos de investigación con respecto a la relación de la constante térmica y

calidad de los frutos del tunal, tanto a nivel internacional, nacional y regional. Núñez e Iglesias (1991) realizó un estudio de relaciones entre los principales indicadores de calidad de los frutos de naranja y variables meteorológicas, entre ellos toma en cuenta la temperatura, pero no considera la constante térmica. Después de haber realizado números nuestros en diversas fechas durante un periodo de 10 años evidenciaron que el diámetro de los frutos no correlacionaron significativamente con el variable temperatura, pero si existe relación en el peso y contenido de azúcar y señala que estas relaciones mostraron una dependencia de las fechas de muestreo.

En la figura 5 se aprecia que el caso del biotipo PTI-067A los resultados muestran que la constante térmica acumulada en el periodo completo del desarrollo reproductivo tiene una alta correlación con valores de 0,77 y 0,81 de coeficiente de correlación con los indicadores de calidad longitud (A), diámetro (B) del fruto maduro respectivamente, de tal manera que el mejor ajuste se presentó cuando se usó el análisis de regresión de tipo lineal cuadrático.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se ha determinado la relación entre la constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica*, demostrando que los diferentes biotipos tienen respuestas características y difieren en la acumulación de GDD, que estadísticamente no son significativos.
2. Los biotipos PTI-003 y PTI-011 resultaron ser relativamente precoces, puesto que, acumularon ligeramente menor constante térmica en el periodo completo, mientras que el biotipo PTI-015 resultó ser el más tardío. No obstante, estadísticamente no presentaron diferencias significativas. La temperatura y el desarrollo de la fenología reproductiva mostraron una relación directa, a mayor temperatura fue mayor la velocidad de desarrollo.
3. Existe una correlación media entre las variables constante térmica y calidad de los frutos (peso, longitud, diámetro y contenido de azúcar) de los 5 biotipos de *Opuntia ficus indica* "tuna"; a excepción del biotipo PTI-067A existe una relación alta en el indicador longitud (coeficiente de relación =0,77) y diámetro del fruto (coeficiente de relación=0,81).

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, incentivar la investigación en la fenología y requerimientos térmico en estos mismos biotipos, en el mismo lugar considerando las mismas fases pero, por los menos en 2 años o en varias campañas para poder comparar los resultados, pues, el comportamiento de los factores ambientales puede variar a través de los años como consecuencia del cambio climático.
2. A los egresados o estudiantes del último ciclo de las escuelas de Biología y Agronomía repetir el mismo estudio en dos localidades a diferentes pisos ecológicos, para evaluar el posible efecto en el desarrollo, calidad de los frutos y rendimiento de este factor altitud.
3. A la Dirección Regional Agraria, promover a los agricultores en la producción tuna con miras en la exportación, puesto que, además de la demanda creciente en el mercado, son cultivos con gran capacidad a la adaptabilidad al cambio climático.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Almaguer P., Rodríguez F., Barrientos L., Grisell S., y Vidales J. (2014). Relación entre grados-día y la producción de *Opuntia ficus-indica* para consumo humano en Marín, Nuevo León. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 5 (6). 1055-1065.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200709342014000600012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342014000600012&lng=es&tlng=es)
2. Ávalos I., Sánchez D. Y López C. (2013). Nomenclatura vernácula, uso y manejo de *Opuntia spp.* México. *Revista Chapingo*. 19(3), 367-380.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2013000300009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2013000300009)
3. Ayala T. (2014). Principales parámetros de tuna, proyecto de instalación de una planta de procesamiento de tuna en el distrito de Chincho provincia de Angaraes departamento de Huancavelica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú.
4. Castillo H y Santibáñez F. (1987). Efecto de la temperatura sobre la fenología del trigo (Cultivar Aurifén). Agricultura técnica. 47(1), 29-34.  
<https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/39483>
5. Castro J, Paredes C y Muñoz D. (2009). Cultivo de “tuna” *Opuntia ficus Indica*. Perú.  
[https://www.academia.edu/28770727/Gerencia\\_Regional\\_Agraria\\_La\\_Libertad](https://www.academia.edu/28770727/Gerencia_Regional_Agraria_La_Libertad)
6. Celi A. y Alcívar J. (2018). Manejo del tamaño de fruto y la calidad de la tuna (*Opuntia ficus-indica*, M) mediante regulación de carga frutal. La técnica. 20. 19-28.  
<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/latecnica/article/view/1152>
7. Cerezal P y Duarte G. (2014). Algunas características de tunas *Opuntia ficus indica* L. Mill. “tuna” cosechados en el altiplano andino de 2da. Región de Chile. Departamento de alimentos. Facultad de recursos del mar. Facultad de Antofagasta – Chile.
8. Cisneros D. (2019). Calidad y rendimiento del fruto de los biotipos de *Opuntia sp* “tuna” del Banco Nacional de Germoplasma INIA- Canaán. Ayacucho. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Perú.
9. Deaquiz Y. (2014). Los frutos y su fotosíntesis. Conexagro DJC. Universidad tecnológica y pedagógica de Colombia. 4(1). 39-47.  
<https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/view/227>
10. 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 grado]. Universidad de Chile. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151046/Caracterizaciode-semillas-de-diferentes-accesiones-detunas%28OpuntiaFicusIndica%20%28%29-mill%29-en-relaci%C3%B3n-a-su-ploidia-y%20apomixis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
11. Ferrer M., Roque R., Lamelas C. y González A. (2016). Relación entre el tiempo térmico acumulado durante el gran periodo de crecimiento con los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar. *CtroAgr*. 43(4), 73-78.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025357852016000400010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025357852016000400010)
12. Fischer G. y Pérez C. (2012). Efecto de la radiación solar en la calidad de los productos hortícolas. Memorias Congreso Internacional de Hortalizas en el Trópico: La Olericultura Colombiana, Nuevos Retos para Enfrentar los Tratados de Libre Comercio. Colombia.

13. Gallegos C y Mondragón C. (2011). Cultivares selectos de tuna de México al mundo. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
14. González A. (2001). El género *Opuntia* "tuna" en Jalisco, guía de campo, universidad de Guadalajara. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.  
<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2128/1/03%20eia%20315tesis%20pulpa%20de%20tuna.pdf>.
15. Gudino W. y De La Barrera E. (2014). Fenología reproductiva y tolerancia a temperaturas altas en *Stenocereus queretaroensis*. Polibotánica. 37, 63-78.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S140527682014000100004&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140527682014000100004&lng=es).
16. Guía de estudio 12. (2017). Manual de bioclimatología agrícola.  
[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/52764/mod\\_resource/content/2/12-1%20-%20Bioclimatologia%20agricola.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/52764/mod_resource/content/2/12-1%20-%20Bioclimatologia%20agricola.pdf)
17. Hernández C. (2009). Fenología, productividad y calidad del fruto con y sin semilla en *Opuntia ficus indica* [Tesis doctoral]. México.  
<https://1library.co/document/lq5w2vgq-fenologia-productividad-calidad-fruto-semilla-opuntia-ficus-indica.html>
18. Holdridge, L. (1982). "Life Zone Ecology". Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: "Ecología Basada en Zonas de Vida", 1ra. Ed. San José, Costa Rica: IICA)
19. Huanca J. (2017). Evaluar los parámetros durante el tratamiento térmico para obtención de mucílago de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) [tesis]. Puno: Universidad de Altiplano de Puno, Perú.  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10347/Huanca\\_Alca\\_Juan\\_Jos%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10347/Huanca_Alca_Juan_Jos%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
20. Invernón V., González M. López E. Arnelas I. Devesa J. (2012). Manual de laboratorio de Botánica. El fruto. Reduca (Biología). 5 (2), 1-14.  
<file:///C:/Users/User/Downloads/DEVESA-2012ReducaEIFRuto.pdf>
21. International organization for standarization (ISO) concepto de calidad del fruto de *Opuntia* sp "tuna". (2009). Calidad del fruto con y sin semillas en *Opuntia ficus indica*. Montecillo, Texcoco EDO-México.
22. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) (2008). El cultivo de tuna, aspectos de la producción, manejo de post cosecha y comercialización. Ministerio de Agricultura, Comisión Nacional de Fruticultura. Lima – Perú.
23. Inglese P, Mondragón C, Icarda A, y Sáenz C. 2018. Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. Segunda edición.  
<http://www.fao.org/3/i7628es/I7628ES.pdf>
24. Lara L. (2015). Efecto de la temperatura sobre la fenología y productividad de variedad de variedades de frijol común, factor esencial del cambio climático [tesis de maestría]. Universidad de Guadalajara. México  
<http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5920>
25. Martínez E., Tijerina L., Becerril A., Rebolledo A., Velasco C. y Del Ángel A. (2017). Fenología y constante térmica de la pitahaya (*Hylocereus undatus* haw. Britt. y Rose) 10(9). 3-8. Disponible en :  
<https://revistaagroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/182>
26. Martí A. (1994). Disponibilidades térmicas para los cultivos en el fondo de la depresión de Sarinera. 6, 171-190

