

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

EVALUACIÓN DE LA MADUREZ Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO-
QUÍMICAS Y SENSORIALES EN POSCOSECHA DE TUNA
(*Opuntia ficus-indica*) VARIEDAD AMARILLA
ALMACENADA EN REGRIGERACIÓN

TESIS

Presentada por:

Bach. BRIGHITTE YOMAHIRA MOSTACERO VARGAS

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TACNA – PERÚ

2018


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

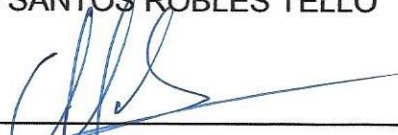
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias


TESIS

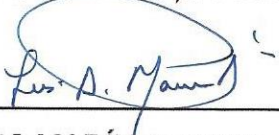
Evaluación de la madurez y características físico-químicas y sensoriales en poscosecha de tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla almacenada en refrigeración

Tesis sustentada y aprobada el jueves 13 de septiembre, estando conformado el jurado calificador por:

Presidente : 
Msc. MAGNO SANTOS ROBLES TELLO

Secretario : 
Dra. LILIANA DEL CARMEN LANCHIPA BERGAMINI

Vocal : 
Dr. ENRIQUE ALFONSO DE FLORIO RAMIREZ

Asesor : 
MSc. LUIS MARÍN ALIAGA

DEDICATORIA

A mis padres Sr. Galo Mostacero León y Sra. Rosa Vargas Albites y tíos Dr. Javier Lozano Marreros y Sra. Vilma Vargas Alvites por su amor y apoyo incondicional a través del tiempo, por enseñarme que lo único imposible es aquello que no intentas y que con constancia y perseverancia puedo alcanzar el éxito.

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, por permitir hacer realidad este sueño anhelado.

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann por darme la oportunidad de estudiar, ser una profesional y una Basadrina de corazón.

Al MSc. Luis Marín Aliaga, por su importante labor como asesor y maestro, a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad, motivación y conocimientos que me transmitieron.

Al Sr. Antonio Aguilar por su colaboración en la culminación de la presente investigación.

Y a todas aquellas personas que extendieron su apoyo profesional, personal y emocional a mi persona durante el desarrollo de esta investigación, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema principal	4
1.2.2 Problemas secundarios	5
1.3 Delimitación de la investigación	5
1.3.1 Teórica.....	5
1.3.2 Temporal.....	5
1.3.3 Espacial	6
1.4 Justificación	6
1.5 Limitaciones	7
1.6 Objetivos	7
1.6.1 Objetivo principal	7
1.6.2 Objetivos secundarios.....	7
CAPÍTULO II. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	8
2.1 Hipótesis	8
2.1.1 Hipótesis general	8

2.1.2 Hipótesis específicas	8
2.2 Indicadores de variables	8
2.3 Diagrama de variables	9
2.4 Operacionalización de variables	9
CAPÍTULO III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	11
3.1 Conceptos generales y definiciones.....	11
3.1.1 Origen y distribución de la tuna.....	11
3.1.2 Clasificación taxonómica de la tuna.....	12
3.1.3 Importancia	13
3.1.4 Valor nutricional	14
3.1.5 Variedades de tuna.....	15
3.1.6 Producción nacional.....	16
3.1.7 Producto departamental.....	16
3.2 Enfoques teóricos-técnicos	19
3.2.1 Fenología y desarrollo de los frutos	19
3.2.2 Maduración del fruto	20
3.2.3 Poscosecha	22
3.2.4 Derivados y usos	26
3.2.5 La metodología de superficie de respuesta	27
3.3 Marco referencial	28
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	31

4.1	Tipo y diseño de investigación	31
4.1.1	Tipo de investigación	31
4.1.2	Diseño de la investigación	31
4.2	Población y muestra.....	33
4.2.1	Población	33
4.2.2	Muestra.....	33
4.3	Materiales y métodos	34
4.3.1	Método experimental	34
4.3.2	Materiales y equipos	41
4.3.3	Métodos de análisis	43
4.3.4	Análisis de datos.....	45
CAPÍTULO V. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.....		46
5.1	Características fisicoquímicas en poscosecha de la tuna variedad amarilla almacenada en refrigeración	46
5.1.1	Pérdida de peso.....	47
5.1.2	Humedad	50
5.1.3	Densidad.....	53
5.1.4	Firmeza	55
5.1.5	pH 58	
5.1.6	Sólidos solubles	61
5.1.7	Acidez	64

5.1.8 Índice de madurez final	67
5.2 Características sensoriales en poscosecha de la tuna variedad amarilla almacenada en refrigeración	70
5.2.1 Color	71
5.2.2 Olor	74
5.2.3 Sabor	77
5.2.4 Textura.....	80
5.2.5 Aceptabilidad general	83
5.2.6 Optimización	86
5.3 Discusión de resultados	91
5.3.1 Características fisicoquímicas.....	91
5.3.2 Características sensoriales.....	95
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES.....	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de variables para la investigación de la tuna variedad amarilla en poscosecha.....	9
Figura 2. Arquitectura de planta adulta de tuna mostrando las pencas que forman el tallo y dan origen a los frutos	12
Figura 3. Desarrollo y crecimiento de los frutos de tuna	20
Figura 4. Estadíos del fruto de la tuna.	21
Figura 5. Plantas de tuna del distrito Sitajara.....	33
Figura 6. Cosecha de las tunas para experimentación	35
Figura 7. Desespinado de las tunas cosechadas.....	36
Figura 8. Clasificación de las tunas cosechadas según estado de madurez	37
Figura 9. Lavado de las tunas cosechadas.....	37
Figura 10. Almacenamiento de las tunas.....	38
Figura 11. Análisis físico de las muestras en experimentación.....	39
Figura 12. Análisis fisicoquímico de las muestras en experimentación.....	39
Figura 13. Análisis sensorial de las muestras en experimentación.....	39

Figura 14. Flujo de evaluación en poscosecha de la tuna variedad amarilla.....	40
Figura 15. Análisis del diagrama de Pareto para la variación del peso de la tuna.....	47
Figura 16. Efecto de los factores principales sobre la variación del peso de la tuna.....	48
Figura 17. Curvas de superficie de respuesta para la variación del peso de la tuna almacenada a 2 semanas.....	49
Figura 18. Curvas de superficie de respuesta para la variación del peso de la tuna almacenada a 4 semanas.....	49
Figura 19. Análisis del diagrama de Pareto para la humedad de la tuna	50
Figura 20. Efecto de los factores principales sobre la humedad de la tuna	51
Figura 21. Curvas de superficie de respuesta para la humedad de la tuna almacenada a 2 semanas	52
Figura 22. Curvas de superficie de respuesta para la humedad de la tuna almacenada a 4 semanas	52
Figura 23. Análisis del diagrama de Pareto para la densidad de la tuna	53

Figura 24. Análisis de efecto de los factores principales sobre la densidad de la tuna	54
Figura 25. Análisis del diagrama de Pareto para la firmeza de la tuna	55
Figura 26. Efecto de los factores principales sobre la firmeza de la tuna	56
Figura 27. Curvas de superficie de respuesta para la firmeza de la tuna almacenada a 2 semanas	57
Figura 28. Curvas de superficie de respuesta para la firmeza de la tuna almacenada a 4 semanas	57
Figura 29. Análisis del diagrama de Pareto para el pH de la tuna	58
Figura 30. Efecto de los factores principales sobre el pH de la tuna	59
Figura 31. Curvas de superficie de respuesta para el pH de la tuna almacenada a 2 semanas	60
Figura 32. Curvas de superficie de respuesta para el pH de la tuna almacenada a 4 semanas	60
Figura 33. Análisis del diagrama de Pareto para los sólidos solubles de la tuna	61
Figura 34. Efecto de los factores principales sobre los sólidos solubles de la tuna	62

Figura 35. Curvas de superficie de respuesta para los sólidos solubles de la tuna almacenada a 2 semanas	63
Figura 36. Curvas de superficie de respuesta para los sólidos solubles de la tuna almacenada a 4 semanas	63
Figura 37. Análisis del diagrama de Pareto para la acidez de la tuna	64
Figura 38. Efecto de los factores principales sobre la acidez de la tuna	65
Figura 39. Curvas de superficie de respuesta para la acidez de la tuna almacenada a 2 semanas	66
Figura 40. Curvas de superficie de respuesta para la acidez de la tuna almacenada a 4 semanas	66
Figura 41. Análisis del diagrama de Pareto para el índice de madurez final de la tuna.....	67
Figura 42. Efecto de los factores principales sobre el índice de madurez final de la tuna.....	68
Figura 43. Curvas de superficie de respuesta para el índice de madurez de la tuna almacenada a 2 semanas	69
Figura 44. Curvas de superficie de respuesta para el índice de madurez de la tuna almacenada a 4 semanas	69
Figura 45. Análisis del diagrama de Pareto para el color de la tuna.....	71

Figura 46. Efecto de los factores principales sobre el color de la tuna	72
Figura 47. Curvas de superficie de respuesta para el color de la tuna almacenada a 2 semanas	73
Figura 48. Curvas de superficie de respuesta para el color de la tuna almacenada a 4 semanas	73
Figura 49. Análisis del diagrama de Pareto para el olor de la tuna	74
Figura 50. Efecto de los factores principales sobre el olor de la tuna	75
Figura 51. Curvas de superficie de respuesta para el olor de la tuna almacenada a 2 semanas	76
Figura 52. Curvas de superficie de respuesta para el olor de la tuna almacenada a 4 semanas	76
Figura 53. Análisis del diagrama de Pareto para el sabor de la tuna	77
Figura 54. Efecto de los factores principales sobre el sabor de la tuna	78
Figura 55. Curvas de superficie de respuesta para el sabor de la tuna almacenada a 2 semanas	79

Figura 56. Curvas de superficie de respuesta para el sabor de la tuna almacenada a 4 semanas	79
Figura 57. Análisis del diagrama de Pareto para la textura de la tuna	80
Figura 58. Efecto de los factores principales sobre la textura de la tuna	81
Figura 59. Curvas de superficie de respuesta para la textura de la tuna almacenada a 2 semanas	82
Figura 60. Curvas de superficie de respuesta para la textura de la tuna almacenada a 4 semanas	82
Figura 61. Análisis del diagrama de Pareto para la aceptabilidad general de la tuna	83
Figura 62. Efecto de los factores principales sobre la aceptabilidad general de la tuna	84
Figura 63. Curvas de superficie de respuesta para la aceptabilidad general de la tuna almacenada a 2 semanas	85
Figura 64. Curvas de superficie de respuesta para la aceptabilidad general de la tuna almacenada a 4 semanas	85
Figura 65. Curvas de superficie de respuesta para las condiciones óptimas de postcosecha y almacenamiento en refrigeración de la tuna	88

Figura 66. Flujograma definitivo para la poscosecha de la tuna.	89
Figura 67. Perfil sensorial de tuna en refrigeración (28 días) y en temperatura ambiente (12 días).....	90
Figura 68. Tunas en fase de deterioro con más de 28 días.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización para las variables en estudio	10
Tabla 2. Valor nutricional de la tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) de 100 g de porción comestible.	15
Tabla 3. Producción, superficie cosechada y rendimiento promedio de tuna, según departamento, 2016	17
Tabla 4. Producción, superficie cosechada y rendimiento promedio de Tuna en Tacna según provincia y distrito año 2017	18
Tabla 5. Matriz de tratamientos para el diseño factorial 3x3x2	32
Tabla 6. Análisis de condiciones en poscosecha.....	46
Tabla 7. Análisis de características sensoriales de la tuna según condiciones de poscosecha	70
Tabla 8. Optimización para los factores para el postcosecha y almacenamiento.....	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha de análisis sensorial.....	106
Anexo 2. Análisis estadístico para la pérdida de peso.....	107
Anexo 3. Análisis estadístico para la humedad	108
Anexo 4. Análisis estadístico para la densidad.....	109
Anexo 5. Análisis estadístico para la firmeza.....	110
Anexo 6. Análisis estadístico para pH.....	111
Anexo 7. Análisis estadístico para sólidos solubles.....	112
Anexo 8. Análisis estadístico para la acidez	113
Anexo 9. Análisis estadístico para el índice de madurez	114
Anexo 10. Análisis estadístico para el color.....	115
Anexo 11. Análisis estadístico para el olor	116
Anexo 12. Análisis estadístico para el sabor	117
Anexo 13. Análisis estadístico para la textura	118
Anexo 14. Análisis estadístico para la aceptabilidad general	119
Anexo 15. Norma técnica para la tuna.....	120

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia del estadio de madurez y poscosecha sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de la tuna variedad amarilla. Se utilizó un diseño de 18 experimentos y para el análisis de datos se aplicó la metodología de superficie de respuesta. Se concluyó que la influencia del estadio de madurez y poscosecha sobre la pérdida de peso de la tuna fue significativo (p valor $< 0,05$). La influencia del estadio de madurez y poscosecha sobre la densidad no fue significativo (p valor $\geq 0,05$). Sin embargo, la humedad fue influenciada significativamente por efecto del estadio de madurez. Sobre la firmeza, sólidos solubles y la acidez fueron significativos el estadio de madurez y el tiempo. Con respecto al pH, fue significativo la temperatura de refrigeración. La influencia del estadio de madurez y poscosecha sobre la aceptabilidad del color fue significativo sobre el olor, sabor y textura. A mayor tiempo de almacenamiento mayor será la aceptabilidad de dichos atributos. Las condiciones consideradas óptimas para la tuna son el ser cosechadas en estadio 4 y almacenadas a 9°C hasta 4 semanas de almacenamiento, condiciones que dieron como resultado una fruta con aceptabilidad calificada entre “bueno” y “muy bueno”.

Palabras clave: estadio de madurez, poscosecha, superficie de respuesta.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the influence of the stage of maturity and postharvest on the physicochemical and sensory characteristics of the yellow tuna variety. A design of 18 experiments was used and for the data analysis the response surface methodology was applied. It was concluded that the influence of the stage of maturity and postharvest on the weight loss of the prickly pear was significant (p value $< 0,05$). The influence of the stage of maturity and postharvest on the density was not significant (p value $> 0,05$). However, the humidity was significantly influenced by the effect of the maturity stage. Firmness, soluble solids and acidity were significant maturity stage and time. With respect to pH, the cooling temperature was significant. The influence of the stage of maturity and postharvest on the acceptability of the color was significant on the smell, flavor and texture. The greater the storage time, the greater the acceptability of said attributes. The conditions considered optimal for the prickly pear are being harvested in stage 4 and stored at 9°C for up to 4 weeks of storage, conditions that resulted in a fruit with qualified acceptability between "good" and "very good".

Key words: stage of maturity, postharvest, response surface.

INTRODUCCIÓN

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) es una fruta ovoide, jugosa y dulce con múltiples semillas de color negro, posee una piel gruesa y es producida por el nopal tunero (Duru y Turker, 2005). Es un fruto perteneciente a la familia Cactácea, tiene la peculiaridad de bajas necesidades de agua y por lo tanto, una alta eficiencia en el aprovechamiento de esta, lo que les permite vivir en condiciones áridas y semiáridas (Gurriere et al., 2000 y Esquivel, 2004).

La tuna posee altas concentraciones de compuestos bioactivos tales como compuestos fenólicos, vitamina C y pigmentos betalainas que le confieren alta actividad antioxidante; además, posee altas concentraciones de calcio y magnesio, así como aminoácidos escasos en el reino vegetal tales como la prolina y taurina, que le proporcionan la característica de un alimento funcional (Galati et al., 2003).

No obstante, los excelentes atributos nutricionales que posee la tuna, su comercialización es baja en comparación con otras frutas debido a que la investigación para su conservación en fresco y sus productos procesados es escasa (Ochoa y Guerrero, 2010).

Es necesario buscar diferentes métodos de conservación tanto en fresco como procesado. El manejo poscosecha de la tuna beneficiará a los productores no solo del distrito de Sitajara, sino de los demás productores en la región Tacna, minimizando la pérdida de frutos que ocurren a nivel poscosecha, por los métodos inadecuados practicados en la recolección, eliminación de espinas, estado de madurez de la tuna; la no desinfección; así, como por el desconocimiento de las condiciones de almacenamiento (Esquivel, 2004).

Con esta investigación se evaluó la influencia de la poscosecha sobre las características físico-químicas y sensoriales de tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla almacenada en refrigeración, proveniente de la región Tacna, provincia de Tarata, distrito Sitajara, que contribuirá a que las comunidades conozcan más acerca de la conservación de esta fruta tan apreciada, y les permitan ofertar productos de buena calidad y atractivos al consumidor, convirtiéndose en una importante alternativa de trabajo para los habitantes del sector.

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la región Tacna y en otros lugares aún no se han realizado trabajos de investigación concerniente a la evaluación de la madurez y las características físico-químicas y sensoriales en poscosecha de tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla almacenada en refrigeración. Debido a este problema en época de abundancia de tuna se tiene bajo precio.

La tuna se lo recolecta de forma tradicional, generando pérdidas del producto por maltrato físico en la recolección; las espinas son eliminadas dejando caer al suelo el fruto y golpeando con ramas para resquebrajar las espinas, restando de esta forma calidad a los frutos y por ende reducción del precio de venta.

Por los métodos inadecuados de recolección, de eliminación de espinas, del estado de madurez de la tuna, y la no desinfección, así como del desconocimiento de las condiciones de almacenamiento, se produce un

gran porcentaje de frutos con defectos a nivel poscosecha, pérdidas que perjudican principalmente al productor (Ponce y Vela, 2010).

El problema que se tiene en la producción de la tuna, es en el fruto cosechado; del cual no se tiene conocimiento de los parámetros de poscosecha como el índice de madurez, contenido de sólidos solubles, acidez, humedad, densidad, textura y demás propiedades nutricionales, así como en las condiciones de poscosecha (temperatura de almacenamiento, HR, atmósfera modificada, tratamiento hidrotérmico, enceramiento, etc.), con el fin de prolongar el tiempo de almacenamiento del fruto, asegurando así la comercialización de toda la producción. Todo esto influye en los bajos precios y poca rentabilidad, por lo tanto, con este trabajo lo que se quiere lograr es las condiciones de almacenamiento óptimo para la conservación de la tuna amarilla de Sitajara, y así disminuir la pérdida de frutos cosechados y lograr un mayor precio del producto.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema principal

¿Cómo es la variación de las características físico-químicas y sensoriales en poscosecha de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla almacenada en refrigeración?

1.2.2 Problemas secundarios

- ¿Cómo es el comportamiento de las características fisicoquímicas en poscosecha de la tuna variedad amarilla almacenada en refrigeración?
- ¿Cómo es el comportamiento de las características sensoriales en poscosecha de la tuna variedad amarilla almacenada en refrigeración?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Teórica

La investigación comprenderá únicamente las bases teóricas de las características físico-químicas, sensoriales y el tiempo de almacenamiento de tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla, proveniente de la región Tacna, provincia de Tarata, distrito Sitajara.

1.3.2 Temporal

La ejecución de la Tesis fue en un tiempo de 13 meses aproximadamente.

1.3.3 Espacial

La investigación se llevó a cabo en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentaria de la UNJBG de Tacna ubicado en la provincia y región Tacna.

1.4 Justificación

El presente trabajo, ayudará a mejorar las labores de poscosecha de la tuna ya que es la principal fuente de ingreso económico de los productores de tuna de la zona altoandina. El manejo poscosecha, específico para la tuna beneficiará a los productores del distrito de Sitajara. Ayudará a minimizar las causas de pérdida de frutos que ocurren a nivel poscosecha, esta investigación sugiere la búsqueda de un método de conservación de la tuna, que contribuirá a que las comunidades brinden productos de buena calidad y atractivos al consumidor, aumentará los volúmenes de venta y la producción de tuna se convertirá en una importante alternativa de trabajo para los jóvenes y demás habitantes del sector. Los agricultores beneficiados serán residentes del distrito de Sitajara y alrededores los cuales podrán acceder a información, al igual que los consumidores de tuna amarilla, cuya mayor producción se presenta durante los meses de enero a abril.

1.5 Limitaciones

No se identificaron mayores limitaciones que hayan impedido la consecución de los objetivos planteados.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo principal

Evaluar las características físico-químicas y sensoriales en poscosecha de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla almacenada en refrigeración.

1.6.2 Objetivos secundarios

- Determinar las características físico-químicas en poscosecha de la tuna variedad amarilla almacenada en refrigeración.
- Establecer la aceptabilidad de características sensoriales en poscosecha de la tuna variedad amarilla almacenada en refrigeración.

CAPÍTULO II.

HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Hipótesis

2.1.1 Hipótesis general

Las condiciones de poscosecha en refrigeración afectará las características fisicoquímicas y sensoriales de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla.

2.1.2 Hipótesis específicas

- Las condiciones de poscosecha en refrigeración afectará las características fisicoquímicas de la tuna variedad amarilla.

- Las condiciones de poscosecha en refrigeración afectará las características sensoriales de la tuna variedad amarilla.

2.2 Indicadores de variables

a) Variable independiente:

X₁: Estadíos de madurez.

X₂: Temperaturas de refrigeración.

X₃: Tiempos de almacenaje en refrigeración.

b) Variables dependientes:

Y₁: Características fisicoquímicas

Y₂: Características sensoriales

2.3 Diagrama de variables

La Figura 1, muestra el diagrama de las variables para la investigación de la poscosecha de la tuna variedad amarillo.



Figura 1. Diagrama de variables para la investigación de la tuna variedad amarilla en poscosecha

Fuente: Elaboración propia (2017)

2.4 Operacionalización de variables

La tabla 1, muestra cómo serán operacionalizadas las variables a medir (indicador) y la escala utilizada para su medición.

Tabla 1. Operacionalización para las variables en estudio

Variables	Definición operacional	Indicadores	Nivel/unidad	Escala
X1: Estadío de madurez	Se manifiesta a través de la coloración predominante del fruto de tuna	Estadío de madurez	2 (IP) 3 (AP) 4 (AA)	Ordinal
X2: Temperaturas de almacenaje en refrigeración	Es el grado de calor del ambiente en el que se conservara la fruta.	Temperatura de almacenaje	3°C; 6°C 9°C	Razón
X3: Tiempos de Almacenaje en refrigeración	Tiempo que la fruta va permanecer en condiciones de refrigeración	Tiempo de almacenaje	2 semanas 4 semanas	Razón
Y1 Características físico-químicas	Las características que determinan la condición de la fruta a nivel de su forma y composición.	Pérdida de peso	g	Razón
		Humedad	%	
		Textura	kg/cm ²	Razón
		Densidad	g/ml	
		Sólidos solubles	°brix	
		Acidez total	%	
		pH	---	
		Índice de madurez	°brix/% Ac	
Y2:Características sensoriales	Conjunto de estímulos que interactúan con los receptores de los órganos de los sentidos.	Color	adimensional	Razón
		Olor		
		Sabor		
		Textura		
		Aceptabilidad		

Fuente: Elaboración propia (2016)

CAPÍTULO III.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Conceptos generales y definiciones

3.1.1 Origen y distribución de la tuna

La tuna (*Opuntia ficus indica*) es una planta de gran importancia en los sistemas agro-pastoriles de los andes peruanos, esta cactácea (Figura 2), se encuentra ampliamente distribuida en el país, especialmente en los valles interandinos donde ha encontrado condiciones adecuadas para su establecimiento. Sus frutos son consumidos en forma natural tanto por campesinos como por pobladores locales y son comercializados en los principales mercados del país. Con éstos también se elaboran productos derivados como mermeladas y bebidas. Sus tallos se utilizan como forraje para el ganado, especialmente en épocas de sequía, igualmente son útiles en el establecimiento de cercos vivos y cuando la planta muere, sus restos se usan para la elaboración de fertilizantes orgánicos. Pero el uso más frecuente que se le da a esta planta es como hospedera para la crianza de un insecto conocido como cochinilla, en cuyo interior se produce el carmín, pigmento natural usado en la industria alimenticia, textil y farmacéutica (Rodríguez, 2006).



Figura 2. Arquitectura de planta adulta de tuna mostrando las pencas que forman el tallo y dan origen a los frutos
Fuente: <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files>.

3.1.2 Clasificación taxonómica de la tuna

La clasificación taxonómica de la tuna según Solano (2000), es la siguiente:

- Reino : Vegetal
- Sub reino : Phanerogamae
- División clase : Angiospermae
- Sub clase : Dicotyledoneae
- Orden : Cactales
- Familia : Cactáceas
- Sub familia : Opunticidas

- Género : Opuntia.
- Especie : (*Ficus indica* M.)
- Nombre científico : (*Opuntia ficus indica*)
- Nombre común : Tuna

3.1.3 Importancia

La tuna (*Opuntia ficus indica*) o nopal, es una fruta que se cultiva desde tiempos remotos en nuestro país, encontrándose rastro de ella en textiles de las culturas Huari, Tiahuanaco, Chimú e Inca. Habita en las zonas desérticas de EE.UU., México y América del Sur, en Perú y Bolivia en donde se encuentra más cultivo de esta fruta en la región Andina, donde se desarrolla en forma espontánea y abundante. También se encuentra en la costa, en forma natural y bajo cultivo. El uso del nopal en México se inició con las antiguas civilizaciones mesoamericanas a través de la recolección de tallos, frutos y flores de Opuntia, los cuales fueron utilizados por diversas tribus del norte, centro y sur de México, como uno de los alimentos básicos de su dieta. Las tunas eran consumidas por los indígenas como fruta fresca o secada al sol, al igual que cocidas y machacadas. Sobre su origen se suscitaron algunas discrepancias, pues muchos suelen señalar a la tuna como una fruta oriunda de México. En la década del setenta, la escasez de agua determinó que en la sierra de Lima (Huarochirí), se empiece a

sembrar tuna (para obtener “tuna fruta”) reemplazando al cultivo de durazno y ciruelos. La tuna (*Opuntia ficus indica*) fue llevada por los españoles a Europa y desde allí distribuida hacia otros países del mundo (Ámaya, 2009).

3.1.4 Valor nutricional

Dentro de la composición química del fruto de tuna (Tabla 2), se debe mencionar inicialmente el alto contenido de agua, que es del orden del 90 al 92,5%. Entre los minerales que contiene, los principales son el calcio y el potasio además del sílice, sodio y pequeñas cantidades de hierro, aluminio, y magnesio, entre algunos otros (La tuna es considerado como una buena fuente de calcio, ya que en 100 g de hay cerca de 80 miligramos de este mineral). La tuna contiene, también, en varias proporciones, diferentes glúcidos o carbohidratos y componentes nitrogenados. El nopal es rico en fibras, vitaminas (A, B, B2, C y K), riboflavina, vitamina B6, clorofila y proteínas. En lo que respecta al valor nutricional, de los cladodios, se puede decir que en 1 taza de cladodios crudos (86 g aproximadamente) hay 2,9 g de hidratos de carbono y 1,1g de proteína y solamente 17 kcal (Amaya, 2009).

Tabla 2. Valor nutricional de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) de 100 g de porción comestible.

Concepto	Contenido
Porción comestible	78,00
Energía (Kcal)	27,00
Proteína (g)	1,70
Grasas (g)	0,30
Carbohidratos (g)	5,60
Calcio(mg)	93,00
Hierro(mg)	1,60
Tiamina(mg)	0,03
Riboflavina (mg)	0,06
Niacina (mg)	0,03
Ac. Ascórbico (mg)	8,00

Fuente: Reyes & Lavín, (2004)

3.1.5 Variedades de tuna

Las variedades de tunas existentes se diferencian por la coloración del fruto de tuna y por la presencia o ausencia de espinas esto es muy variable a continuación se describe (Amaya, 2009).

a) Por la coloración del fruto

- Blanca o verde: Dulce, cristalina jugosa, con espinas.

- Amarilla o anaranjada: Muy dulce, muchas semillas, con espinas.
- Roja o guinda: Grande, delicada, arenosa, con espinas.

b) Por la presencia de espinas

- Espinosas.
- Semi- espinosas.
- Sin espinas.

3.1.6 Producción nacional

De las 24 regiones que tiene el país, 15 producen tuna, mayormente en forma silvestre, siendo Cusco el líder en la materia, con un rendimiento de 15 tn/ha, tal como se aprecia en el (Tabla 3) (Gerencias/Direcciones Regionales de Agricultura (2016)).

3.1.7 Producto departamental

A nivel regional de Tacna, la producción de tuna para el año 2017 alcanzó 972 tm (Tabla 4) con una superficie cultivada de 91 has y un rendimiento de 10,68 kg/ha. Siendo la provincia de Tarata donde se concentra la mayor producción (Anuario Estadístico Agrario Sub-Región, 2017).

Tabla 3. Producción, superficie cosechada y rendimiento promedio de tuna, según departamento, 2016

Región	Producción (t)		Superficie (ha)		Rendimiento (t/ha)	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Total nacional	94082	88037	13112	13720	7	6
La Libertad	1217	1245	220	256	6	5
Cajamarca	676	606	175	174	4	3
Ancash	3262	2306	280	260	12	9
Lima	13636	14088	1381	1627	10	9
Lima Metropolitana	678	702	58	58	12	12
Ica	237	3800	141	1421	2	3
Huánuco	267	198	87	78	3	3
Pasco	43	17	5	5	9	3
Junín	169	173	26	25	6	7
Huancavelica	9171	8162	1696	1812	5	5
Arequipa	7954	6374	1853	1855	4	3
Moquegua	2349	2059	403	405	6	5
Tacna	816	842	86	88	9	10
Ayacucho	19093	18180	3514	2450	5	7
Apurímac	6742	6418	1616	1635	4	4
Cusco	27773	22867	1571	1571	18	15

Fuente: Gerencias/Direcciones Regionales de Agricultura (2016)

Tabla 4. Producción, superficie cosechada y rendimiento promedio de Tuna en Tacna según provincia y distrito año 2017

REGIÓN/SUBREGIÓN	PRODUCCIÓN ANUAL (t)		SUPERFICIE COSECHADA (ha)		RENDIMIENTO (kg/ha)	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017
1. TACNA	---	---	---	---	---	---
Tacna	---	---	---	---	---	---
Calana	---	---	---	---	---	---
Inclán	---	---	---	---	---	---
Pachía	---	---	---	---	---	---
Palca	---	---	---	---	---	---
Pocollay	---	---	---	---	---	---
Sama	---	---	---	---	---	---
2. JORGE BASADRE	---	---	---	---	---	---
Locumba	---	---	---	---	---	---
Ilabaya	---	---	---	---	---	---
Ite	---	---	---	---	---	---
3. TARATA	842	972	88	91	9568	10 681
Tarata	7	10	1	3	7000	3333
Estique pampa	---	---	---	---	---	---
Estique pueblo	3	3	1	1	3000	3000
Héroes Albarracín	147	263	14	14	10 500	18 786
Sitajara	300	280	33	34	9091	8235
Susapaya	220	246	22	22	10 000	11 182
Tarucachi	---	---	---	---	---	---
Ticaco	165	170	17	17	9706	10 000
4. CANDARAVE	---	---	---	---	---	---
Candarave	---	---	---	---	---	---
Cairani	---	---	---	---	---	---
Camilaca	---	---	---	---	---	---
Curibaya	---	---	---	---	---	---
Huanuara	---	---	---	---	---	---
Quilahuani	---	---	---	---	---	---

Fuente: Anuario Estadístico Agrario Sub-Región (2017)

3.2 Enfoques teóricos-técnicos

3.2.1 Fenología y desarrollo de los frutos

La evolución del desarrollo y maduración de frutos de tuna (*Opuntia ficus indica* M.), se refiere que la fenología de las plantas está relacionada al clima (temperatura, radiación y humedad). Comprende fenómenos biológicos como la brotación de yemas, la inflorescencia y la maduración de los frutos (Amaya, 2009).

Es indispensable reconocer cada uno de estos cambios biológicos para identificar los momentos clave para la toma de decisiones en relación al manejo del cultivo (fertilización, irrigación, poda, aplicación de hormonas, control de enfermedades, etc.), por lo tanto, es importante identificar la iniciación y finalización de la floración, la iniciación de la fase de fructificación y la duración del período de desarrollo del fruto. El ciclo de desarrollo de los frutos de tuna (Figura 3) a partir del inicio de floración en la planta hasta la completa maduración del fruto y el punto máximo de desarrollo y la madurez fisiológica de los frutos se obtiene 80 días después de la antesis (Amaya, 2009).

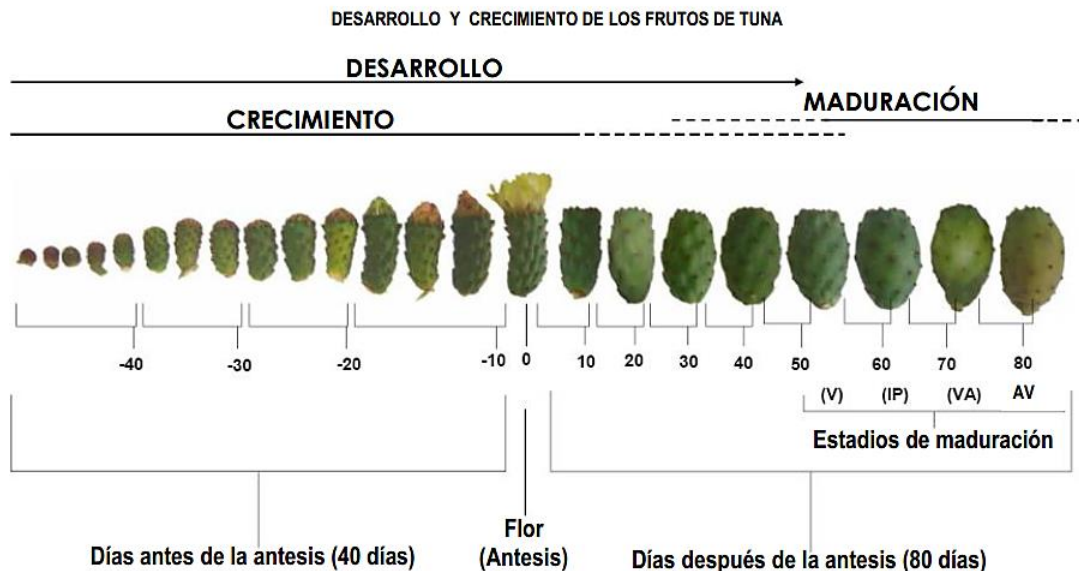


Figura 3. Desarrollo y crecimiento de los frutos de tuna
Fuente: Amaya, (2009).