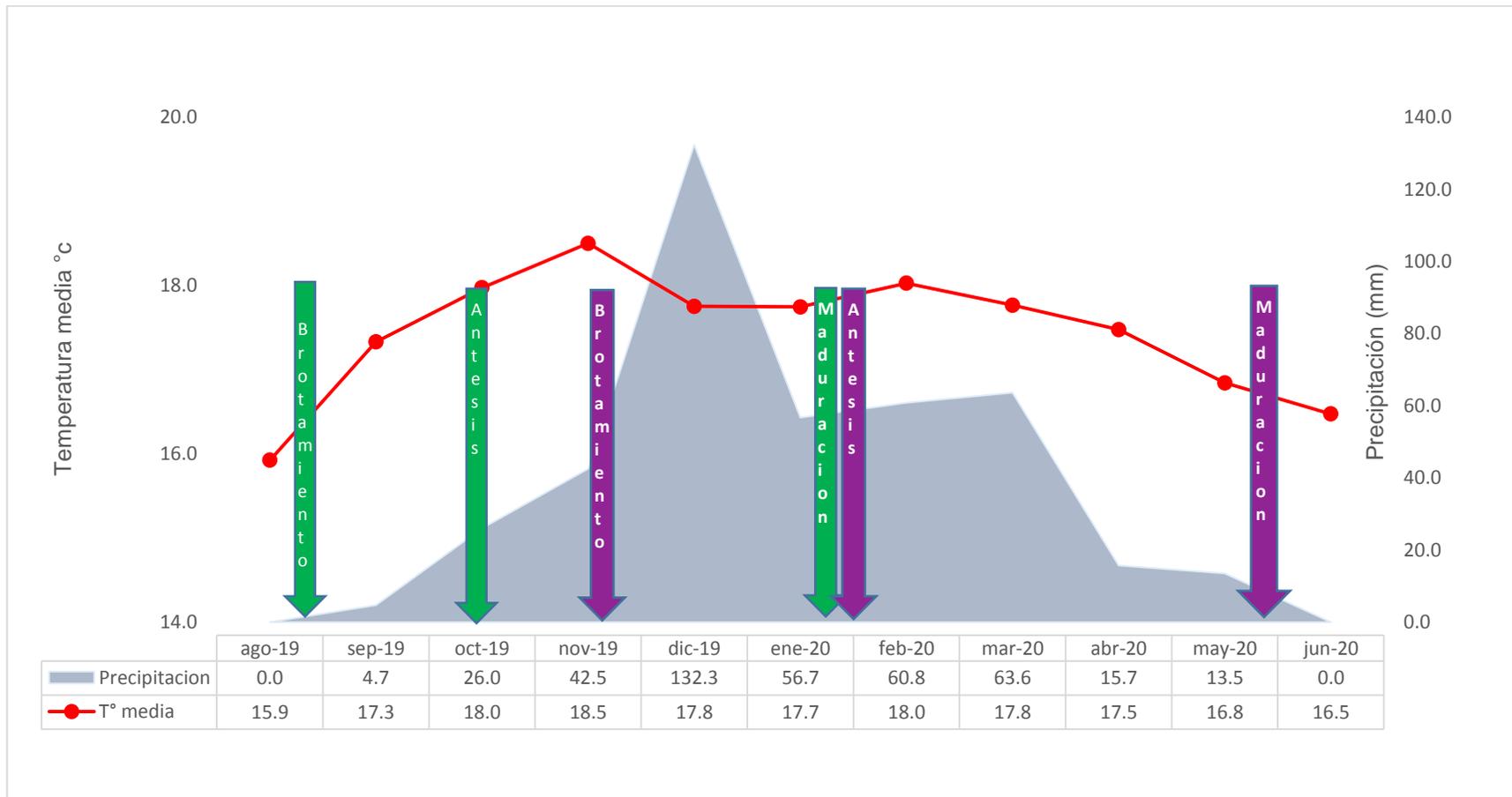
27. Maqueira L. Torres W. Pérez S. Díaz D. y Roján O. (2016). "Influencia de la temperatura ambiental y la fecha de siembra sobre la duración de las fases fenológicas en cuatro cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.)". *cultrop*. 37(1), 65-70.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025859362016000100009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362016000100009)
28. Mendoza V. (2013). Comparativo de accesiones de *Chenopodium quinoa* "quinua" en condiciones de costa central [tesis de grado]. Perú.  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1778>
29. Mendoza M. (2014). Caracterización bromatológica, microbiológica y sensorial del nectar de "tuna" *Opuntia ficus Indica* edulcorado con "stevia" *Stevia rebaudiana bertonii* [tesis de grado]. Perú.  
<https://1library.co/document/qmj3kj5q-caracterizacion-bromatologica-microbiologica-sensorial-nectar-opuntia-edulcorado-rebaudiana.html>
30. Mostacero B. (2018). Evaluación de la madurez y características fisicoquímicas y sensoriales en poscosecha de tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla almacenada en refrigeración [tesis de grado]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna. Perú.  
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3248>
31. Nerd. A y Mizrahi. 1995a. (1995). Efecto de la bajas temperaturas invernales sobre la rotura de *Opuntia ficus indica*. 9, 188-191.
32. Núñez M e Iglesias L. (1991). Relaciones entre los principales indicadores del crecimiento y calidad interna de los frutos de naranja valencia y algunas variables meteorológicas. *Cultivos tropicales*. 12 (3), 57-67.
33. Ochoa S., Pérez I. Y Bernardus H (2008). Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 657-673.  
[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442008000200020&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442008000200020&lng=en&tlng=es).
34. Parra A., Fischer G., Chaves B. Tiempo Térmico Para Estados Fenológicos Reproductivos de la Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). *Acta biol. Colombia*. 20(1), 163 -173.  
<https://doi.org/10.15446/abc.v20n1.43390>
35. Plana R. Álvarez M. Ramírez A. Moreno I. (2003). Triticale (*X Triticum secale Wittmack*), a new crop in Cuba. A varietal collection from cimmyt evaluated under the western conditions of the country. *Cultrop*. 30(3). 51-54.  
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193218174009.pdf>
36. Pérez De Valle E. (2006). El nopal verdura *Opuntia* spp. Su descripción, manejo, usos, comercialización e industrialización. Buenavista.
37. Pimienta E. (2000). El nopal tunero, primera edición. Universidad de Guadalajara libros de tiempos de ciencia. 1<sup>ra</sup>. ed. México.
38. Piga A. (2004). Cactus Pear: A fruit of Nutraceutical and Functional Importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* pag. 9-22.  
[file:///C:/Users/User/Downloads/Piga\\_A\\_Articulo\\_2004\\_Cactus.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Piga_A_Articulo_2004_Cactus.pdf)
39. Pilau F, Battisti R, somavila S y scwerz L. (2011). Temperatura basal, duración del ciclo y constante térmica para el cultivo de crambe. 70(4), 958 – 964.
40. Pulgar J. (1992.), 123 Frutales nativos. Publicación de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima – Perú

41. Ramírez J. (2013). Fenología y valor nutraceútico de diversas variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia* sp) [tesis de grado]. México.
42. Reyes J., Aguirre R. y Hernández M. (2005). Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) MILL. Cactaceae. México. 39 (4), 395-408.  
<https://www.redalyc.org/pdf/302/30239404.pdf>
43. Ríos J y Quintana V. (2014). Manejo general del nopal, institución de enseñanza e investigación en Ciencias Agrícolas México – Puebla – San Luis de Potosí – tabasco – Veracruz – Córdoba México.  
<http://latunaanali.blogspot.com/p/lacochinilla.html>  
<http://www.peruecologico.com.pe>
44. Roque O. (2019). Requerimientos térmicos de las fases fenológicas de dos variedades de amaranto (*Amaranthus caudatus* L): precoz y tardía en Ayacucho. J Selva Andina Bioshp. 7(1), 18-31.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S230838592019000100003&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S230838592019000100003&script=sci_abstract&tlng=pt)
45. Rosillo C. (2016). Estudio de los principios bioactivos y obtención de colorantes naturales de la cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller “tuna [tesis para obtener el título profesional]. Universidad Nacional de San Marcos. Perú.  
[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5031/Rosillo\\_zc.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5031/Rosillo_zc.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
46. Salomón-Montijo, Reyes A. y Sánchez B. (2016). Fenología reproductiva de *Stenocereus thurberi* (Cactaceae) en una región de transición del norte de Sinaloa. Mexico. 73 (2), 381-390.  
[file:///C:/Users/User/Downloads/Fenologia\\_reproductiva\\_de\\_Stenocereus\\_thurberi\\_Cac.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Fenologia_reproductiva_de_Stenocereus_thurberi_Cac.pdf)
47. Soto F. Hernandez N.”y” Plana R. (2009).”Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*) y triticale (X *Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento.” *Cultrop*. 30(3), 32-36.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S025859362009000300014&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S025859362009000300014&script=sci_arttext&tlng=pt)
48. Terán Y. Navas D. Petit D. Garrido E.y Aubeterre R. (2015). Análisis de las características físico-químicas del fruto de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, cosechados en Lara, Venezuela. Revista iberoamericana de tecnología postcosecha. 16(1). 69-74.  
<https://www.redalyc.org/pdf/813/81339864010.pdf>
49. Tineo J. (2003). Descriptor morfológico de *Opuntia* sp validada por en el Instituto Nacional de Investigación Agraria de la Estación Experimental. Canaán - Ayacucho.
50. Universidad Nacional de Entre Ríos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Cátedra de climatología agrícola. (2007).  
[http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/temperaturacomobiomente\\_reologicovegetales.pdf](http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/temperaturacomobiomente_reologicovegetales.pdf)
51. Valdez R, et al., (2001). Tolerancia al congelamiento de *Opuntia spp*. 2001. México.
52. Veracruz C, Comité Estatal de Sanidad vegetal de centro de acopio.  
<http://ecosiembra.blogspot.com/2011/09/manejo-de-plagas-gusano-de-tierra>  
<https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/gusano>