3.2.2 Maduración del fruto

El estudio de los procesos relacionados con el desarrollo de los frutos es de gran importancia para establecer los índices de madurez y adecuación de las estrategias de cosecha, como también para establecer técnicas adecuadas de conservación poscosecha, capaces de aumentar la vida útil, orientada a un mejor aprovechamiento del potencial de comercialización del fruto. La madurez fisiológica corresponde al momento en que el fruto acumula la mayor parte de las reservas. El conocimiento de los estadios de madurez, es importante para planificar la cosecha, siendo el contenido de azúcares un indicador de madurez, siendo el clima uno de los factores que más influyen en el acumulo de azúcares (Amaya, 2009).

Los índices de cosecha son determinados por medios visuales, físicos, químicos y fisiológicos. Los medios visuales incluyen el color y la forma; los métodos físicos a través de la medida de firmeza en la pulpa, del peso, diámetro; los métodos químicos por medio de la determinación del almidón por el yodo, determinación de sustancias insolubles en alcohol (almidón, celulosa, pectina y proteínas) y los métodos fisiológicos a través de los niveles de respiración y de la producción de etileno. Uno de los estadios más comunes del desarrollo de madurez para los frutos de *Opuntia sp.* (Figura 4) pueden ser descritos de la siguiente forma: estadio 1 (VC) verde claro; estadio 2 (IP) inicio de la pigmentación; estadio 3 (AP) amarillo predominante; estadio 4 (AA) amarillo anaranjado y estadio 5 (NR) naranja rojizo (Amaya, 2009).



Figura 4. Estadios del fruto de la tuna.
Fuente: Amaya, (2009).

3.2.3 Poscosecha

3.2.3.1 Definición

La poscosecha es “toda labor realizada después de la cosecha para acondicionar los alimentos, ya sean frutos, hortalizas, cereales, con destino a su consumidor directo o para ser procesados”. También se define la poscosecha como el intervalo de tiempo transcurrido entre la madurez del cultivo y su consumo (Terranova, 1995).

3.2.3.2 Fisiología de la maduración

Fisiológicamente la recolección equivale a un trauma, debido a la dolorosa separación del fruto de la planta, sometándose a un estrés que determina cambios esenciales en el metabolismo y por ende cambios bioquímicos y fisiológicos, reflejados en las características del producto. El fruto alcanza su máximo grado de desarrollo cuando llega a su tamaño definitivo, una vez terminado el crecimiento en tamaño y en el número de sus células constituyentes (Acuña, 2003).

Las frutas son estructuras vivas que después de la recolección continúan desarrollando sus procesos metabólicos y manteniendo sus sistemas fisiológicos. Toman oxígeno del aire y desprenden dióxido de carbono, agua, sustancias volátiles y calor. Tras la recolección continúan

respirando y transpirando; y como han perdido su fuente de agua, productos de la fotosíntesis y minerales dependen de sus reservas alimenticias y de su contenido de agua. Esta actividad fisiológica puede conducir a la disminución de su calidad o en otros casos alcanzar su grado de maduración (Acuña, 2003).

3.2.3.3 Respiración

Es el proceso metabólico que consiste en la degradación por oxidación de las sustancias que por lo general se encuentran presentes en las células (almidón, azúcares y ácidos orgánicos), dióxido de carbono y agua con liberación de energía y otras moléculas utilizadas para reacciones de síntesis celular. Para desarrollar todas las reacciones que determinan la maduración, así como el mantenimiento de la actividad celular se necesita energía a partir de la respiración (Terranova, 1995).

3.2.3.4 Transpiración

Las frutas y hortalizas frescas se componen principalmente de agua (80% o más) y en la etapa de crecimiento tienen un abastecimiento abundante de agua a través del sistema radicular de la planta. Con la cosecha, este abastecimiento de agua se corta y el producto debe sobrevivir de sus propias reservas. Al mismo tiempo que ocurre la

respiración, el producto cosechado continúa perdiendo agua hacia la atmósfera, tal como lo hacía antes de la cosecha, por un proceso conocido como transpiración (Acuña, 2003).

3.2.3.5 Maduración

En las frutas la maduración es la secuencia de cambios en color, sabor y textura. Los cambios asociados con la maduración implican pérdida de clorofila, aparición de otros pigmentos, cambios en la acidez, astringencia y dulzor, cambios en el contenido de ácido, fenoles, azúcares y compuestos volátiles y cambios en la textura (Terranova, 1995).

3.2.3.6 Madurez fisiológica

La madurez fisiológica se refiere a la etapa del desarrollo de la fruta u hortaliza en que se ha producido el máximo crecimiento y maduración. Generalmente está asociada con la completa madurez de la fruta. La etapa de madurez fisiológica es seguida por el envejecimiento. No siempre es posible distinguir claramente las tres fases del desarrollo del órgano de una planta (crecimiento, madurez y envejecimiento) porque las transiciones entre las etapas son a menudo muy lento y poco diferenciado (FAO, 1987).

Una fruta se encuentra fisiológicamente madura cuando ha logrado un estado de desarrollo en el cual esta puede continuar madurando normalmente para consumo aun después de cosechada, esto es una característica de las frutas climatéricas como el plátano y otras que se cosechan verde-maduras y posteriormente maduran para consumo en post cosecha. Las frutas no climatéricas, como los cítricos, y la tuna no maduran para consumo después que se separan de la planta (FAO, 2000).

3.2.3.7 Madurez comercial

La madurez comercial está dada por las condiciones de un fruto requerido por un mercado, comúnmente guarda escasa relación con la madurez fisiológica y puede ocurrir en cualquier fase del desarrollo (Terranova, 1995).

3.2.3.8 Madurez hortícola

Es el estado de desarrollo en que la fruta se encuentra apta para su consumo u otro fin comercial. La madurez hortícola puede coincidir o no con la madurez fisiológica (Terranova, 1995).

3.2.3.9 Madurez de consumo u organoléptica

Estado de desarrollo en que la fruta tiene las características deseables para su consumo (color, sabor, aroma, textura, composición interna) (FAO, 2000).

3.2.3.10 Senescencia

Es la etapa de desarrollo en que los procesos bioquímicos de síntesis dan paso a los degradantes que conducen al envejecimiento y muerte. Como consecuencia las frutas se vuelven insípidas, la textura blanda y se hacen susceptibles al ataque de microorganismos. El crecimiento y maduración de la fruta se completa cuando ésta permanece unida a la planta, pero la maduración organoléptica y la senescencia pueden proseguir una vez separada de ella (Terranova, 1995).

3.2.4 Derivados y usos

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) tiene muchísimos usos, utilizándose la totalidad de la planta en alimentación y en la industria; además la fruta tiene una buena aceptación en el mercado nacional e internacional, mostrando alto contenido de minerales y algunas vitaminas, entre sus usos podemos enumerar (Torres, 2008).

- a) En la alimentación humana: brotes tiernos, fruta de mesa, colorantes de alimentos, para la industria alimentaria en néctares, jaleas, mermeladas, almíbares, mieles, etc.
- b) En química industrial: caucho sintético, mucílagos, adherentes, anticorrosivos, gomas y otros.
- c) En aspectos pecuarios: en apicultura, semillas molidas (por su alto contenido de aceites), forraje proveniente de las pencas y frutos, y como sustento de la cochinilla.
- d) En protección de parcelas: en la conformación de setos vivos. conservación de suelos: mejoramiento y protección de suelos.

3.2.5 La metodología de superficie de respuesta

Algunas veces hay experimentos con los que no se obtienen las respuestas buscadas, o el nivel de mejoras logrado no es suficiente, por lo que es necesario experimentar de manera secuencial hasta encontrar el nivel de mejoras deseado. En este caso, se recomienda que después de una primera etapa experimental quizá sea necesario desplazar la región experimental en una dirección adecuada, o bien, explorar en forma más detallada la región experimental inicial. La forma de realizar ambas cosas es parte de la llamada metodología de superficie de respuesta (MSR) (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

3.3 Marco referencial

En el trabajo titulado “Efecto del Almacenamiento a Diferentes Temperaturas sobre la Calidad de tuna Roja *Opuntia ficus indica*” de Ochoa y Guerrero (2010) estudiaron el efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja. El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de la temperatura de almacenamiento y humedad relativa sobre las características fisicoquímicas, enzimáticas, antioxidantes y microbiológicas de tuna roja variedad San Martín. El fruto se almacenó a 4, 9 y 28°C para determinar su vida útil. Realizaron semanalmente la caracterización fisicoquímica, enzimática, antioxidante y microbiológica durante el almacenamiento, hasta observar características no aptas para el consumo. Se observó que el tiempo y la temperatura de almacenamiento son factores que afectan de manera significativa ($P < 0,05$) a la pérdida de peso, la textura y la actividad de la polifenoloxidasa en cáscara de tuna. Se concluyó que las bajas temperaturas de almacenamiento ayudan a aumentar la vida útil de la tuna roja San Martín, disminuyendo la pérdida de peso, resistencia a la penetración, el oscurecimiento enzimático y la actividad microbiana. Esta investigación podría ayudar a los productores a seleccionar la temperatura de almacenamiento de la tuna roja San Martín, ya que la tuna se mantuvo con buen aspecto físico hasta los 28 días de almacenamiento.

En el trabajo titulado “Manejo poscosecha de dos variedades de Tuna (*Opuntia ficus indica*) Producida en el Valle del Chota”, Ponce y Vela (2010) recolectaron frutos de la variedad blanca y amarilla, de Ibarra-Ecuador y clasificaron según su color en 50% y 75% pintón, y llevaron a las frutas a un almacenamiento a temperatura ambiente 24°C y de refrigeración (4°C). Se determinó que la variedad amarilla en estado de madurez 50% pintón tuvo las mejores características en fruta fresca. La variedad blanca en estado de madurez 75% pintón y lavada con hipoclorito de sodio (150ppm) fue la que tuvo mayor tiempo de vida útil con seis semanas en refrigeración y con las mejores características.

Ferradas et al. (2012), evaluaron el efecto de la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre el color, la textura y el contenido de aceite en palta (*Persea americana* Mili) Hass. Las paltas, recién cosechadas, se almacenaron a 2-8 °C, durante 7-21 días, después de lo cual, se evaluó el color, la firmeza y el contenido de aceite. La metodología de Superficie de Respuesta fue utilizada, con el Diseño Central Compuesto de Segundo Orden de Superficie de Respuesta, con 11 ensayos. Se dedujo ecuaciones matemáticas, para predecir las variables dependientes. Y los rangos de tiempo y temperatura fueron significativas en el contenido de aceite y firmeza.

Condori (2017) evaluó el efecto de la adición de sales de calcio en la mejora de las propiedades fisicoquímicas y la conservación de dos variedades de tuna, blanca y morada (*Opuntia ficus indica*). Se aplicó las sales de calcio (cloruro de calcio y lactato de calcio) al 2% y 3%, se planteó cuatro tratamientos por cada variedad los cuales fueron: T1, T2, T3 y T4, a su vez se determinó la vida útil, mediante la ecuación de orden de reacción cero consideró una pérdida de 8% como máximo almacenado en refrigeración a 5°C; 15°C y 25°C. La tuna variedad blanca a 15 días de almacenamiento tuvo una pérdida de peso de: 9,58%; firmeza 3,48 kg/cm²; sólidos solubles 11,95 °Brix; acidez 0,065% de ácido cítrico; vitamina C 20,36 mg/100g, y en la capacidad antioxidante con 2,522 μmol eq. de trolox/g., no se encontró cambios significativos. Respecto a la tuna de variedad morada también presento similares resultados hasta los 15 días de almacenamiento los cuales fueron: una pérdida de peso de: 10,45%; firmeza 2,95 kg/cm²; sólidos solubles 11,73 °Brix; acidez 0,057% de ácido cítrico; vitamina C 22,29 mg/100 g, y no hubo diferencias en la capacidad antioxidante, el resultado fue de 3,080 μmol eq. de trolox/g. respecto a la vida útil, en la variedad blanca se obtuvo un tiempo calculado de 16 días a 5°C al 3% de cloruro de calcio, y para la variedad morada con una vida útil de 15 días a 5°C al 3% de cloruro de calcio.

CAPÍTULO IV.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es de nivel explicativo pues su finalidad está dirigida a la comprensión de la relación causa y efecto de las variables en estudio y cuyos resultados servirán para aplicarla en la conservación del fruto investigado.

Según el énfasis en la naturaleza de los datos manejados es cuantitativa, ya que la preponderancia de los datos se basa en la cuantificación y cálculo de los mismos.

4.1.2 Diseño de la investigación

Es experimental, debido a la utilización de variables de mediciones tanto independientes como dependientes. Se utilizó el diseño factorial de $3 \times 3 \times 2$ con 18 tratamientos.

El primer factor a estudiar es A: estadios de madurez (2; 3 y 4), segundo factor a estudiar es B: Temperaturas de refrigeración (3° C, 6°C, 9°C) y el tercer factor C: tiempo de almacenaje (2 semanas, 4 semanas).

Tabla 5. Matriz de tratamientos para el diseño factorial 3x3x2

Tratamientos	X1: Estadio de madurez	X2: Temperatura (°C)	X3: Tiempo (Semanas)
1	2	3	2
2	2	3	4
3	2	6	2
4	2	6	4
5	2	9	2
6	2	9	4
7	3	3	2
8	3	3	4
9	3	6	2
10	3	6	4
11	3	9	2
12	3	9	4
13	4	3	2
14	4	3	4
15	4	6	2
16	4	6	4
17	4	9	2
18	4	9	4

Fuente: Elaboración propia (2016)

4.2 Población y muestra

4.2.1 Población

La población corresponde a la tuna que se produce en la región de Tacna, provincia de Tarata, distrito Sitajara (Figura 5).



Figura 5. Plantas de tuna del distrito Sitajara
Fuente: Elaboración propia (2017)

4.2.2 Muestra

En la investigación se utilizó 27 tratamientos con 5 repeticiones. De las cuales solo se reportaron 18 tratamientos, debido a que, en la sexta semana, sus respectivos tratamientos se deterioran y ya no fue posible hacer las mediciones fisicoquímicas y sensoriales.

4.3 Materiales y métodos

4.3.1 Método experimental

A continuación, se detalla las principales operaciones llevadas a cabo en la evaluación de madurez y características físico-químicas de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla almacenada en refrigeración

4.3.1.1 Determinación de estadíos de madurez de la tuna

Los índices más recomendados para medir la de madurez de un fruto son el color, la textura, el contenido de sólidos solubles y la acidez (Knee et al., 1989).

El color es un buen índice de madurez en la mayoría de frutas. Existen dos tipos de color: el color de cubrimiento y el color de fondo. El color de fondo (verde, amarillo, naranja) está más bien relacionado con la evolución de la madurez del producto, en cambio el color de cubrimiento (rojo, azul) está más relacionado con la calidad y presentación del producto (Berger, 2004).

Se realizó la investigación para determinar la madurez, de acuerdo a los procesos relacionados con el desarrollo de los frutos, debido a que es de gran importancia para establecer los índices de madurez y adecuación

de estrategias de cosecha; como también para establecer técnicas adecuadas de conservación en poscosecha, capaces de aumentar la vida útil de tuna, orientada a un mejor aprovechamiento del potencial de comercialización del fruto.

4.3.1.2 Proceso de cosecha y poscosecha

La Figura 14, muestra el flujograma de manejo poscosecha de tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla almacenada en refrigeración.

a) Cosecha: La cosecha se realizó en las primeras horas de la mañana, tomando frutos de tres estadios de madurez (Figura 6).



Figura 6. Cosecha de las tunas para experimentación
Fuente: elaboración propia (2017)

b) Corte: El corte (abscisión) manual de la tuna se realizó mediante una combinación de torsión inicial, en la cual se empleó una tenaza de madera, posteriormente una flexión para separarlo de la penca.

- c) Desespinado:** El desespinado se realizó con ayuda de plantas malezas, manualmente, eliminando la mayor parte de las espinas (Figura 7).



Figura 7. Desespinado de las tunas cosechadas
Fuente: elaboración propia (2017)

- d) Selección:** Se seleccionaron los frutos de acuerdo a su estado, los frutos en mal estado se desecharon y se trabajó con los frutos sanos.
- e) Clasificado:** Una vez cosechados, se procedió a la clasificación de los frutos según los estadios de madurez (Figura 8) descrita en el marco teórico del proyecto.



Figura 8. Clasificación de las tunas cosechadas según estado de madurez
Fuente: elaboración propia (2017)

f) Lavado: Se realizó un lavado con solución de hipoclorito de sodio (150 ppm) por 1 minuto, para desinfectar los frutos, ayudar a la remoción de espinas, eliminación de impurezas y a cicatrizar pequeñas heridas que le pueda haber quedado al fruto luego del desespinado (Figura 9).



Figura 9. Lavado de las tunas cosechadas
Fuente: elaboración propia (2017)

g) Pesado: Luego del lavado se procedió a pesar cada tuna para establecer los gramos de cada fruto. Los calibres de las tunas pesadas

se categorizan mayormente en el calibre A (90-105) según la escala propuesta por la Norma mundial del CODEX para la tuna codexstan 186-1993.

- h)** Almacenamiento: Al terminar el lavado se continuó con la identificación de cada fruto, paso seguido se almacenó en condiciones de refrigeración en humedad contralada en un rango de 85% a 90% en refrigeradores acondicionados (Figura 10).



Figura 10. Almacenamiento de las tunas
Fuente: elaboración de propia (2017)

- i)** Análisis: En el almacenamiento se evaluó la aceptabilidad del fruto, y las características fisicoquímicas a saber: pérdida de peso, acidez total, índice de madurez (IM), firmeza, densidad, humedad, pH y sólidos solubles (Figuras 11, 12 y 13).



Figura 11. Análisis físico de las muestras en experimentación
Fuente: elaboración de propia (2017)



Figura 12. Análisis fisicoquímico de las muestras en experimentación
Fuente: elaboración de propia (2017)

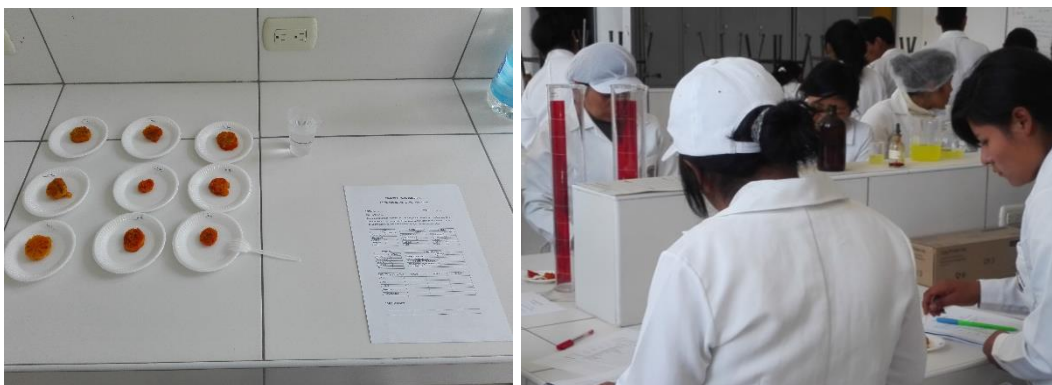


Figura 13. Análisis sensorial de las muestras en experimentación
Fuente: elaboración de propia (2017)

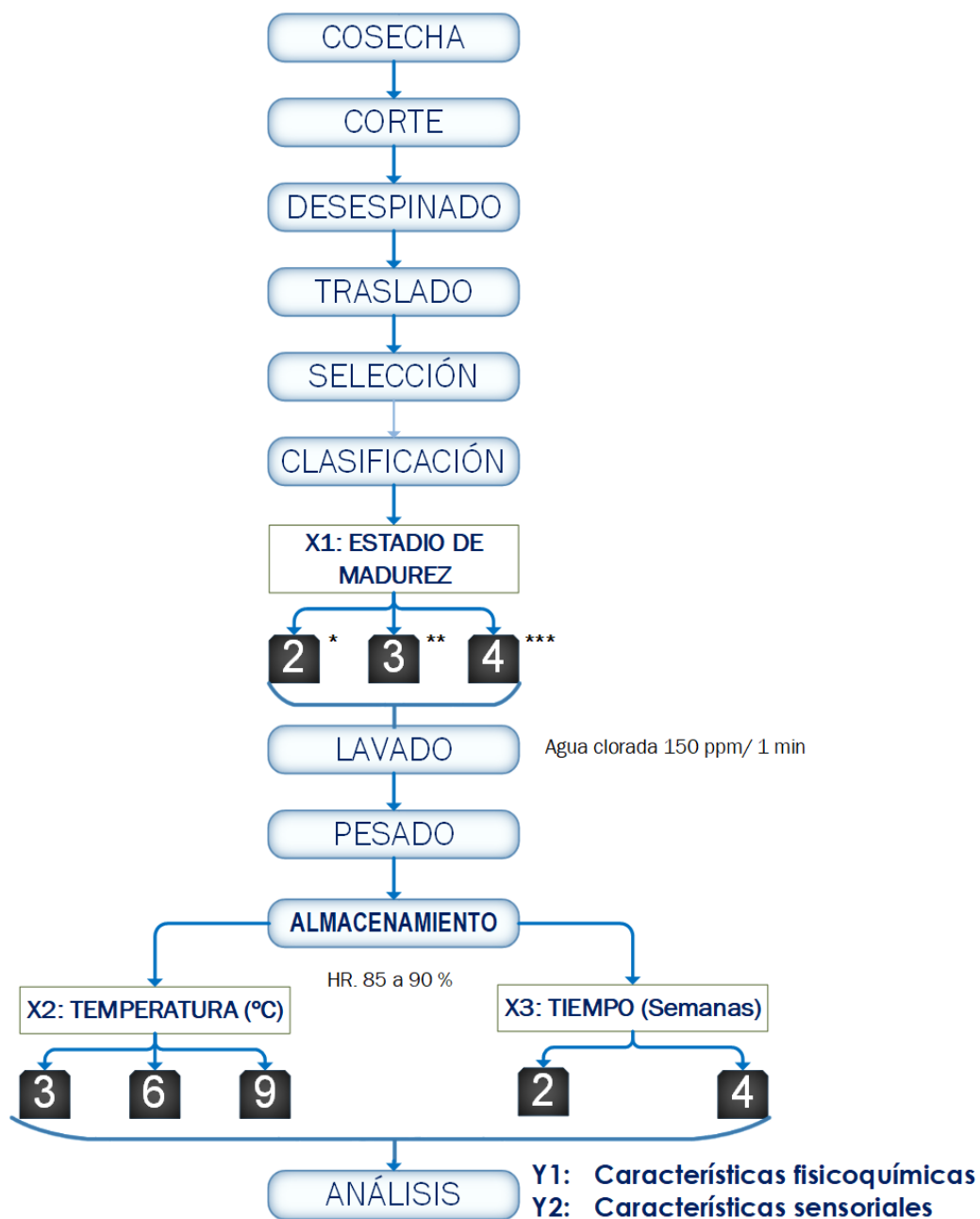


Figura 14. Flujo de evaluación en poscosecha de la tuna variedad amarilla,
 * inicio de pigmentación, ** amarillo predominante, *** amarillo
 anaranjado

Fuente: Elaboración propia (2017)

4.3.2 Materiales y equipos

El estudio se realizó a nivel de laboratorio y en consecuencia se contaron con los siguientes materiales:

4.3.2.1 Materiales de laboratorio

- Pipetas de 5 y 10 ml.
- Matraz de Erlenmeyer 100 y 250 ml.
- Vasos precipitados 25, 50 y 600 ml.
- Probetas graduadas 500 y 100 ml.
- Buretas graduadas 100 ml.
- Placas petri.
- Desecador de vidrio.
- Pisseta de 100 ml.
- Pera de succión.
- Pinzas metálicas.
- Soporte universal.

4.3.2.2 Equipos

- Estufa, marca MEMMERT, 220 voltios, rangos de temperatura de 0°C -220 °C, Alemania.

- Balanza analítica, marca ADAM, Modelo P6W-1502e, precisión 0,01 g, USA.
- Balanza analítica, marca ADAM, Modelo PW21Y. Precisión 0.0001 g, USA.
- Refractómetro, rango de 0-32°Brix a 20°C, modelo RHB-32ATC, Japón.
- Refrigerador, marca COLDEX, capacidad 263 litros, modelo H100, Perú.
- Refrigerador, marca LG, capacidad 130 litros, modelo GC-131S, Perú.
- Higrómetro, marca TECPEL, rangos de temperatura de -50°C + 70°C, rangos de Humedad relativa 20% - 100%, Modelo DTM-303H.
- Termocuplas, marca EXTECH, USA.
- Penetrómetro, marca FORCE GAUGE, modelo PCE- FM 200.
- Potenciometro digital marca Benchtop $\pm 0,01$ hecho en USA.

4.3.2.3 Materia prima

- Tuna variedad amarilla.

4.3.2.4 Reactivos

- Hidróxido de sodio 0,1 N.
- Fenolftaleína al 1% de solución alcohólica.
- Agua destilada.

4.3.3 Métodos de análisis

4.3.3.1 Análisis físico-químico del fruto de tuna

- Peso:** Se determinó la pérdida de peso con ayuda de una balanza analítica realizando el pesado del fruto de tuna tomando la muestra al azar, expresado en porcentaje (pérdida de peso por transpiración/ peso inicial de la fruta tuna).
- Sólidos solubles:** Se determinó en el jugo de tuna mediante el refractómetro, variable que permitió determinar la existencia de cambios en los sólidos solubles, al inicio y al final de la evaluación, con el método refractométrico (A.O.A.C. 932).
- Acidez total titulable:** Se determinó utilizando una solución valorada de hidróxido de sodio (NaOH 0,1 N), y fenolftaleína como indicador. Se informó el porcentaje como ácido cítrico, con el método (A.O.A.C. 942,15).
- Índice madurez:** Se expresó como el cociente de sólidos solubles totales (% p/p) y acidez titulable de la fruta (% p/p).

$$IM = \frac{^{\circ}Brix}{\%AT}$$

- e) **Densidad:** Se determinó por la relación del peso del fruto y en volumen de agua desplazado en una probeta.
- f) **Humedad:** La humedad se determinó por diferencia de peso en el secado de la muestra utilizando el método de la estufa con capsula abierta (A.O.A.C., 1990).
- g) **pH:** Para la medición del pH se usó un potenciómetro digital, previa calibración con buffer pH 7 y buffer pH 4, se enjuagó el electrodo con agua destilada y se secó cuidadosamente, posteriormente el electrodo se introdujo en la muestra y se leyó el pH, las determinaciones se hicieron por triplicado.

4.3.3.2 Evaluación sensorial

El análisis sensorial se realizó con un grupo de 10 catadores (alumnos y profesores), en base a la prueba de aceptación aplicando la escala hedónica (Anexo 1), realizado con alumnos y profesores de la Escuela de Industrias Alimentarias con conocimiento en las técnicas de “Caracterización mediante escala por atributos”, estando constituida la Planilla de Evaluación por: olor, color sabor, textura y aceptabilidad.

4.3.3.3 Análisis instrumental

Medición de la textura: medidor de fuerza digital PCE- FM 200.

4.3.4 Análisis de datos

Para el análisis de los 18 experimentos ejecutados, se aplicó la metodología de superficie de respuesta, que mediante el análisis de varianza a un nivel de significación de 5% evaluó la significancia de los modelos propuestos, para luego aplicar la optimización multivariable ajustando a una función de respuesta (Función deseada) y así hallar el tratamiento óptimo.

El modelo seleccionado, responde a la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \beta_6 X_2 X_3$$

Donde (Y) es el valor de la respuesta esperada, los β son los parámetros del modelo, X1, X2 y X3 son los factores estudiados.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el software Statgraphics centurión XVI.

CAPÍTULO V. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

5.1 Características fisicoquímicas en poscosecha de la tuna variedad amarilla almacenada en refrigeración

La Tabla 6 muestra los resultados de las características fisicoquímicas de la tuna almacenada según las condiciones experimentales.

Tabla 6. Análisis de condiciones en poscosecha

T	X1: Estadio de madurez	X2: Temperatura (°C)	X3: Tiempo (Semanas)	Pérdida de Peso (%)	Humedad (%)	Densidad (g/cm3)	Firmeza (kg/cm2)	pH	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez (%)	Índice de madurez (°Brix/%A.C.)
1	2	3	2	3,37	83,4	1,051	1,433	6,1	12,87	0,075	171,3
2	2	3	4	7,83	83,8	1,015	1,262	6,3	13,93	0,068	204,2
3	2	6	2	5,01	83,3	0,981	1,313	6,3	13,67	0,067	203,4
4	2	6	4	8,59	84,6	1,033	1,159	6	13,73	0,062	220,2
5	2	9	2	5,08	85,6	1,018	1,242	6,5	13,47	0,066	203,8
6	2	9	4	7,08	83,9	1,057	1,075	6,4	14,13	0,064	219,8
7	3	3	2	3,37	82,6	1,045	1,234	6	13	0,075	173,7
8	3	3	4	7,14	81,8	0,974	1,107	6,1	14,47	0,068	211,9
9	3	6	2	4,02	83,1	1,041	1,183	6,1	14,33	0,067	215,2
10	3	6	4	7,26	82,9	1,05	1,063	6,1	14,07	0,06	232,7
11	3	9	2	4,71	83,6	1,03	1,123	6,1	13,67	0,067	205,5
12	3	9	4	7,06	83,8	0,987	0,968	6,4	14,73	0,066	223,6
13	4	3	2	3,52	83,4	0,974	1,163	5,9	13,87	0,071	196,3
14	4	3	4	8,04	80,5	0,994	1,067	6,2	14,77	0,067	221,6
15	4	6	2	4,98	83,6	1,062	1,06	6,1	14,43	0,064	224,6
16	4	6	4	8,28	82,8	0,987	0,893	6,3	14,3	0,06	238,3
17	4	9	2	6,44	80,9	1,02	1,012	6,4	14,13	0,061	230,2
18	4	9	4	9,15	81,2	0,998	0,829	6,3	15,0	0,059	252,9

Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.1 Pérdida de peso

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 15) puede observarse que la variación del peso de la tuna presenta una relación lineal, directa y significativa con respecto al tiempo, temperatura de almacenamiento y al efecto inverso de la interacción tiempo-temperatura de almacenamiento.

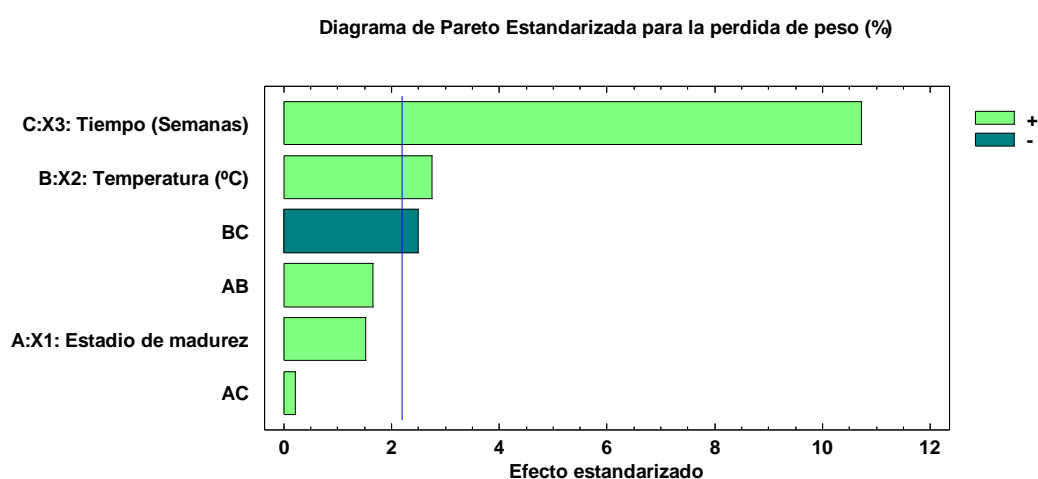


Figura 15. Análisis del diagrama de Pareto para la variación del peso de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

Del análisis de varianza del modelo que explica la variación del peso (Anexo 2), la prueba F (p valor = 0,00 < 0,05) resultó significativa y complementado con un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 92,40 % valor muy cercano a 100 %; estos resultados permiten afirmar que el modelo propuesto es estadísticamente significativo para evidenciar la importancia de las variables de proceso. La Figura 16 es el diagrama de efectos principales donde se muestra la variación del peso en función del

factor más influyente que es el tiempo de almacenamiento, donde se observa que la mayor pérdida del peso ocurrirá a mayor tiempo de almacenamiento en un valor aproximado de 8 %.

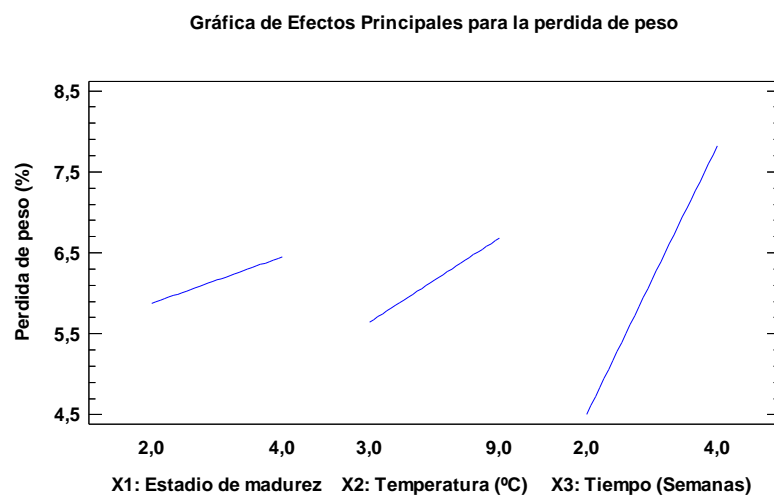


Figura 16. Efecto de los factores principales sobre la variación del peso de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 17 de superficie de respuesta; muestra que la región de mayor pérdida de peso será a mayor estadío de madurez y a mayor temperatura de almacenamiento. Mientras que la tendencia de menores pérdidas de peso se obtiene cuando la temperatura de almacenamiento es menor y cercana a 3°C, bajo las condiciones de almacenamiento de 2 semanas. Bajo las condiciones de almacenamiento de 4 semanas las pérdidas de peso se incrementan, en la Figura 18 se muestra que a mayor estadío de madurez y a mayor temperatura de almacenamiento la pérdida

de peso será superior a 8,4%. Las menores pérdidas de peso se obtienen a menor estadio de madurez.