53. Yapes A, y Silveira B. (2011). Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global. *Colombia forestal*. 2011. 14(2), 213 – 232. <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939616005.pdf>
54. Yzarra W y López F. (2011). Manual de observaciones fenológicas. Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>
55. Zerón A. (2011). Biotipos, fenotipos y genotipos. ¿Qué biotipo tenemos? (Segunda parte). *Revista Mexicana de Periodontología*. 2011. 2(1). 1-12. [https://www.researchgate.net/profile/AgustinZeron/publication/291335819\\_Biotipo\\_Fenotipo\\_y\\_Genotipos\\_2\\_Que\\_biotipo\\_tenemos/links/56a037c008ae2c638eb7f4fa/Biotipo-Fenotipo-y-Genotipos-2-Que-biotipo-tenemos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/AgustinZeron/publication/291335819_Biotipo_Fenotipo_y_Genotipos_2_Que_biotipo_tenemos/links/56a037c008ae2c638eb7f4fa/Biotipo-Fenotipo-y-Genotipos-2-Que-biotipo-tenemos.pdf)

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Comportamiento de la temperatura media, precipitación acumulada y ocurrencia de las fases de la fenología reproductivo de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



Flechas de color verde = primera campaña, flechas de color morados = segunda campaña

**Anexo 2.** Descriptor morfológico de *Opuntia* sp "tuna" INIA- Canaán Ayacucho (Tineo, 2003).

• **Peso de fruto**

1	Muy pequeño	(<80 g)
2	Pequeño	(81- 120 g)
3	Mediano	(121 – 150 g)
4	Grande	(151 – 200 g)
5	Muy grande	(> 201 g)

• **Longitud**

1	Muy pequeño	(< 40 mm)
2	Pequeño	(41 – 60 mm)
3	Mediano	(61 – 100 mm)
4	Grande	(101 – 140 mm)
5	Muy grande	(>141 mm)

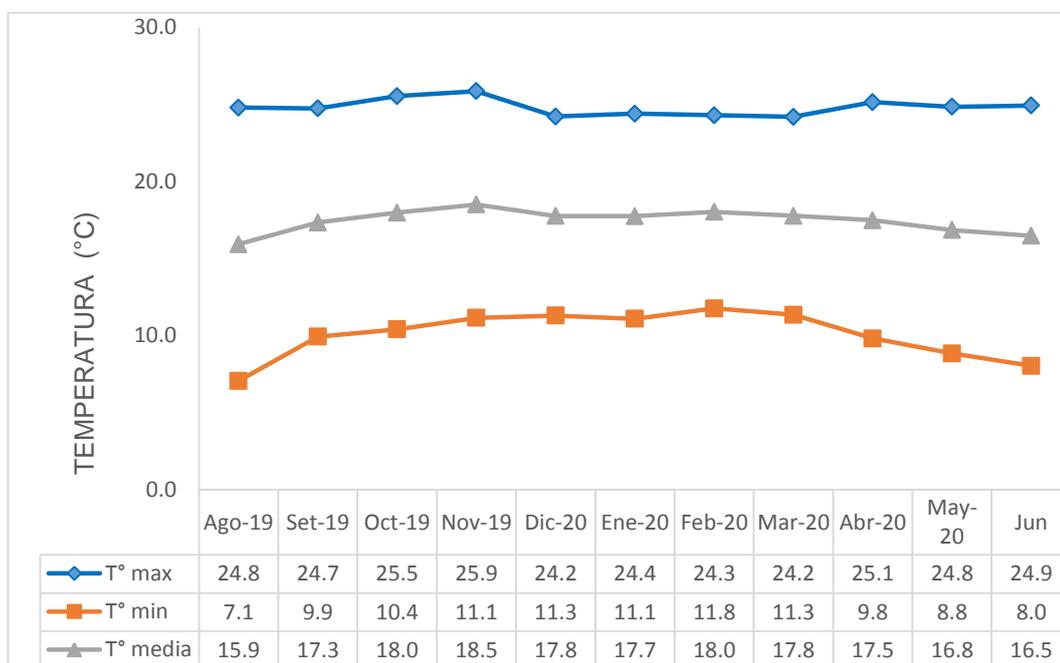
• **Diámetro**

1	Muy pequeño	(< 20 mm)
2	Pequeño	(21 – 52 mm)
3	Mediano	(53 – 91 mm)
4	Grande	(92 – 120 mm)
5	Muy grande	(>121 mm)

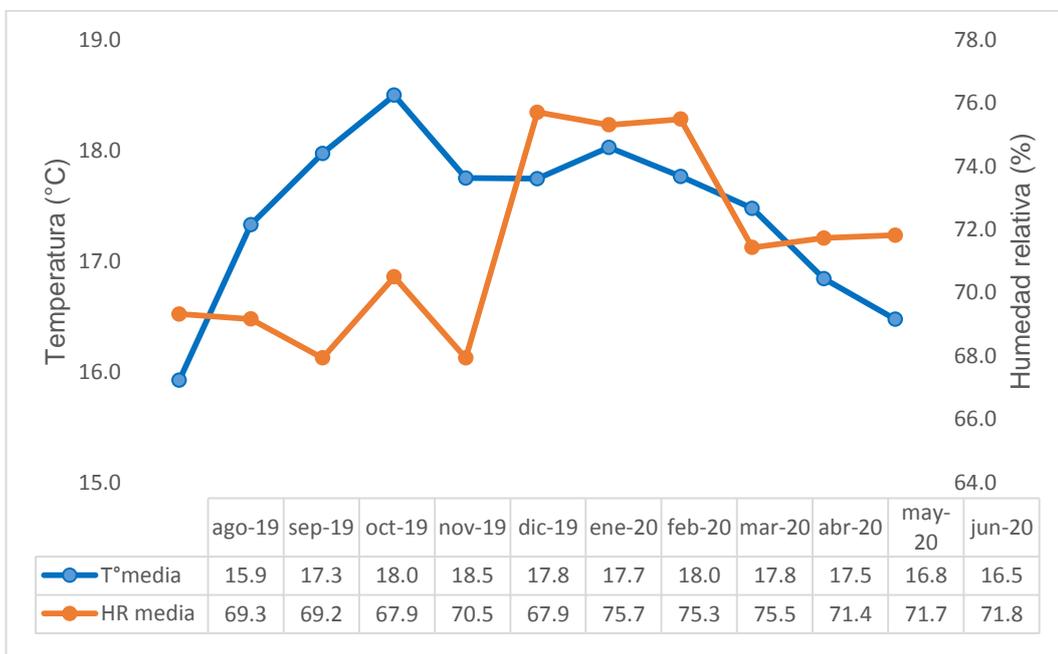
• **Contenido de azúcar (°Brix)**

1	Muy agrio	(<7,2)
2	Agrio	(7,3 – 11,1)
3	Aceptable	(11,2 – 15,3)
4	Dulce	(15,4 – 17,4)
5	Muy dulce	(>17,5)

**Anexo 3.** Comportamiento de temperatura máxima, mínima y medias mensuales, estación climática – INIA, Ayacucho agosto 2019 – mayo 2020.



**Anexo 4.** Comportamiento de la temperatura media y humedad relativa mensual INIA, Ayacucho agosto 2019 – mayo 2020.



**Anexo 5.** Promedio de variables ambientales, estación climática - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>Meses</b>	<b>T° máx.</b>	<b>T° min.</b>	<b>T° media</b>	<b>Precipitación*</b>	<b>HR media (%)</b>
AGO 2019	24,8	7,1	15,9	0	69,3
SET 2019	24,7	9,9	17,3	4,7	69,2
OCT 2019	25,5	10,4	18,0	26,0	67,9
NOV 2019	25,9	11,1	18,5	42,5	70,5
DIC 2019	24,2	11,3	17,8	132,3	67,9
ENE 2020	24,4	11,1	17,7	56,7	75,7
FEB 2020	24,3	11,8	18,0	60,8	75,3
MAR 2020	24,2	11,3	17,8	63,6	75,5
ABR 2020	25,1	9,8	17,5	15,7	71,4
MAY 2020	24,8	8,8	16,8	13,5	71,7
JUN 2020	24,9	8,0	16,5	0,0	71,8

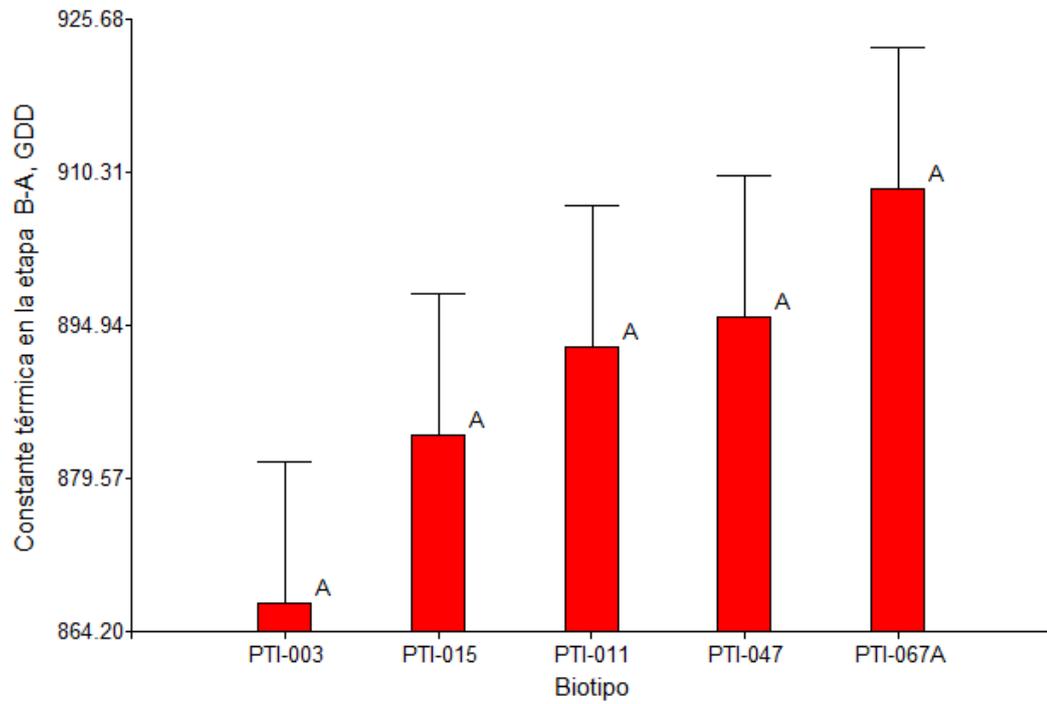
\*El valor de la precipitación es el acumulado durante el periodo del estudio

**1. Constante térmica en los 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.**

**Anexo 6.** Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a antesis en los 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Biotipo	8602,53	4	2150,63	1,17	<b>0,3452</b>
Bloque	2163,34	2	1081,67	0,59	0,5624
Bloque*Biotipo	13525,78	8	1690,72	0,92	0,5162
Error	55310,70	30	1843,69		
Total	79602,35	44			

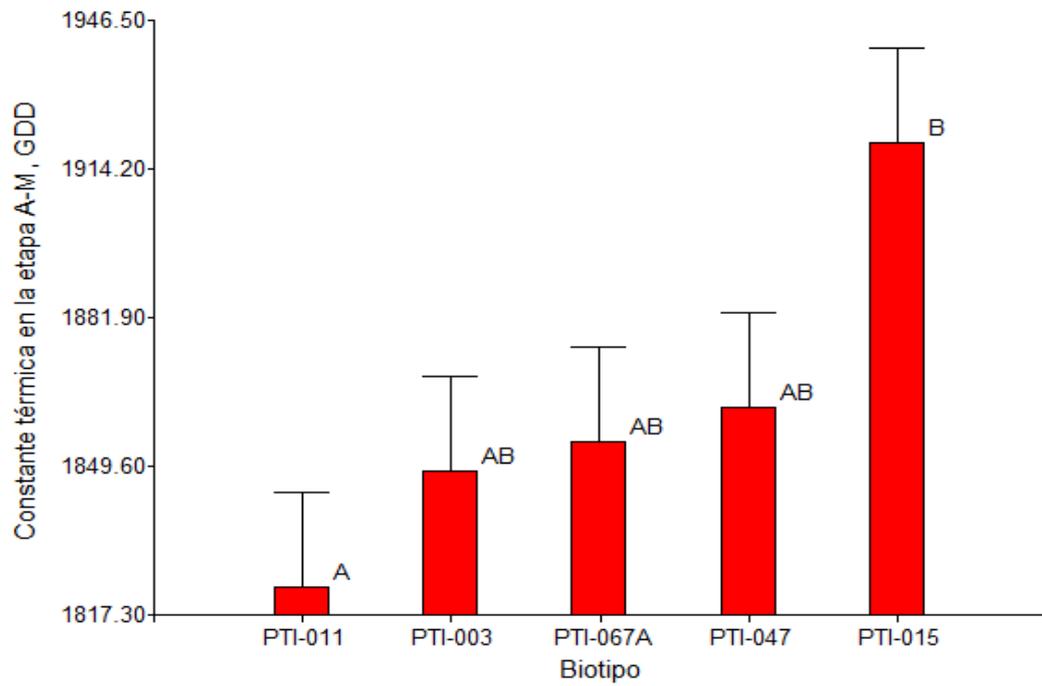
**Anexo 7.** Prueba de Tukey para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a antesis (B-A) de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



**Anexo 8.** Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa antesis a madurez del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Biotipo	45909,01	4	11477,25	2,73	<b>0,0475</b>
Bloque	23,03	2	11,51	2,70	0,9973
Bloque*Biotipo	20089,65	8	2511,21	0,60	0,7723
Error	126114,56	30	4203,82		
Total	192136,25	44			

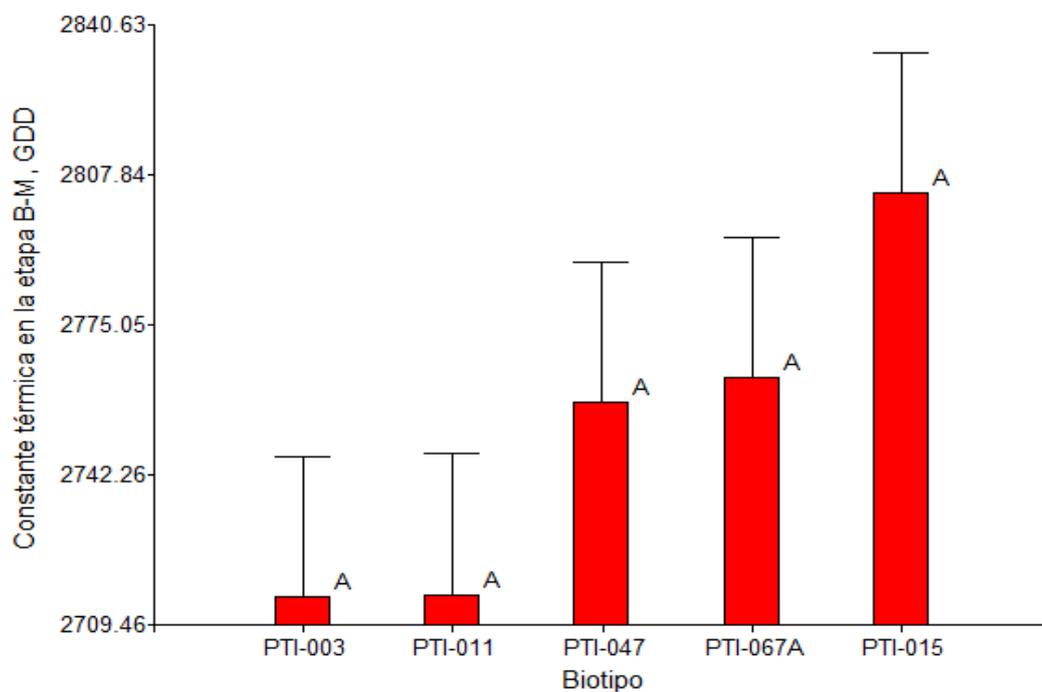
**Anexo 9.** Prueba de Tukey para la variable constante térmica en la etapa antesis a madurez del fruto (A-M) de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA Canaán Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



**Anexo 10.** Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a madurez del fruto (B-M) de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Biotipo	4942,57	4	12356,64	1,45	<b>0,2424</b>
Bloque	2621,50	2	1310,75	0,15	0,8582
Bloque*Biotipo	47526,73	8	5940,84	0,70	0,6917
Error	255867,99	30	8528,93		
Total	355442,78	44			

**Anexo 11.** Prueba de Tukey de la variable constante térmica en la etapa brotamiento a madurez del fruto (B-M) de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