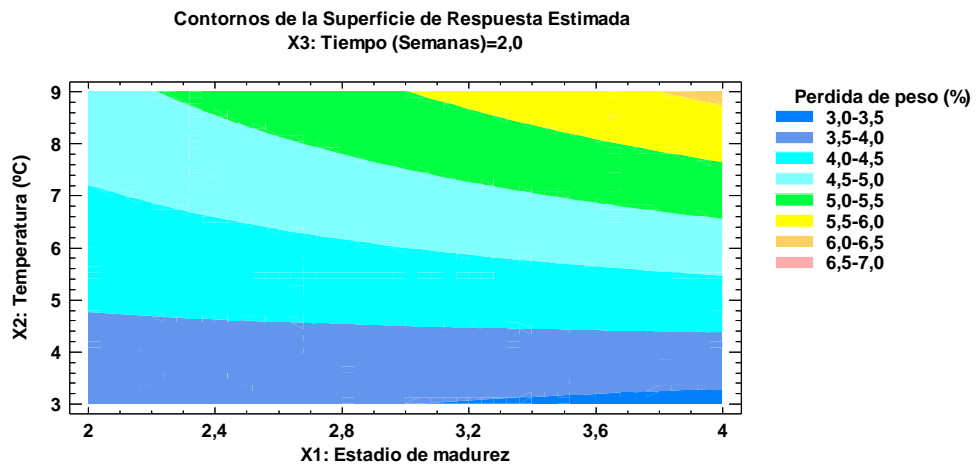


Figura 17. Curvas de superficie de respuesta para la variación del peso de la tuna almacenada a 2 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

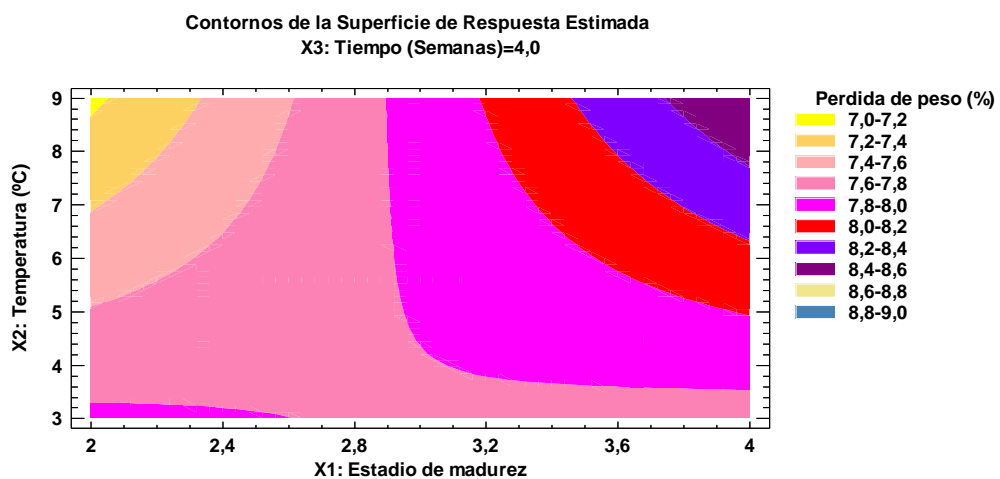


Figura 18. Curvas de superficie de respuesta para la variación del peso de la tuna almacenada a 4 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.2 Humedad

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 19) puede observarse que la humedad presenta una relación lineal, directa y significativa (p valor $< 0,05$) con respecto al estadio de madurez.

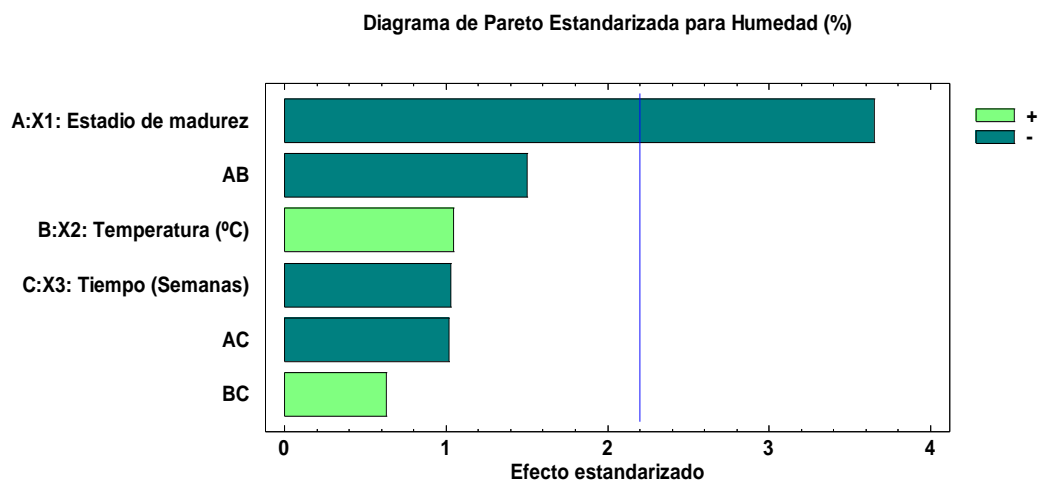


Figura 19. Análisis del diagrama de Pareto para la humedad de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis de varianza aplicado a la variabilidad de la humedad (anexo 5) según la prueba F (p valor = 0,045) resultó significativa. Además, obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 63,45 % valor muy cercano a 100 %; estos resultados obtenidos permiten afirmar que el modelo propuesto es estadísticamente significativo, es decir que las variables de proceso (X_1 , X_2 y X_3) explican el comportamiento de la variación de la humedad de la tuna a escala de laboratorio. A fin de identificar las posibles tendencias de los factores sobre la humedad de la

fruta es que se grafica la Figura 20 de efectos principales, se observa que el estadio de madurez es quien registra mayor variación de la humedad tal es así que a menor estadio de madurez 2, mayor es el contenido de humedad de la tuna.

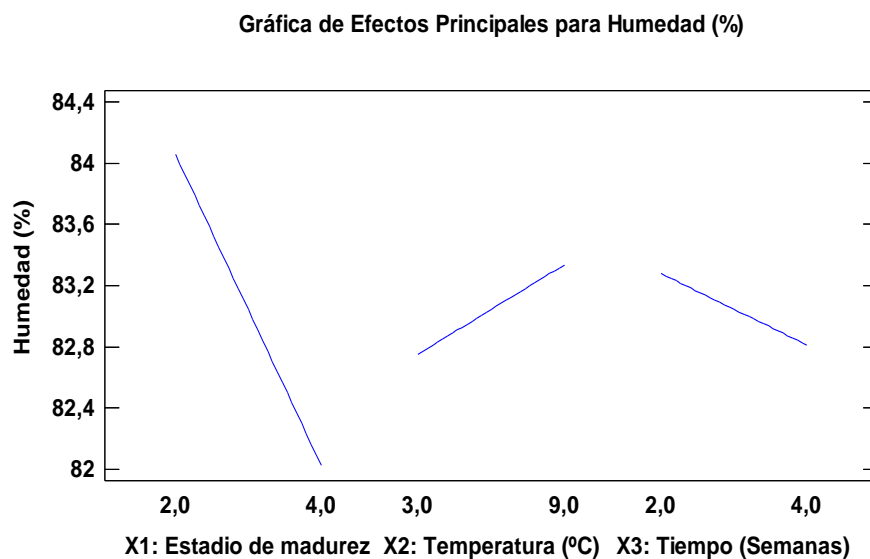


Figura 20. Efecto de los factores principales sobre la humedad de la tuna Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 21 de superficie de respuesta para el almacenamiento a 2 semanas se muestra que la mayor humedad de la tuna se da a menor estadio de madurez y a mayor temperatura de almacenamiento. Mientras que la menor humedad ocurre a mayor estadio y temperatura de almacenamiento. Asimismo, en la Figura 22 a condición de 4 semanas de almacenamiento la tendencia de mayores valores de humedad es muy

similares (80 a 86 %) en comparación al almacenamiento a 2 semanas (81 a 84%).

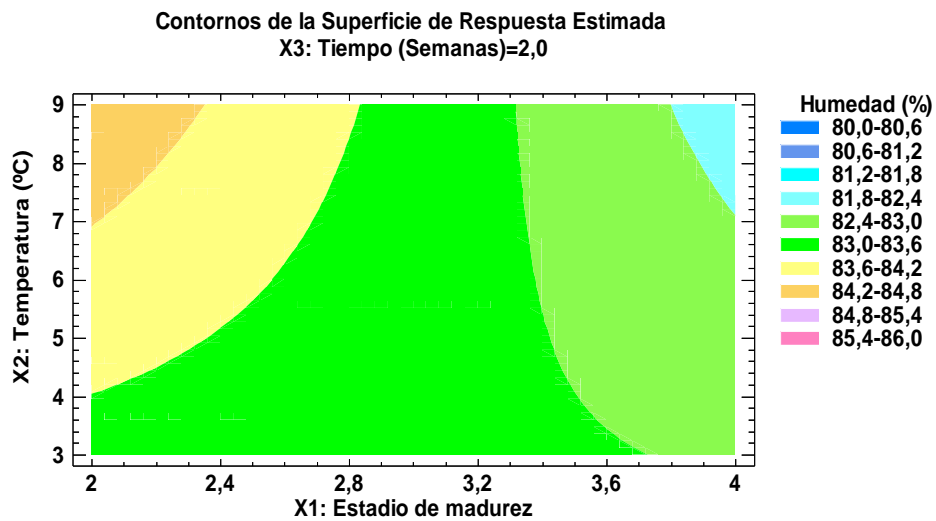


Figura 21. Curvas de superficie de respuesta para la humedad de la tuna almacenada a 2 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

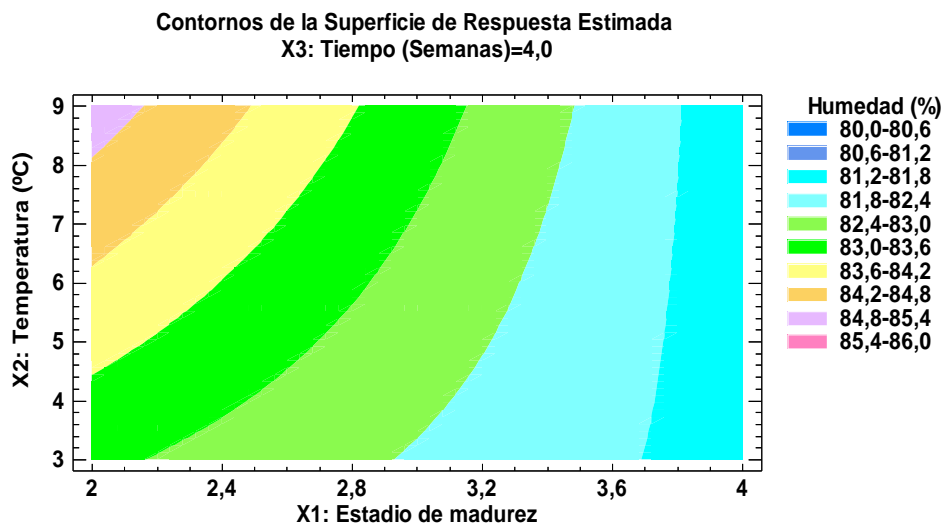


Figura 22. Curvas de superficie de respuesta para la humedad de la tuna almacenada a 4 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.3 Densidad

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 23) puede observarse que en general ningún coeficiente del modelo ajustado para la densidad presentó efecto significativo. Los coeficientes del modelo de regresión resultaron no significativos ($p \text{ valor} \geq 0,05$) para todos los efectos. Aunque se puede destacar el efecto de interacción entre estadio de madurez-tiempo de almacenamiento.

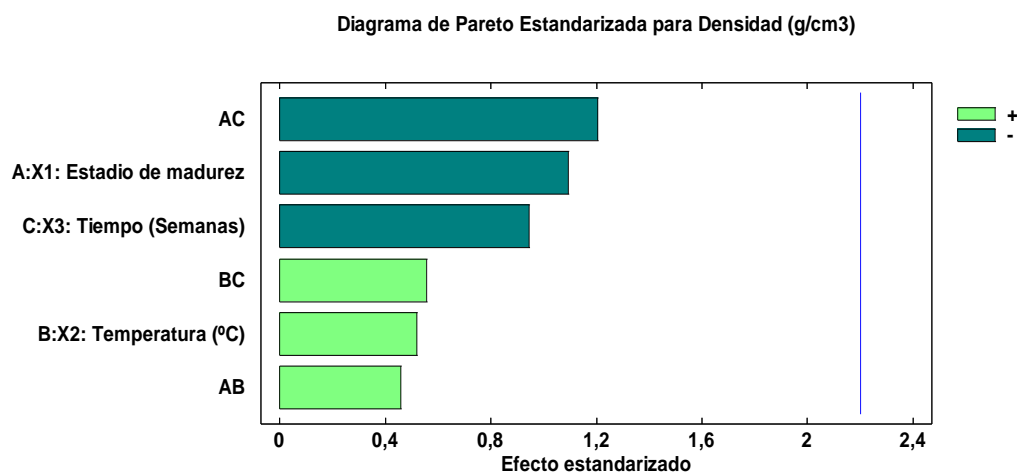


Figura 23. Análisis del diagrama de Pareto para la densidad de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis del modelo, aplicado a la variabilidad de la densidad (anexo 4) según la prueba F ($p \text{ valor} = 0,641$) resultado no significativa, además, se obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 28,27 % valor muy alejado al 100 %; estos resultados permiten afirmar que el modelo propuesto no es estadísticamente significativo, es decir que las variables de proceso no explican necesariamente todo el comportamiento

de la variación de la densidad de la tuna a escala de laboratorio. A fin de identificar las posibles tendencias de los factores sobre la densidad de la fruta es que se grafica la Figura 24 de efectos principales, donde se observa que los tres factores mantienen un rango de poca variación de la densidad y la aparente tendencia que se registró es que una tuna cosechada en estadio de madurez de amarillo predominante y almacenada por 4 semanas disminuirá su densidad, muy probablemente por efecto de la deshidratación.

Gráfica de Efectos Principales para Densidad (g/cm³)

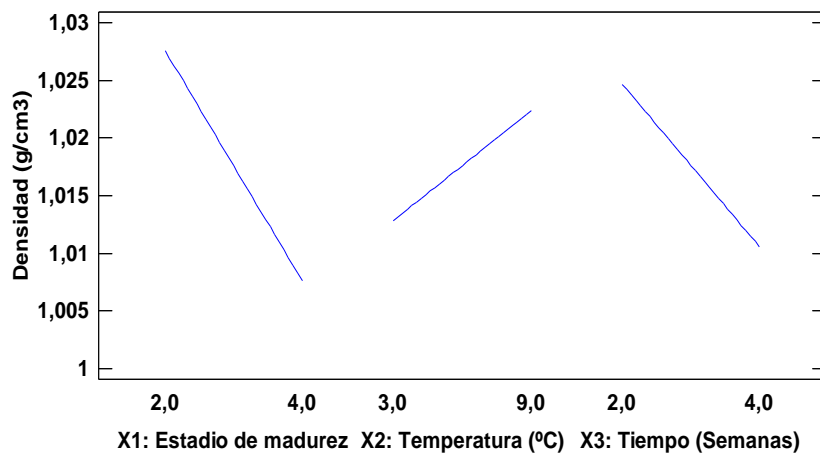


Figura 24. Análisis de efecto de los factores principales sobre la densidad de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.4 Firmeza

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 25) puede observarse que la firmeza presenta una relación lineal, inversa y significativa (p valor $< 0,05$) con respecto al tiempo, temperatura de almacenamiento y estadio de madurez.