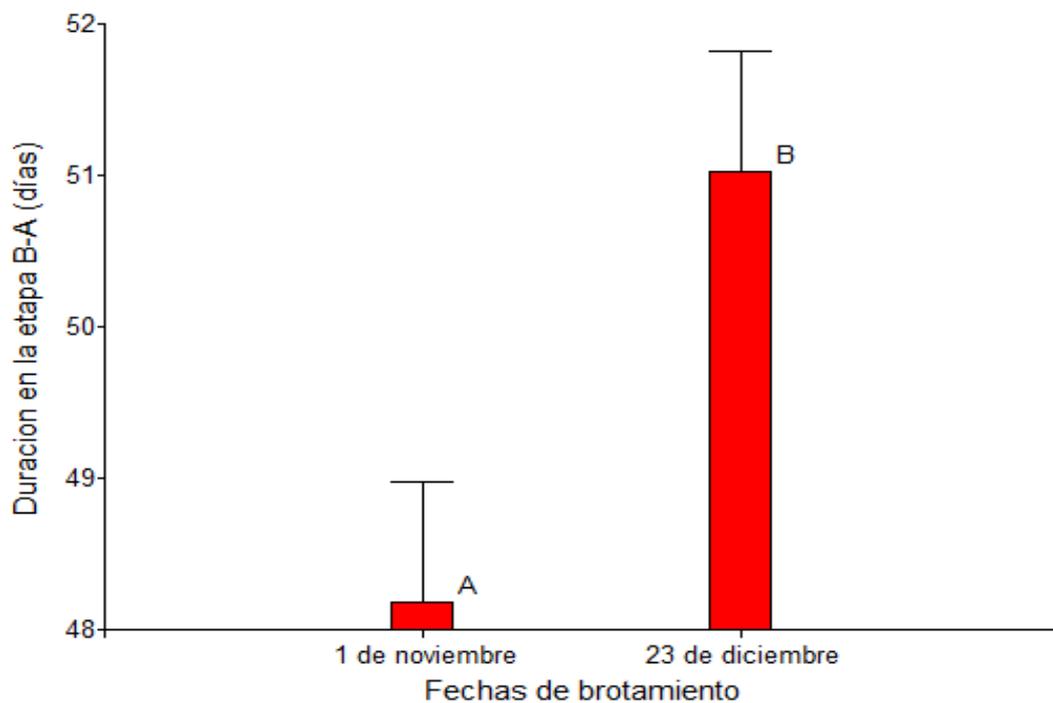


**2. Duración en días, del desarrollo de la fenología reproductiva en las 2 fechas de emergencia de los brotes florales de 5 biotipo promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA Ayacucho noviembre 2019 - mayo 2020.**

**Anexo 12.** Análisis de varianza para la duración en días, brotamiento a antesis (B-A) según las fechas de brotamiento de 5 biotipo de *Opuntia ficus indica* - INIA Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Fechas del brotamiento	49,85	1	49,85	6,49	<b>0,0177</b>
Error	184,31	24	7,68		
Total	234,15	25			

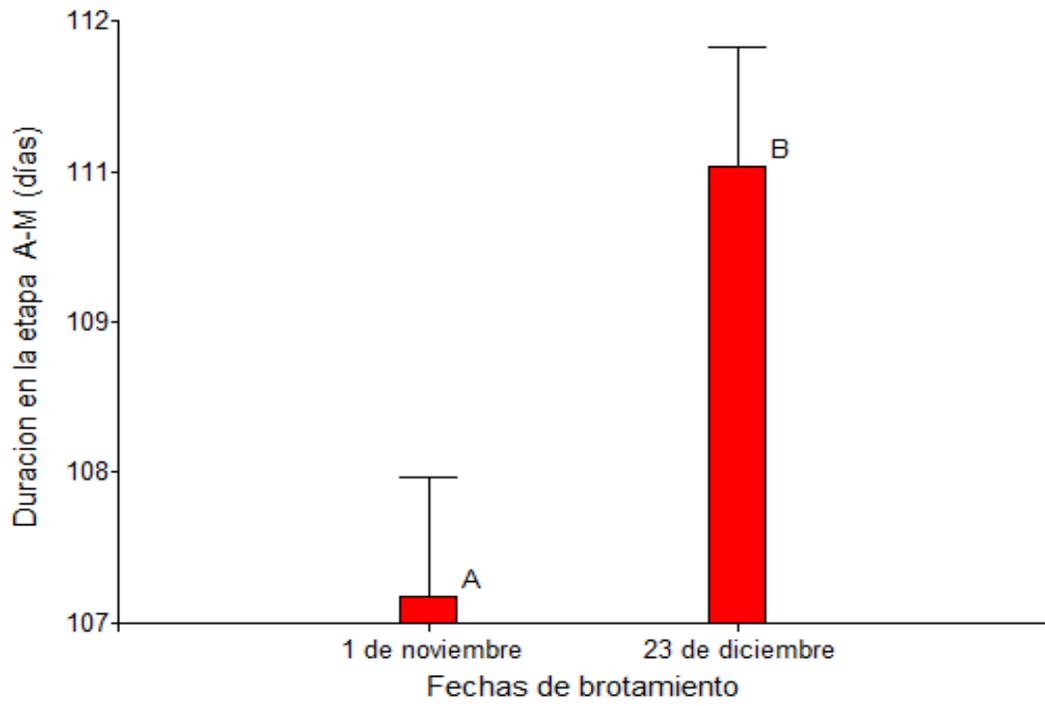
**Anexo 13.** Prueba de Tukey para la duracion en días, brotamiento a antesis (B-A), según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



**Anexo 14.** Análisis de varianza para la duración en días, antes a madurez del fruto (A-M), según las fechas de brotamiento de 5 biotipos de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Fechas del brotamiento	100,04	1	100,04	6,54	0,0173
Error	367,08	24	15,29		
Total	467,12	25			

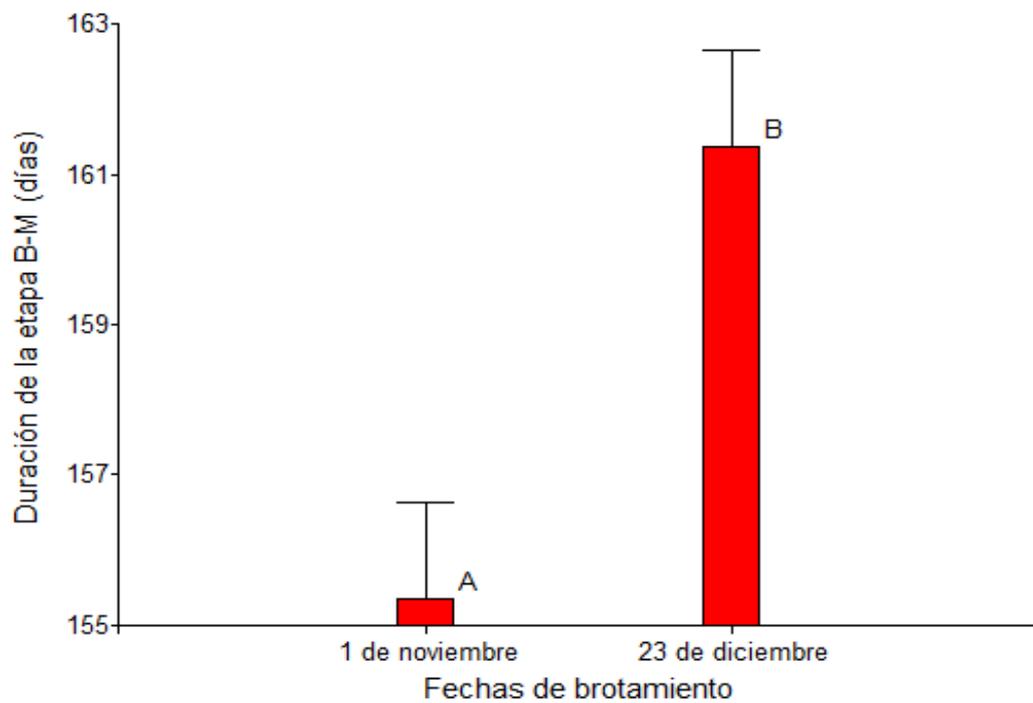
**Anexo 15.** Prueba de Tukey para la duracion en días, en la etapa antesis a madurez (A-M) del fruto, según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



**Anexo 16.** Análisis de varianza para la duración en la etapa brotamiento a madurez (B-M) del fruto, según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Fechas del brotamiento	258,62	1	258,62	11,05	<b>0,0028</b>
Error	561,85	24	23,41		
Total	820,46	25			

**Anexo 17.** Prueba de Tukey para la duración en la etapa brotamiento a madurez (B-M) del fruto, según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

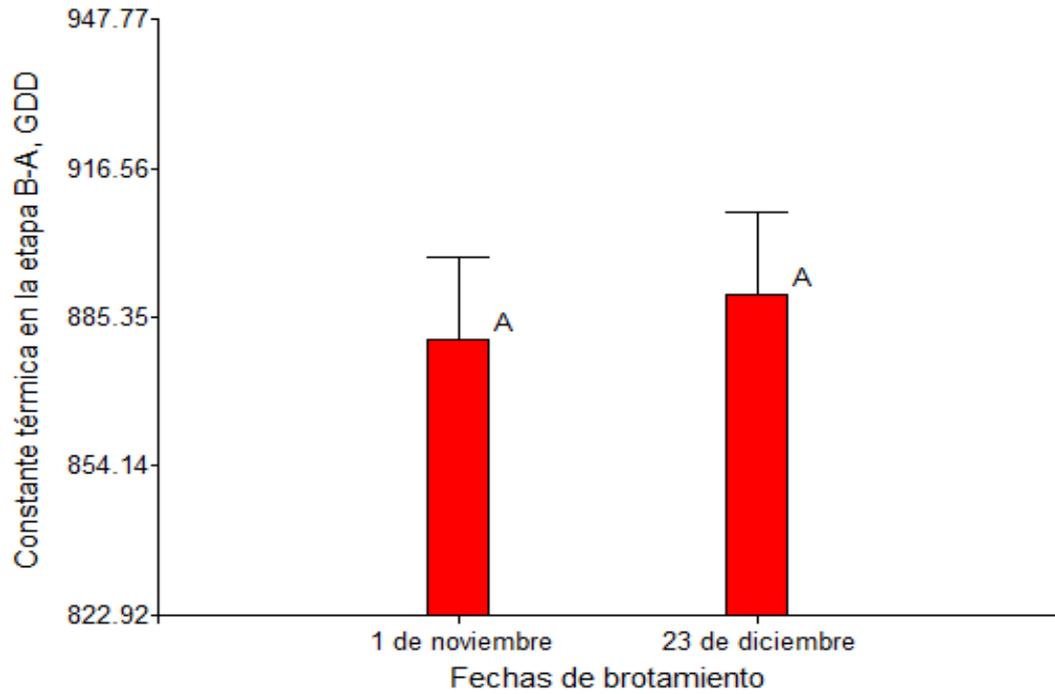


**3. Constante térmica del desarrollo de la fenología reproductiva de tuna en las 2 fechas de brotamiento de las yemas florales de 5 biotipo promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA Ayacucho 2019.**

**Anexo 18.** Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a antesis (B-A) según las fechas de brotamiento de 5 biotipo promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Fechas del brotamiento	585,68	1	585,68	0,15	<b>0,6987</b>
Error	91604,75	24	3816,86		
Total	92190,42	25			

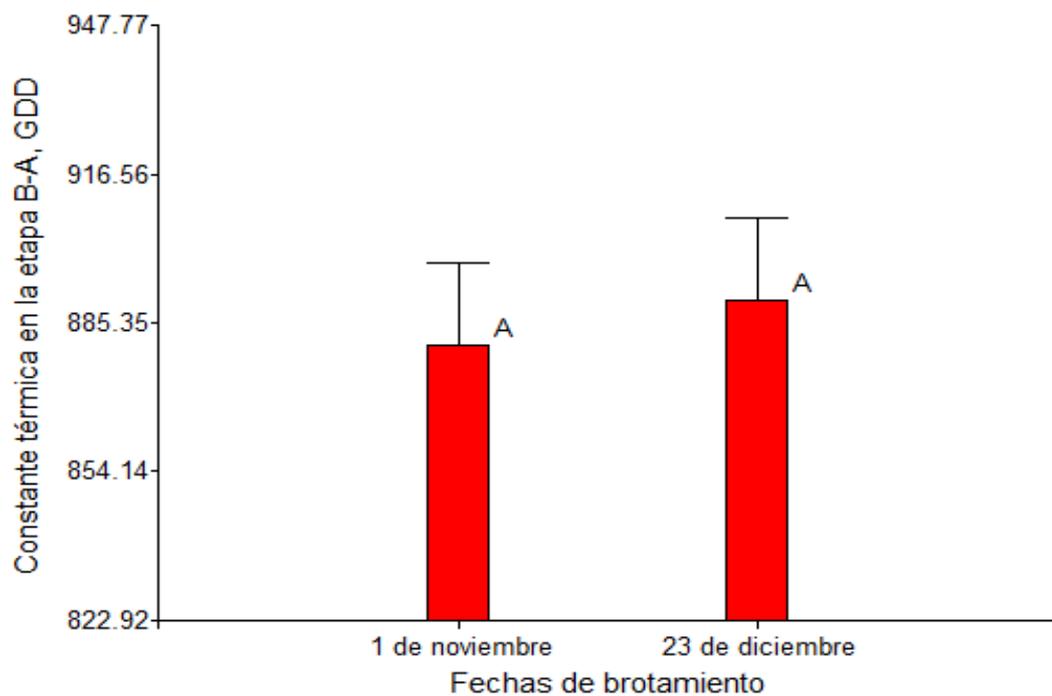
**Anexo 19.** Prueba de Tukey para la variable constante térmica en la etapa de brotamiento a antesis (B-A), según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



**Anexo 20.** Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa antesis a madurez del fruto (A-M), según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Fechas del brotamiento	326,96	1	326,96	0,08	<b>0,7824</b>
Error	100605,38	24	4191,89		
Total	100932,34	25			

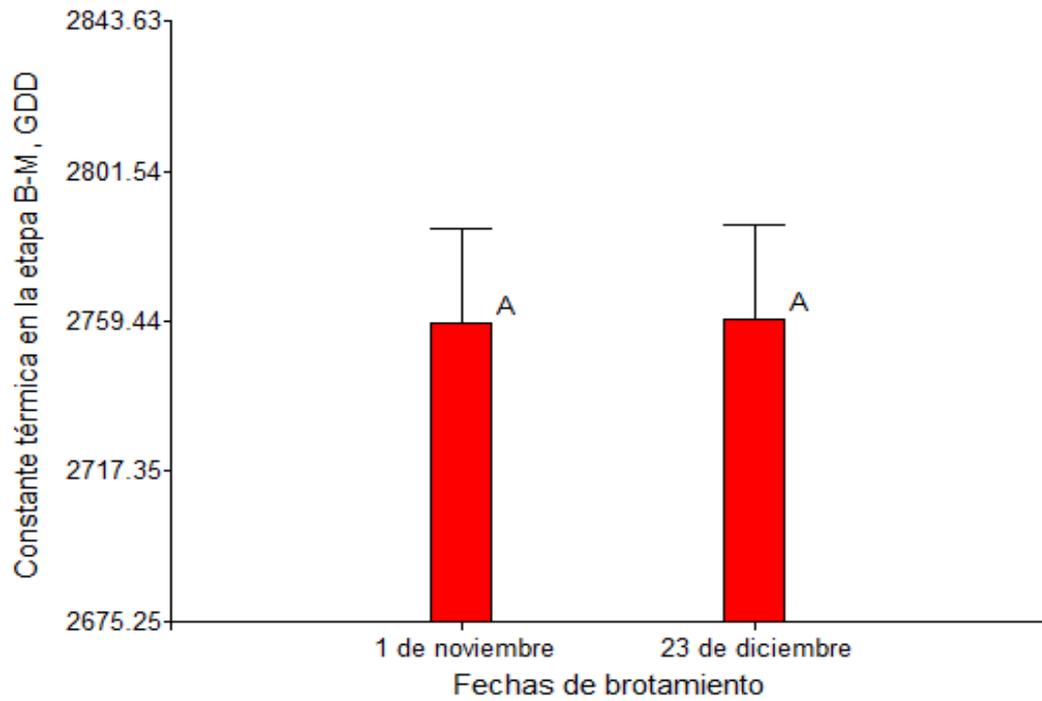
**Anexo 21.** Prueba de Tukey para la variable constante térmica en la etapa de anthesis a madurez del fruto (A-M), según las fechas de brotamiento de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



**Anexo 22.** Análisis de varianza para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a madurez del fruto (B-M), según las fechas de brotamiento de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA. Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Fechas del brotamiento	7,54	1	7,54	8,4E04	0,9771
Error	215148,28	24	8964,51		
Total	215155,82	25			

**Anexo 23.** Prueba de Tukey para la variable constante térmica en la etapa brotamiento a madurez del fruto (B-M); según las fechas de brotamiento, en 5 biotipos promisorios *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