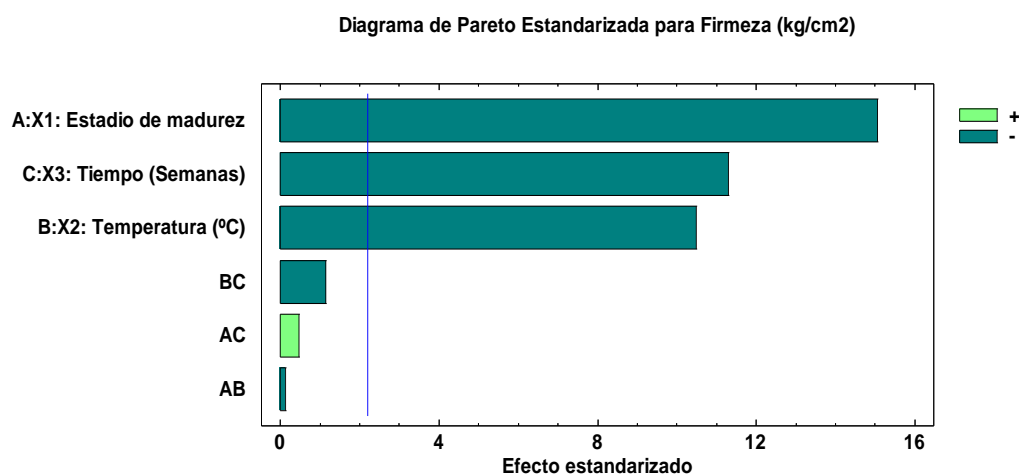


Figura 25. Análisis del diagrama de Pareto para la firmeza de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis de varianza aplicado a la variabilidad de firmeza (anexo 6) según la prueba F (p valor = 0,000) resultó significativa. Además, se obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 97,70 % valor muy cercano a 100 %; estos resultados obtenidos permiten afirmar las variables de proceso (X_1 , X_2 y X_3) son las más importantes para explicar el comportamiento de la variación de la firmeza instrumental de la tuna a escala de laboratorio. A fin de identificar las posibles tendencias de los factores sobre la firmeza de la fruta es que se grafica en la Figura 26 de

efectos principales, se observa que los tres factores mantienen un rango de poca variación de la firmeza con tendencia a disminuir cuando aumenta el estadio de madurez, temperatura y tiempo de almacenamiento.

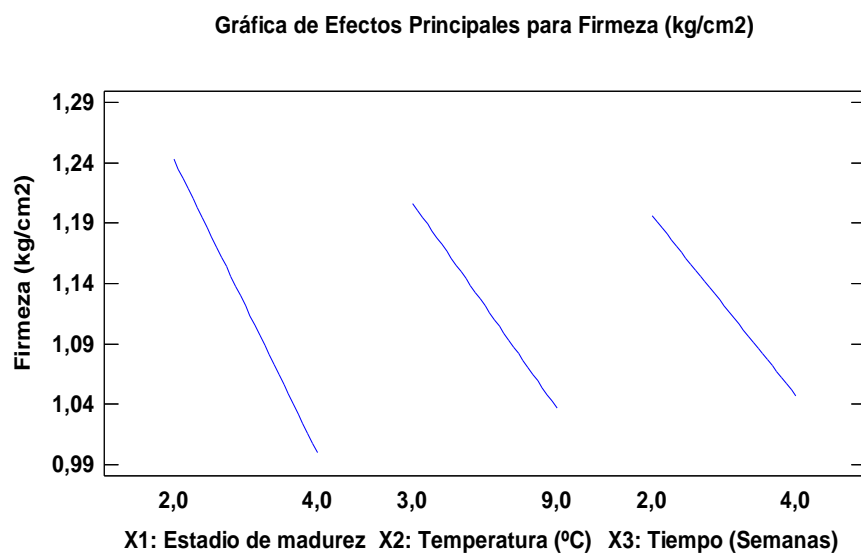


Figura 26. Efecto de los factores principales sobre la firmeza de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 27 de superficie de respuesta para el almacenamiento a 2 semanas, muestra que la mayor firmeza de la tuna será con menor estadio de madurez y a mayor temperatura de almacenamiento. Mientras que la menor firmeza ocurre a mayor estadio de madurez y temperatura de almacenamiento. Asimismo, en la Figura 28 a condición de 4 semanas de almacenamiento la tendencia de que los valores de firmeza (0,8 a 1,3 kg/cm²) son ligeramente menores a la firmeza de las tunas almacenadas a 2 semanas (0,9 a 1,4 kg/cm²).

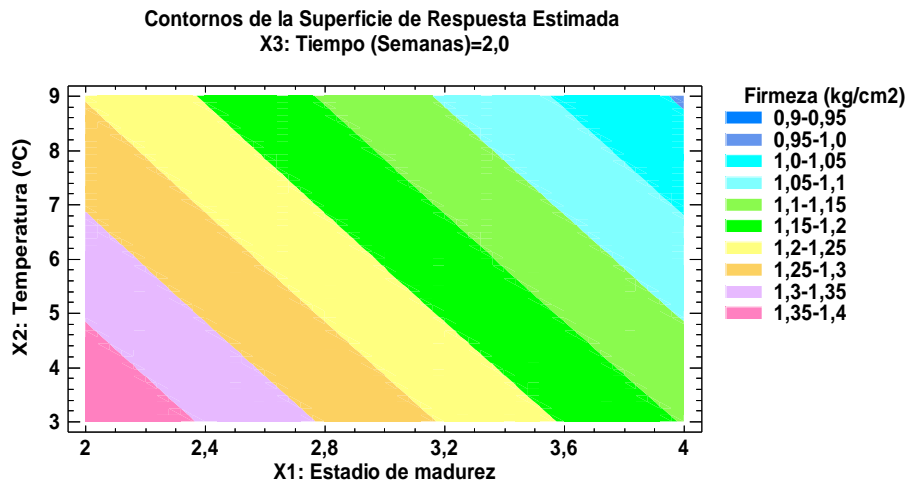


Figura 27. Curvas de superficie de respuesta para la firmeza de la tuna almacenada a 2 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

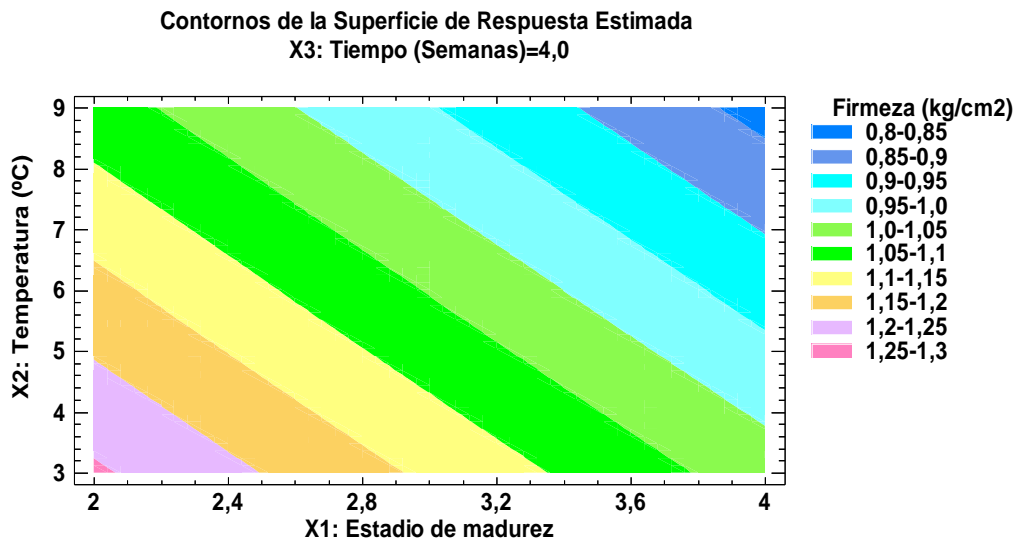


Figura 28. Curvas de superficie de respuesta para la firmeza de la tuna almacenada a 4 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.5 pH

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 29) puede observarse que el pH presenta una relación lineal, directa y significativa (p valor $< 0,05$) con respecto a la temperatura de almacenamiento en refrigeración.

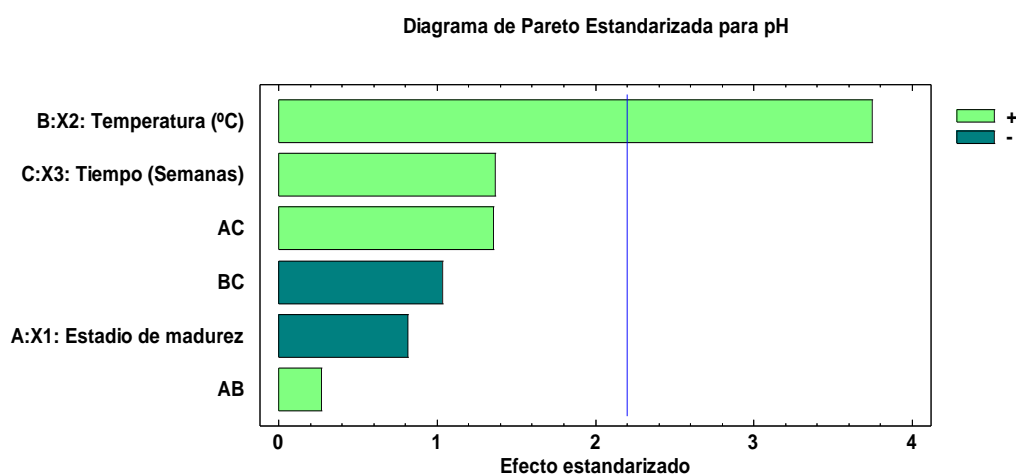


Figura 29. Análisis del diagrama de Pareto para el pH de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis de varianza aplicado a la variabilidad del pH (anexo 9) según la prueba F (p valor = 0,043) resultó significativa. Además, se obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 64,0 % valor muy cercano a 100 %; estos resultados obtenidos permiten afirmar las variables de proceso (X_1 , X_2 y X_3) son importantes para explicar la variación del pH de la tuna a escala de laboratorio.

A fin de identificar las posibles tendencias de los factores sobre el pH final de la fruta es que se grafica la Figura 30 de efectos principales, se observa que la temperatura de conservación provoca una importante variación del pH de la tuna incrementándose de 6 a 6,3.

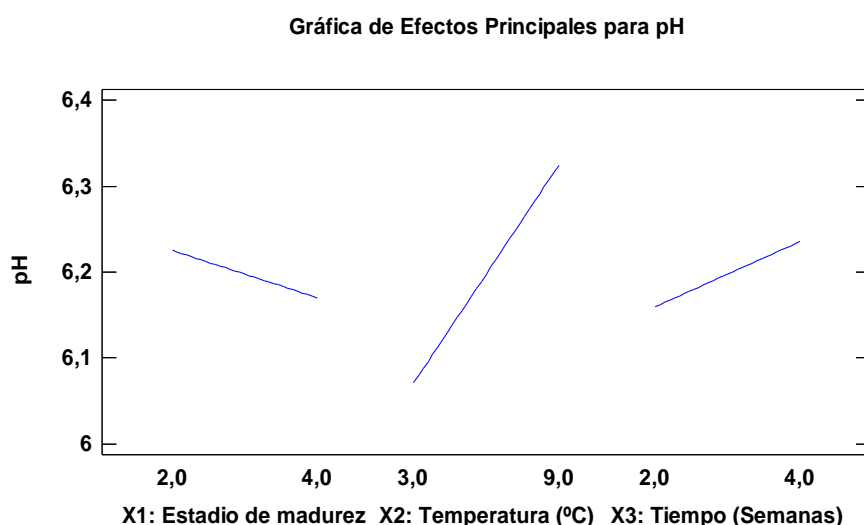


Figura 30. Efecto de los factores principales sobre el pH de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 31 de superficie de respuesta para el almacenamiento a 2 semanas, muestra que un mayor pH de la tuna se alcanza con un menor estadío de madurez y una mayor temperatura de almacenamiento. Mientras que pH bajos se obtiene con tunas en mayor estadío de madurez y menores temperaturas de almacenamiento. Asimismo, en la Figura 32 de condición de 4 semanas de almacenamiento, la tendencia de mayores valores de pH es inversa al de 2 semanas, pues será daré cuando la tuna se cosecha a mayor estadío y almacena a máxima temperatura de refrigeración 9°C.

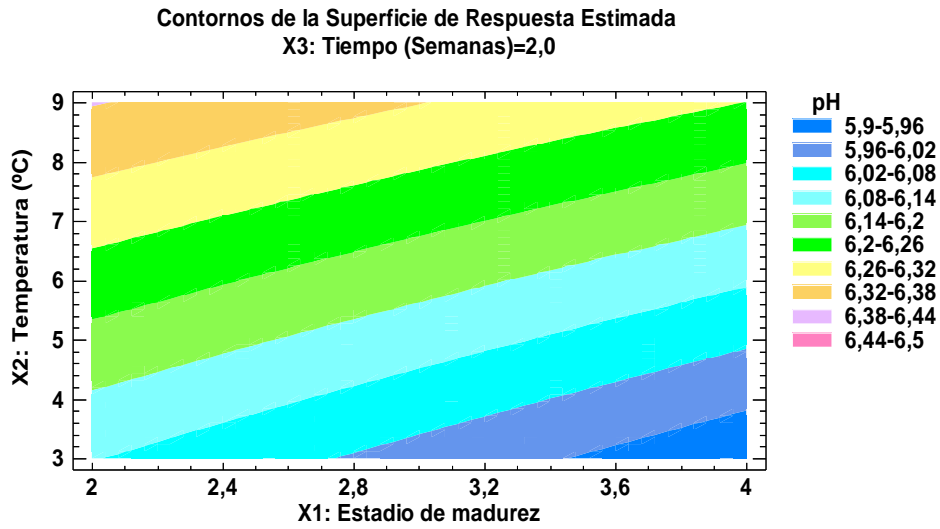


Figura 31. Curvas de superficie de respuesta para el pH de la tuna almacenada a 2 semanas

Fuente: elaboración propia (2017)

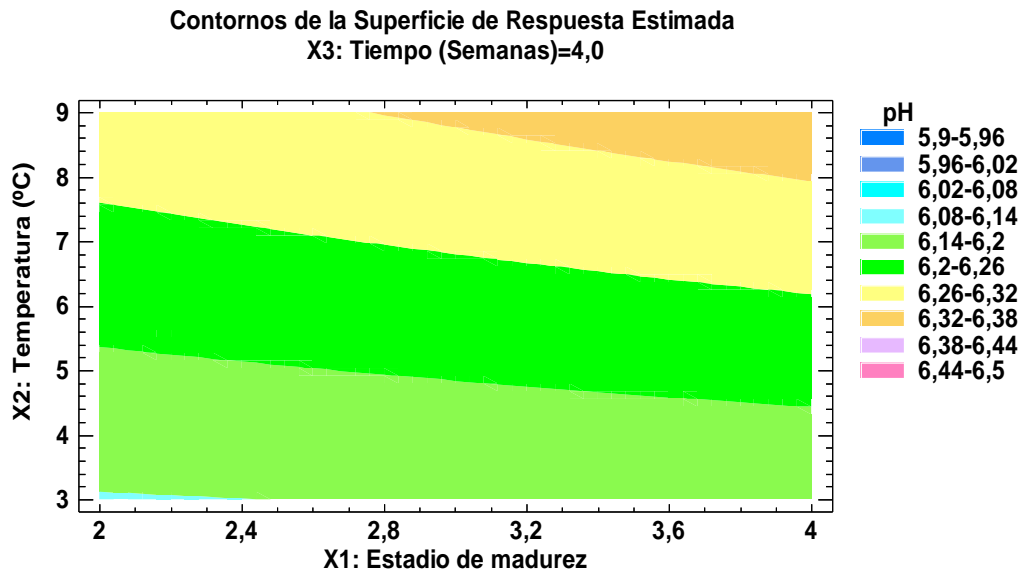


Figura 32. Curvas de superficie de respuesta para el pH de la tuna almacenada a 4 semanas

Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.6 Sólidos solubles

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 33) puede observarse que los sólidos solubles presentan una relación lineal, directa y significativa (p valor $< 0,05$) con respecto al estadio de madurez y tiempo de almacenamiento en refrigeración.

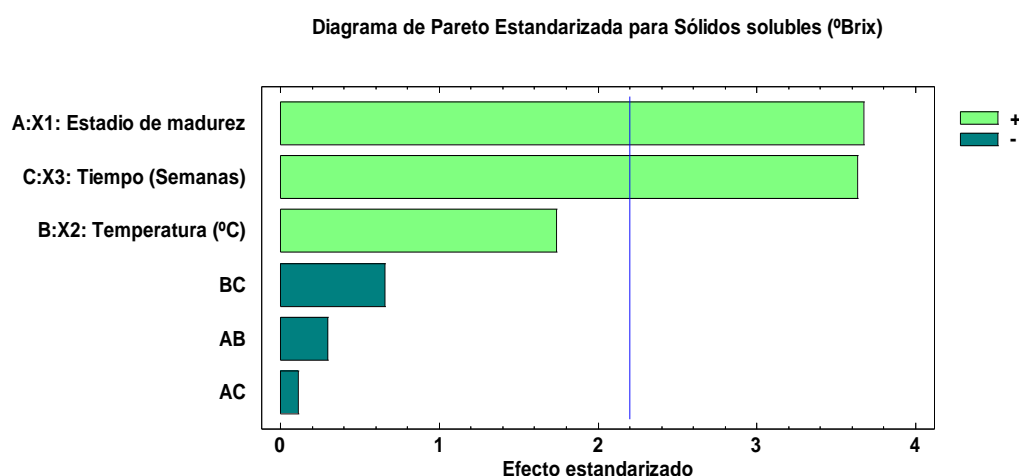


Figura 33. Análisis del diagrama de Pareto para los sólidos solubles de la tuna

Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis de varianza aplicado a la variabilidad de los sólidos solubles (anexo 3) según la prueba F (p valor = 0,010) resultó significativa. Además, obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 73,34 % valor relativamente cercano a 100 %; estos resultados obtenidos permiten afirmar que el modelo propuesto es estadísticamente significativo, es decir que las variables de proceso (X_1 , X_2 y X_3) explican el comportamiento de la variación de los sólidos solubles de la tuna amarilla a escala de

laboratorio. A fin de identificar las posibles tendencias de los factores sobre los sólidos solubles de la tuna, es que se grafica la figura 34 de efectos principales, se observa que los tres factores, los sólidos solubles se ven favorecidos por los niveles máximos de cosecha y almacenamiento.