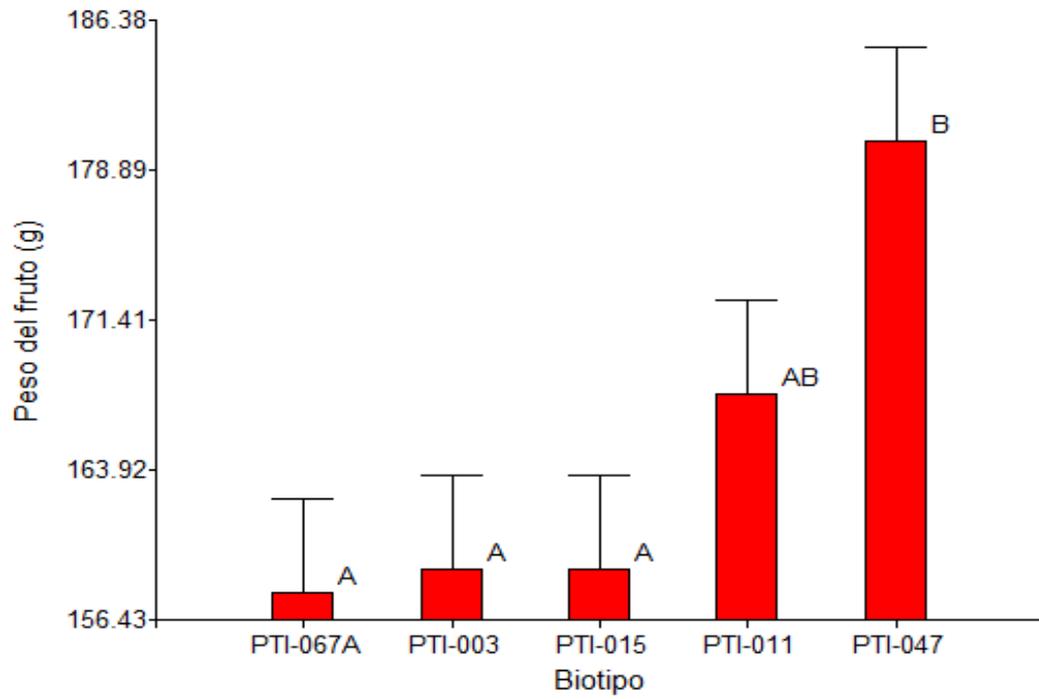
#### 4. Calidad del fruto

##### a. Peso del fruto

**Anexo 24.** Análisis de varianza para el indicador peso del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Biotipo	49426,57	4	825,62	4,19	<b>0.0082</b>
Bloque	2621,50	2	29,86	0,15	0,8601
Bloque*Biotipo	47526,73	8	128,79	0,65	0,7269
Error	255867,99	30	197,05		
Total	355442,78	44			

**Anexo 25.** Prueba de Tukey del indicador peso del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

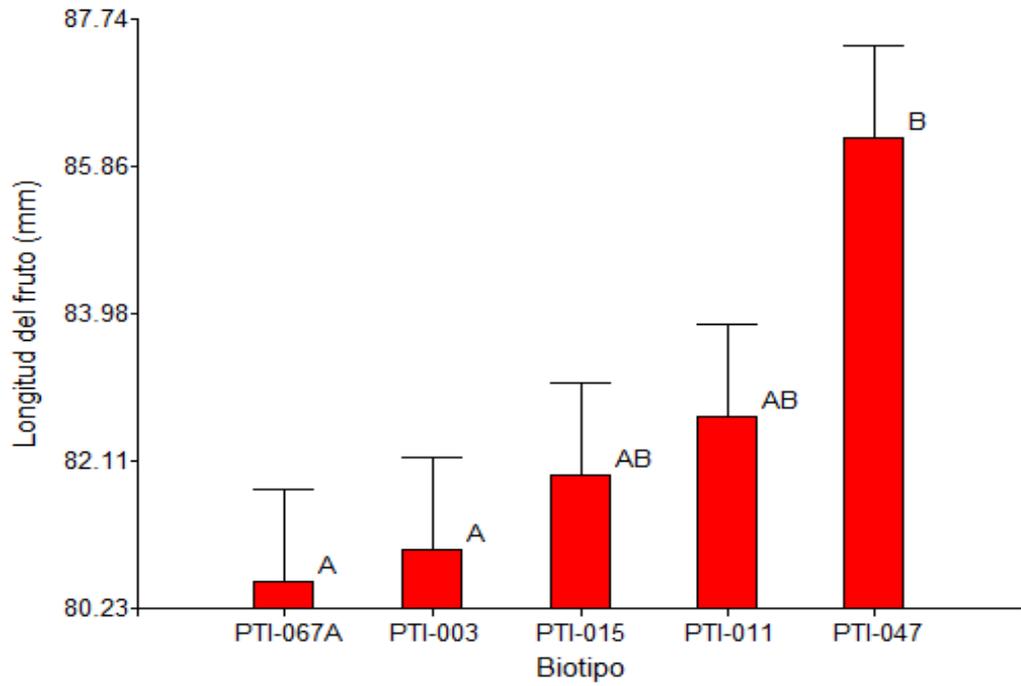


**b. Longitud del fruto**

**Anexo 26.** Análisis de varianza para el indicador longitud del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Biotipo	182,01	4	45,50	3,64	<b>0,0156</b>
Bloque	252,89	2	126,45	10,11	0,0004
Bloque*Biotipo	203,38	8	25,42	2,03	0,0763
Error	375,07	30	12,50		
Total	1013,35	44			

**Anexo 27.** Prueba de Tukey del indicador longitud del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

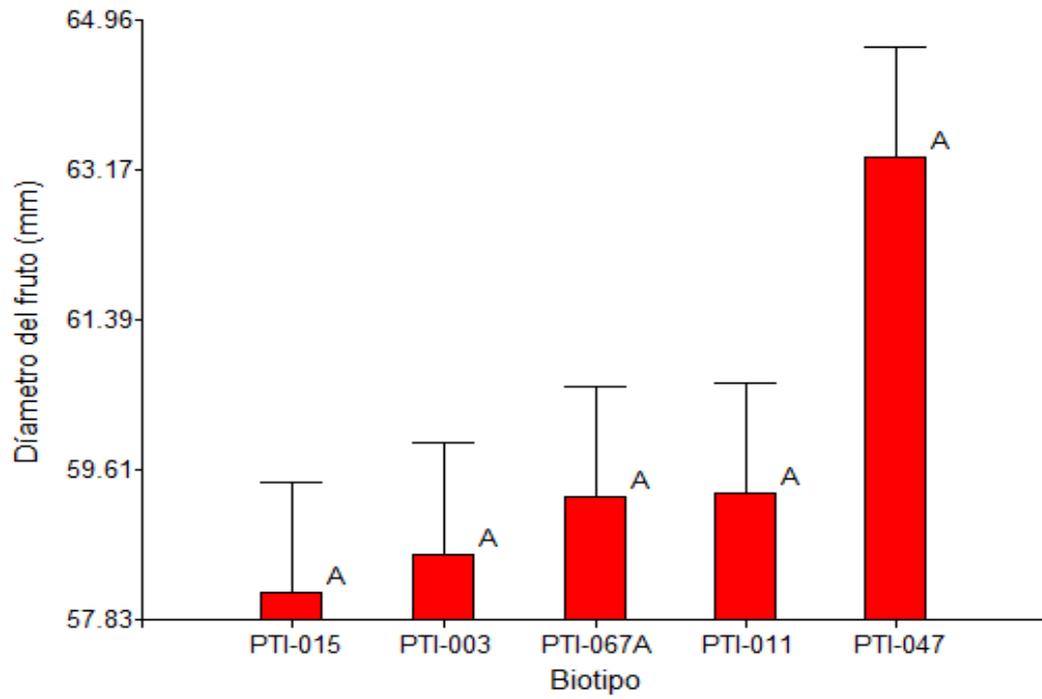


**c. Diámetro del fruto**

**Anexo 28.** Análisis de varianza para el indicador diámetro del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Biotipo	152,83	4	38,21	2,45	<b>0,0679</b>
Bloque	168,05	2	84,03	5,38	0,0101
Bloque*Biotipo	46,94	8	5,87	0,38	0,9252
Error	468,59	30	15,62		
Total	836,42	44			

**Anexo 29.** Prueba de Tukey del indicador diámetro del fruto de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

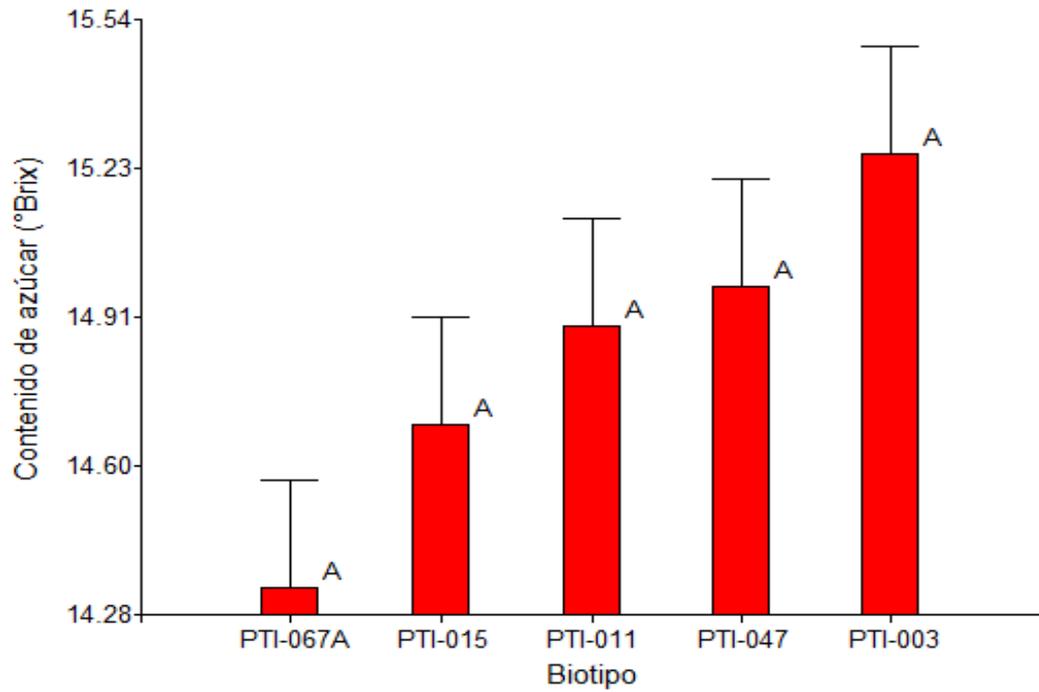


**d. Contenido de azúcar**

**Anexo 30.** Análisis de varianza para el indicador contenido de azúcar de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Biotipo	4,24	4	1,06	2,25	<b>0,0870</b>
Bloque	1,44	2	0,72	1,53	0,2335
Bloque*Biotipo	3,55	8	0,44	0,94	0,4965
Error	14,11	30	0,47		
Total	23,34	44			

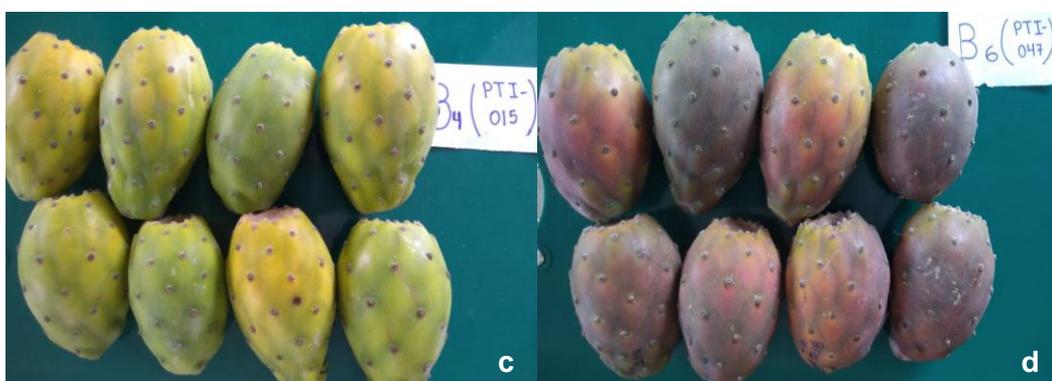
**Anexo 31.** Prueba de Tukey del indicador contenido de azúcar de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



**Anexo 32.** Fotografía de registro diario de datos climáticos durante el periodo estación meteorológica – INIA. Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



**Anexo 33.** Fotografía de frutos maduros de los 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



- a. Frutos del biotipo PTI-003
- b. Frutos del biotipo PTI-011
- c. Frutos del biotipo PTI-015
- d. Frutos del biotipo PTI-045
- e. Frutos del biotipo PTI-067A

**Anexo 34.** Fotografía de la tesista realizando las mediciones de calidad de los frutos de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



- a. Evaluación del parámetro longitud y diametro del fruto (mm)
- b. Evaluación del parámetro peso de fruto (g)
- c. Evaluación del parámetro contenido de azúcar (°brix)

**Anexo 35.** Fotografía del campo de experimentación, donde se realizó la investigación Constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



**Anexo 36.** Fotografía de los 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* – INIA, Ayacucho noviembre 2019 – mayo 2020.



Biotipo TPI-047



Biotipo PTI-015



Biotipo TPI-003

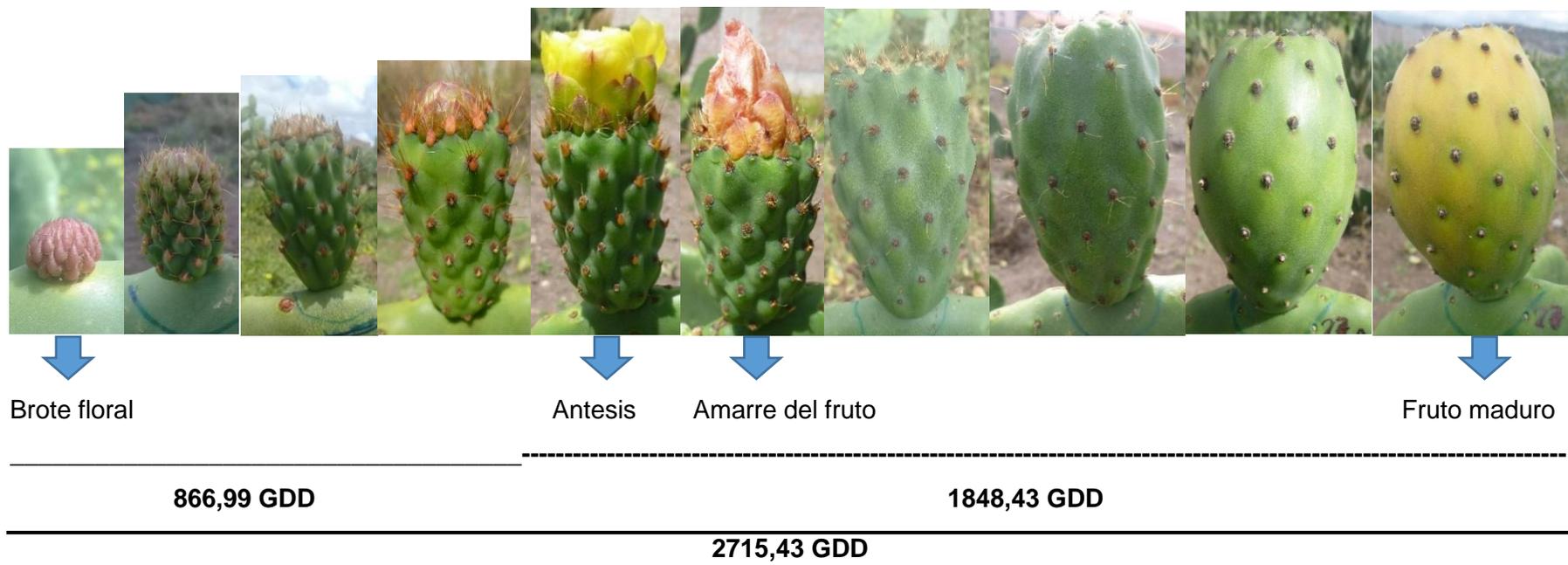


Biotipo PTI-067A



Biotipo PTI-011

**Anexo 37.** Desarrollo de la fenología reproductiva de *Opuntia ficus indica*, biotipo PTI 003 - variedad blanca.



**Anexo 38.** Matriz de consistencia.

Título : Constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de *Opuntia ficus indica* - INIA, Ayacucho 2019

Autor : Marcaquispe Capiso, Nelia

Asesor: Blgo. Ochoa Yupanqui, Walter Wilfredo

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál es la relación entre la constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> ?	<p><b>General</b> Determinar la relación entre la constante térmica y fenología reproductiva de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i>.</p> <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la relación entre la constante térmica para el desarrollo del fruto de 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i>.</li> <li>• Evaluar la relación entre la constante térmica y calidad del fruto de 5 biotipos de promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i>.</li> </ul>	<p>Antecedentes Marco conceptual <i>Opuntia ficus indica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Constante térmica</li> <li>• Fenología reproductiva</li> <li>• Fruto</li> <li>• Calidad</li> </ul> <p><b>Bases teóricas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generalidades de <i>Opuntia sp</i></li> <li>• Requerimientos agro climáticas de <i>Opuntia ficus indica</i> (suelo, agua, temperatura).</li> <li>• Taxonomía de <i>Opuntia ficus indica</i>.</li> </ul>	Al menos uno de los 5 biotipos promisorios de <i>Opuntia ficus indica</i> , requiere acumular menor constante térmica durante la fenología reproductiva.	<p><b>V1:</b> Constante térmica <b>Indicador:</b> °C alcanzados</p> <p><b>V2:</b> Fenología reproductiva <b>Dimensión 1:</b> Desarrollo del fruto <b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brotamiento</li> <li>• Floración</li> <li>• Maduración</li> </ul> <p><b>Dimensión 2:</b> Calidad del fruto <b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso</li> <li>• Longitud</li> <li>• Diámetro</li> <li>• Contenido de azúcar.</li> </ul>	<p><b>Nivel de investigación:</b> Básica</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Descriptivo</p> <p><b>Población</b> 72 tunales de <i>Opuntia ficus indica</i> establecidas en campo experimental INIA – Canaán Ayacucho.</p> <p><b>Tamaño de la muestra:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 45 tunales de <i>Opuntia ficus indica</i></li> </ul> <p><b>Técnica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación</li> </ul> <p><b>Análisis estadístico:</b> Se empleará la prueba de ANOVA (<math>\alpha=0,05</math>) y si existe diferencias significativas se procederá a realizar la comparación de medias, mediante la prueba de Tukey.</p>