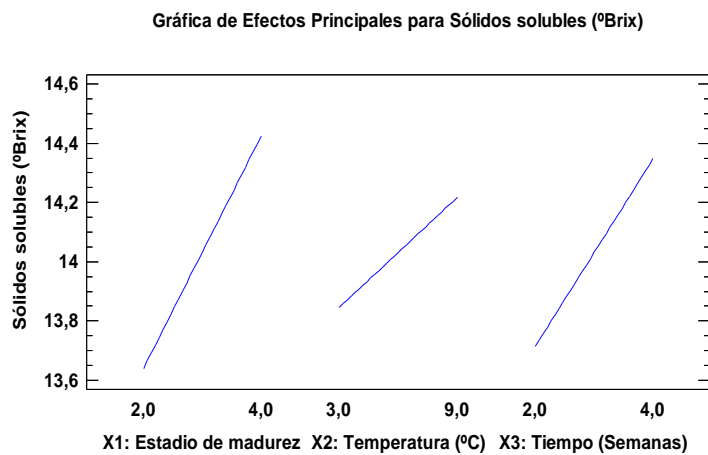


Figura 34. Efecto de los factores principales sobre los sólidos solubles de la tuna
 Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 35 de superficie de respuesta para el almacenamiento a 2 semanas, los sólidos solubles de la tuna amarilla tienden a aumentar cuando mayor son el estadío de madurez y la temperatura de almacenamiento. Mientras que los sólidos solubles disminuyen con menores estadíos de madurez y temperaturas de almacenamiento. Asimismo, en la Figura 36 de 4 semanas de almacenamiento la tendencia de variabilidad de valores de los sólidos solubles es la misma, pero

mientras que a 2 semanas la variación es de 12,9 a 14,4 brix, en 4 semanas la variación es de 13,8 a 14,8 brix.

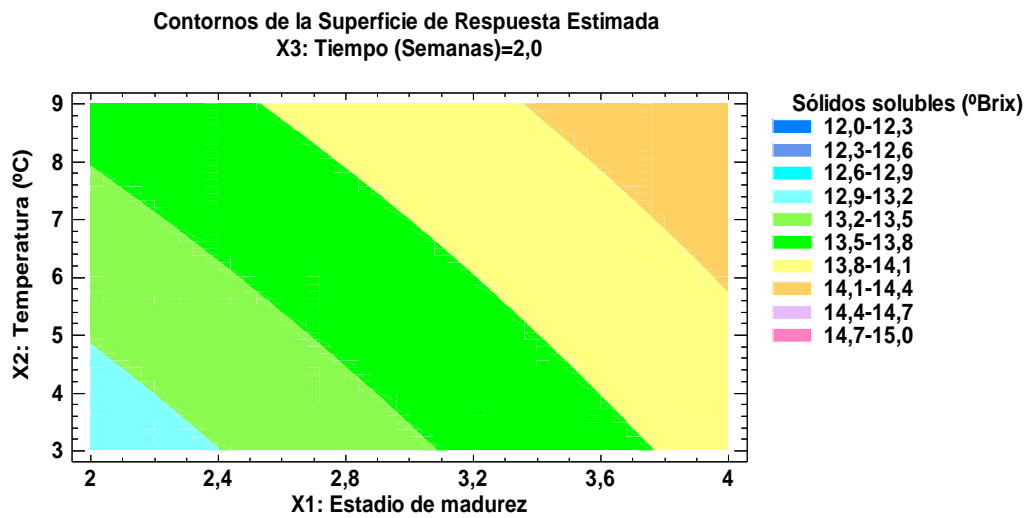


Figura 35. Curvas de superficie de respuesta para los sólidos solubles de la tuna almacenada a 2 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

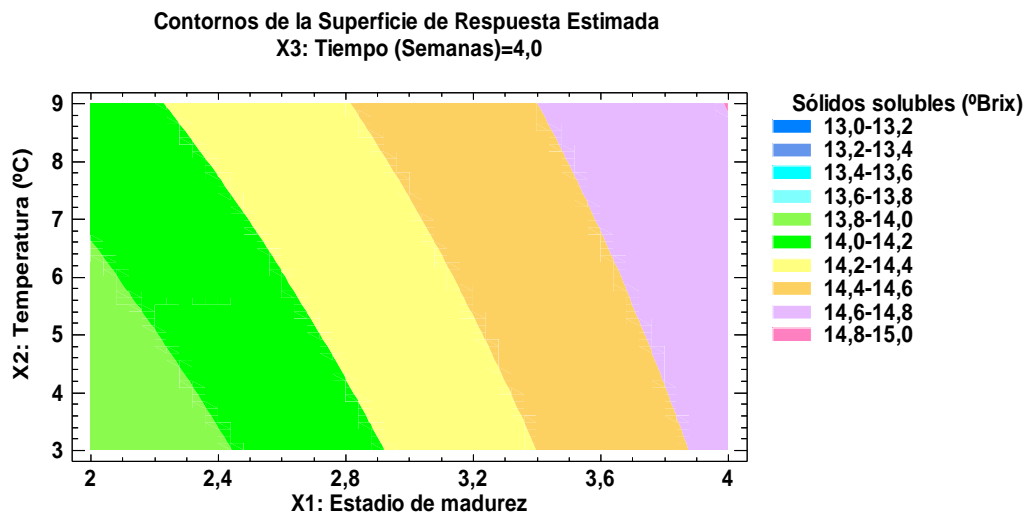


Figura 36. Curvas de superficie de respuesta para los sólidos solubles de la tuna almacenada a 4 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.7 Acidez

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 37) puede observarse que la acidez presenta una relación lineal, inversa y significativa (p valor $< 0,05$) con respecto a la temperatura y tiempo de almacenamiento en refrigeración.

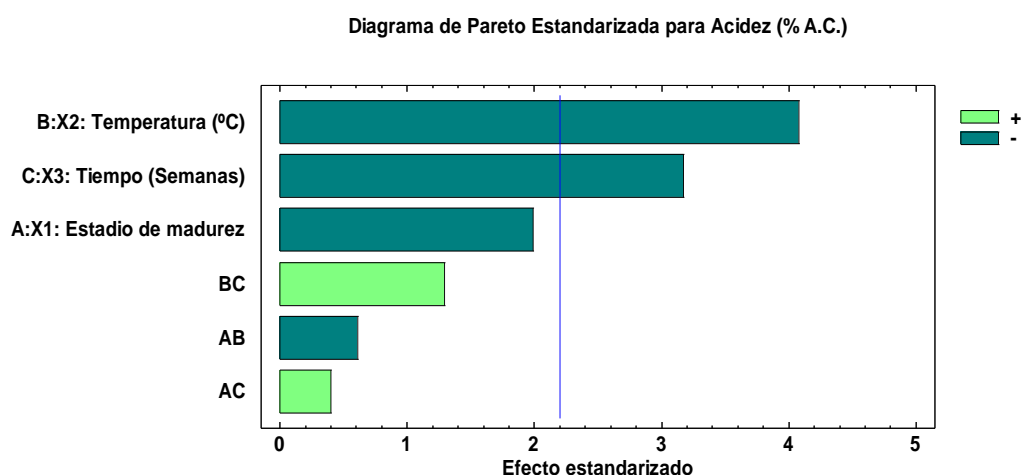


Figura 37. Análisis del diagrama de Pareto para la acidez de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis de varianza aplicado a la variabilidad de la acidez (anexo 8) según la prueba F (p valor = 0,008) resultó significativa. Además, obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 74,93 % valor cercano a 100 %; estos resultados obtenidos permiten afirmar que el modelo propuesto es estadísticamente significativo, es decir que las variables de proceso (X_1 , X_2 y X_3) explican el comportamiento de la variación de la acidez de la tuna a escala de laboratorio. A fin de identificar las posibles tendencias de los factores sobre la acidez de la fruta es que se

grafica la Figura 38 de efectos principales, se observa que los tres factores mantienen un rango de poca variación de la acidez final donde la tendencia es que a mayores niveles de proceso la acidez tiende a disminuir a valores por debajo de 0,06 %.

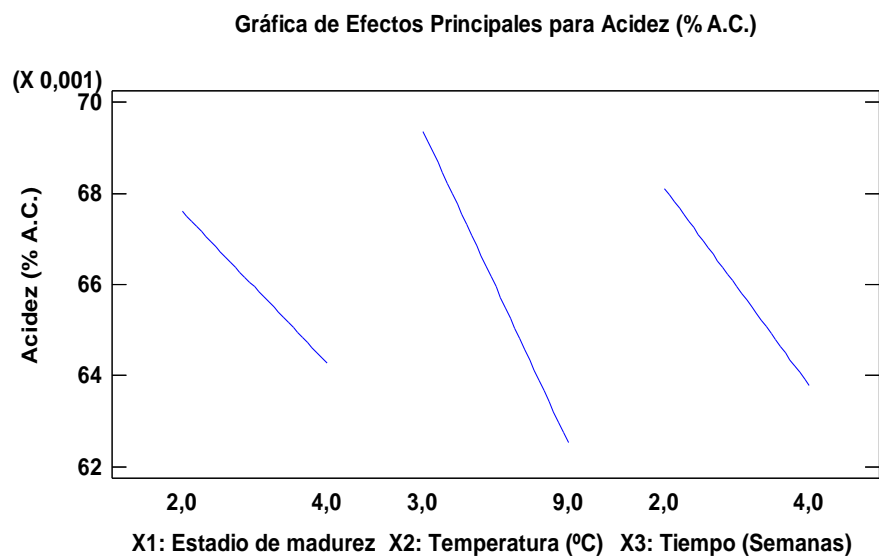


Figura 38. Efecto de los factores principales sobre la acidez de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 39 de superficie de respuesta para el almacenamiento a 2 semanas, muestra que la mayor acidez (0,073 %) de la tuna amarilla será con menor estadio de madurez y a mayor temperatura de almacenamiento. Mientras que la menor acidez (0,061 %) ocurre a mayor estadio y temperatura de almacenamiento. Asimismo, en la Figura 40 a condición de 4 semanas de almacenamiento la tendencia de variación de la acidez es muy similar, pero en un rango de 0,059 % a 0,067 %.

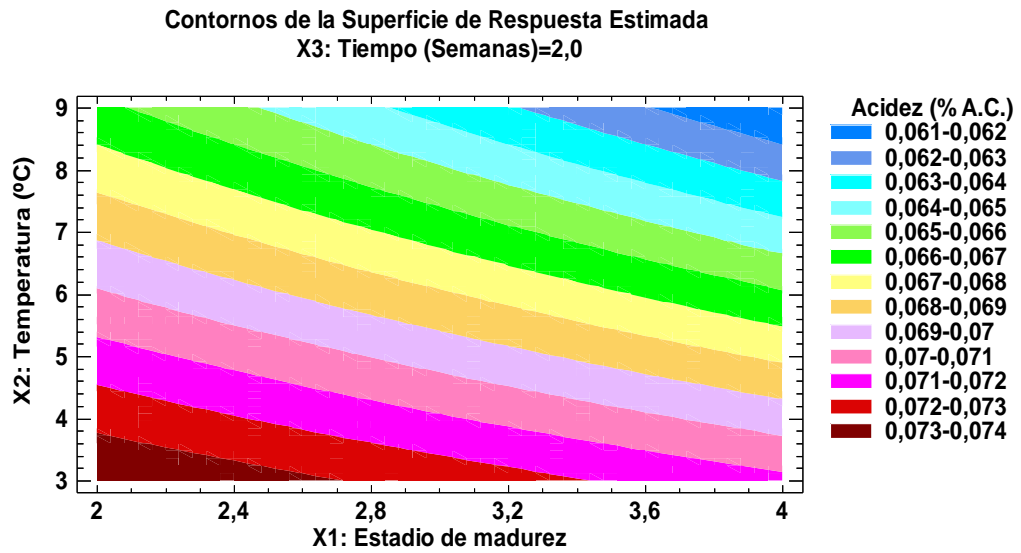


Figura 39. Curvas de superficie de respuesta para la acidez de la tuna almacenada a 2 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

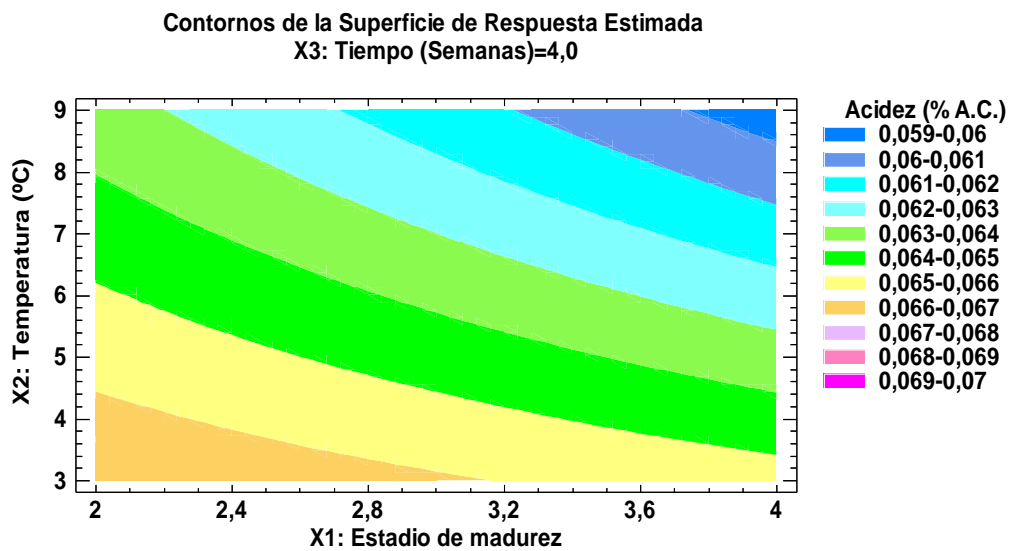


Figura 40. Curvas de superficie de respuesta para la acidez de la tuna almacenada a 4 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.8 Índice de madurez final

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 41) puede observarse que el índice de madurez presenta una relación lineal, directa y significativa (p valor $< 0,05$) con respecto al tiempo y temperatura de almacenamiento e estadio de madurez.

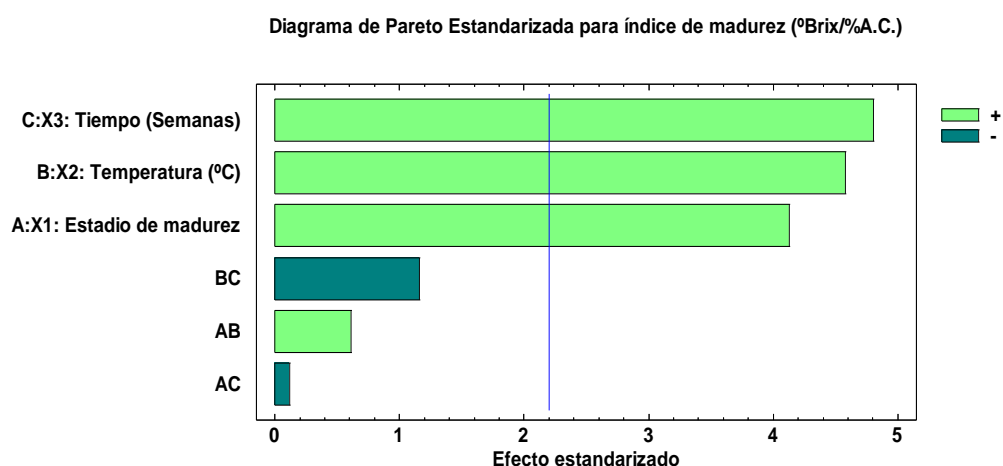


Figura 41. Análisis del diagrama de Pareto para el índice de madurez final de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis del modelo, aplicado a la variabilidad del índice de madurez final (anexo 3) según la prueba F (p valor = 0,001) resultó significativo. Y un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 85,10 % valor muy cercano al 100%; permiten afirmar que el modelo es estadísticamente significativo, y es útil para explicar el comportamiento de la variación del índice de madurez final de la tuna a escala de laboratorio. Los factores que provocan la variación del índice de madurez se grafican en la figura 42 de

efectos principales, y se observa que los tres factores mantienen una variación de madurez y en general se ve favorecido por cosechar una fruta con estadio de madurez 4 y máximos niveles de temperatura y tiempo de almacenamiento.

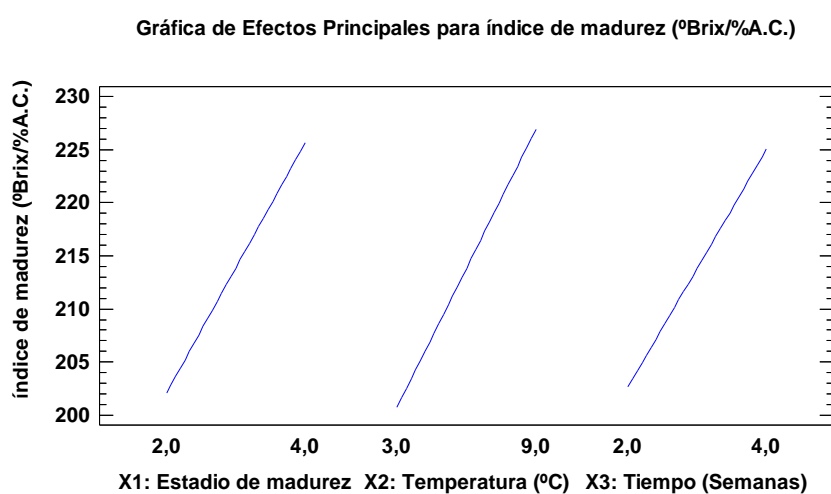


Figura 42. Efecto de los factores principales sobre el índice de madurez final de la tuna

Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 43 de superficie de respuesta para el almacenamiento a 2 semanas, muestra la región de mayor estadio de madurez, cuando mayor es el estadio de madurez y la temperatura de almacenamiento. La tendencia de menor madurez de las tunas se consigue a bajas temperaturas de almacenamiento y en general varía de 170 a 230 IM. La Figura 22 para el almacenamiento a 4 semanas muestra una variación del índice de madurez final ligeramente mayor, en un rango de 190 a 250 IM, donde el mayor índice de madurez se obtendrá en tunas cosechadas con

mayor estadio en madurez y mayor temperatura de refrigeración en almacenamiento. La menor maduración se obtiene cuando la temperatura de almacenamiento está a menos de 4°C.

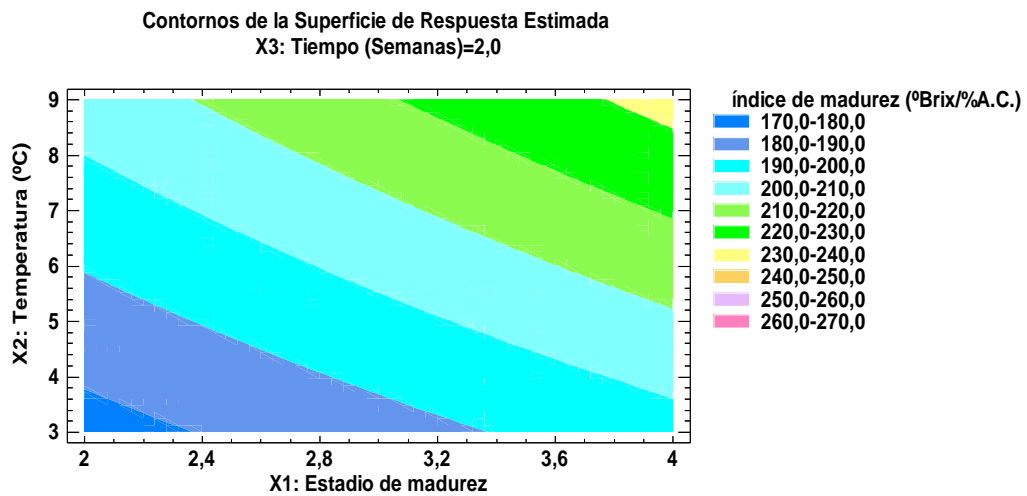


Figura 43. Curvas de superficie de respuesta para el índice de madurez de la tuna almacenada a 2 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

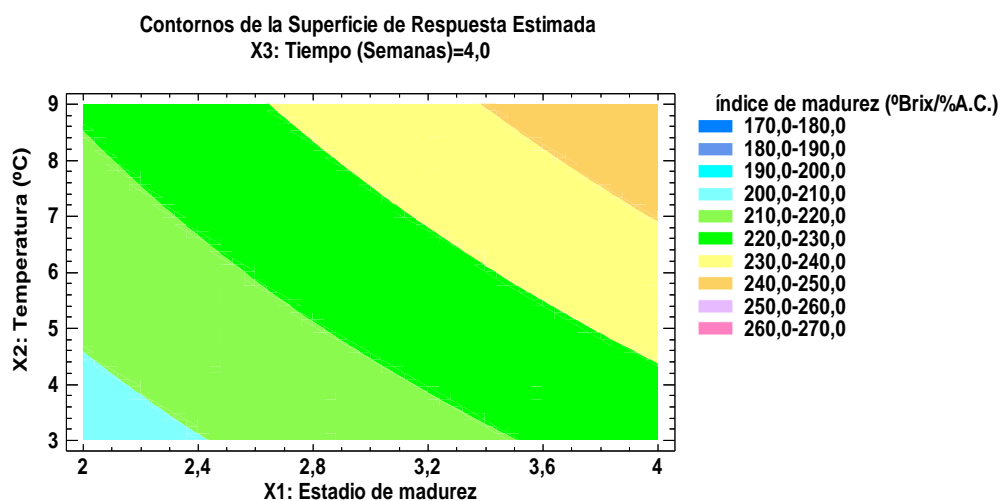


Figura 44. Curvas de superficie de respuesta para el índice de madurez de la tuna almacenada a 4 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

5.2 Características sensoriales en poscosecha de la tuna variedad amarilla almacenada en refrigeración

En la Tabla 7 se muestran los resultados de las mediciones de las características sensoriales de la tuna almacenada. Se reportan los 18 datos realizados según las condiciones de almacenamiento.

Tabla 7. Análisis de características sensoriales de la tuna según condiciones de poscosecha

Tratamientos	X1: Estadio de madurez	X2: Temperatura (°C)	X3: Tiempo (Semanas)	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad general
1	2	3	2	2,7	2,5	3,0	3,0	3,3
2	2	3	4	2,9	3,1	3,2	3,5	3,2
3	2	6	2	2,4	2,9	2,7	3,2	3,1
4	2	6	4	3,2	3,2	2,9	3,4	2,8
5	2	9	2	2,4	2,6	2,4	2,5	2,9
6	2	9	4	3,3	3,2	2,7	2,6	2,9
7	3	3	2	1,8	2,2	1,9	2,3	2,1
8	3	3	4	3,2	3,1	3,1	2,9	3,1
9	3	6	2	2,8	2,9	3,0	3,7	3,0
10	3	6	4	3,5	3,6	4,0	3,6	3,7
11	3	9	2	3,1	2,7	2,9	3,5	3,2
12	3	9	4	2,8	2,9	3,3	3,3	3,0
13	4	3	2	3,0	2,4	2,6	2,3	2,6
14	4	3	4	4,3	3,3	3,3	2,3	3,6
15	4	6	2	2,9	2,6	2,9	3,4	3,0
16	4	6	4	3,7	3,5	3,3	3,5	3,6
17	4	9	2	3,1	2,9	2,8	3,2	3,1
18	4	9	4	3,7	3,2	3,9	3,0	2,5

Fuente: elaboración propia (2017)

5.2.1 Color

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 45) puede observarse que la aceptabilidad del color presenta una relación lineal, directa y significativa (p valor $< 0,05$) con respecto al estadio de madurez y tiempo de almacenamiento en refrigeración.

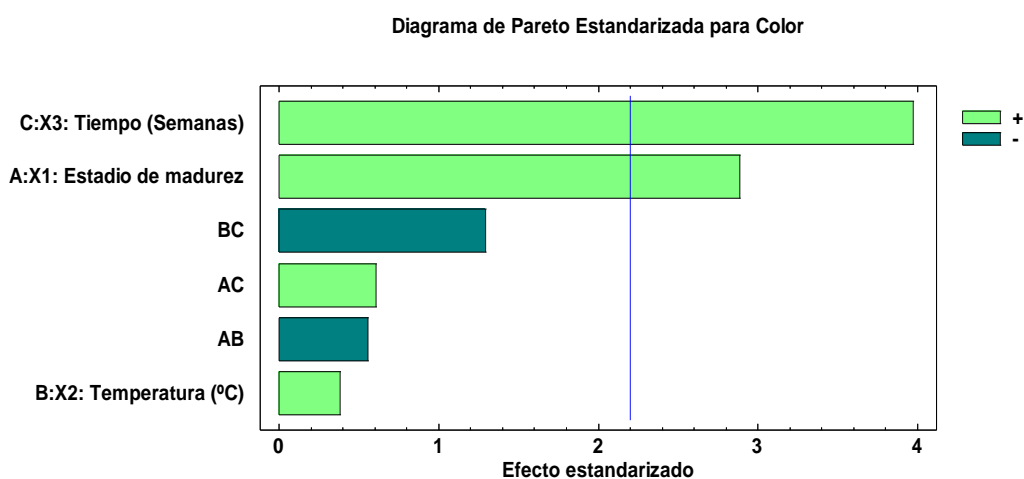


Figura 45. Análisis del diagrama de Pareto para el color de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis de varianza aplicado a la variabilidad de la aceptabilidad del color (anexo 10) según la prueba F (p valor = 0,016) resultó altamente significativa. Además, se obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 70,77 % valor muy cercano a 100 %; estos resultados obtenidos permiten afirmar las variables de proceso (X_1 , X_2 y X_3) no son las más importantes para explicar el comportamiento de la variación del color de la tuna a escala de laboratorio. A fin de identificar las posibles

tendencias de los factores sobre la aceptabilidad del color de la fruta es que se grafica la figura 46 de efectos principales, se observa que los tres factores mantienen un rango de poca variación de la aceptabilidad del color y la aparente tendencia que se registró es que a mayores niveles de almacenamiento y a 4 semanas, es cuando la tuna madura con más rapidez.

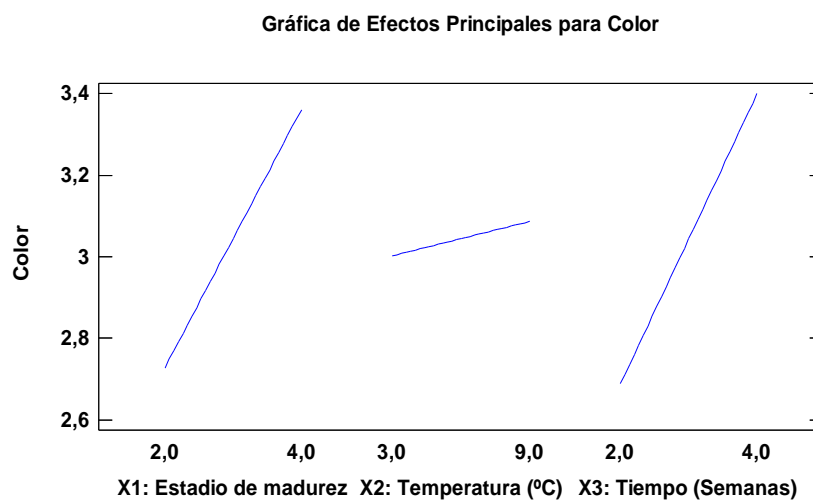


Figura 46. Efecto de los factores principales sobre el color de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 47 de superficie de respuesta para el almacenamiento a 2 semanas, muestra que la mayor aceptabilidad del color de la tuna será a mayor estadio de madurez y mayor temperatura de almacenamiento. Mientras que la menor aceptabilidad ocurrió en tunas con menores estadios de madurez y temperaturas de almacenamiento. Asimismo, en la Figura 48

a condición de 4 semanas de almacenamiento la aceptabilidad del color (2 a 4) es mayor que a 2 semanas de almacenamiento (2 a 3).

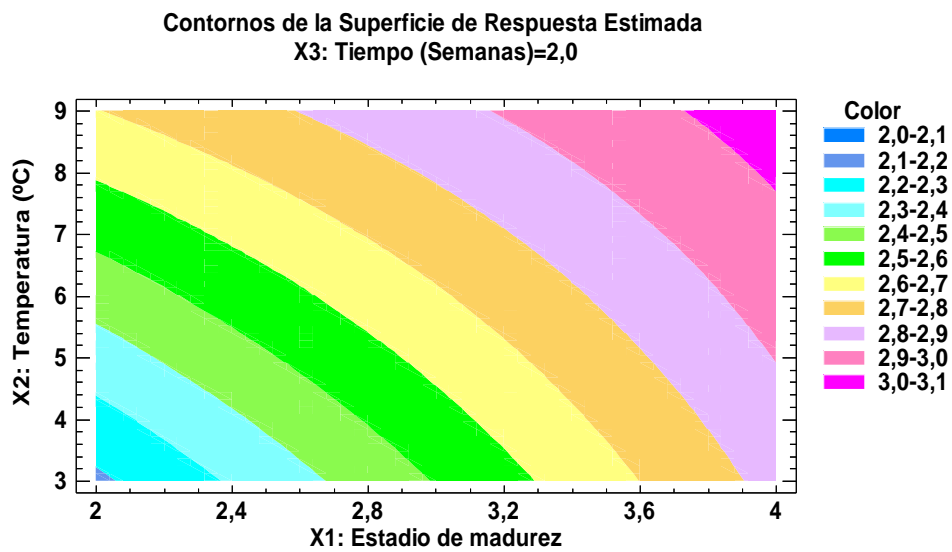


Figura 47. Curvas de superficie de respuesta para el color de la tuna almacenada a 2 semanas

Fuente: elaboración propia (2017)

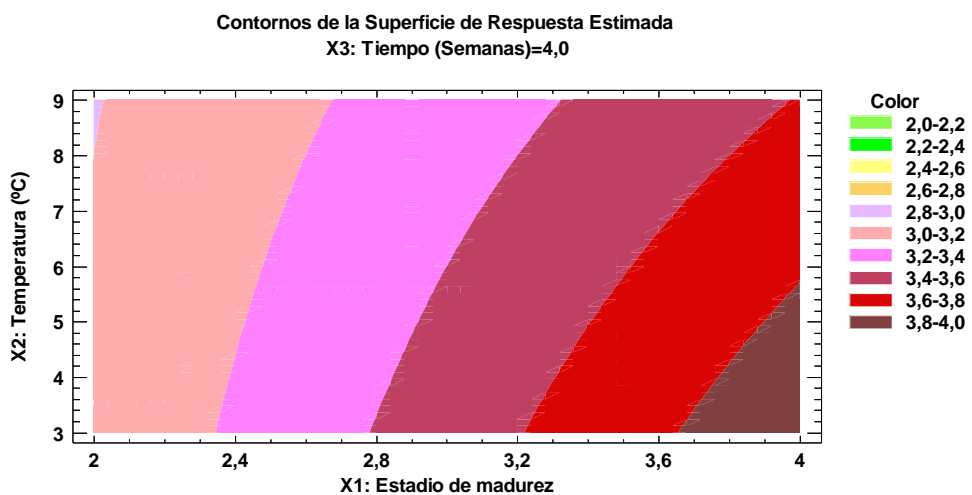


Figura 48. Curvas de superficie de respuesta para el color de la tuna almacenada a 4 semanas

Fuente: elaboración propia (2017)

5.2.2 Olor

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 49) puede observarse que la aceptabilidad del olor de la tuna presenta una relación lineal, directa y significativa (p valor $< 0,05$) con respecto al tiempo de almacenamiento.

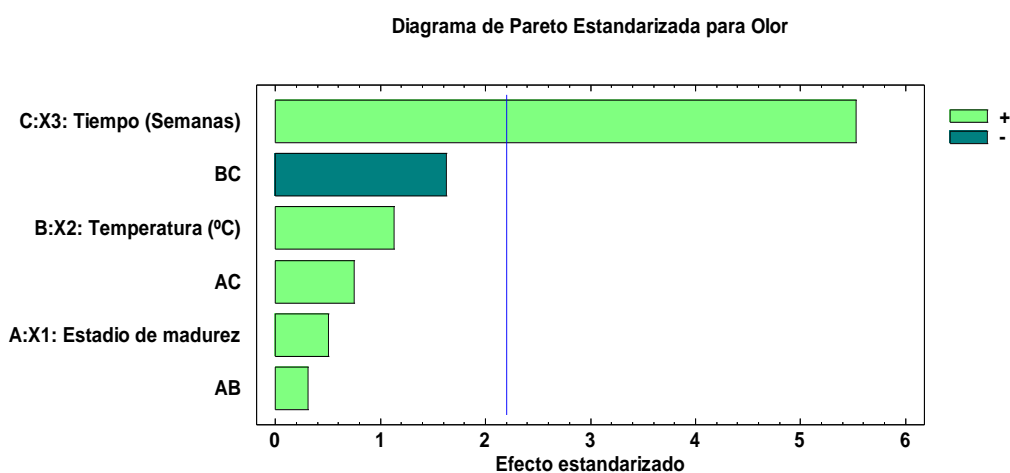


Figura 49. Análisis del diagrama de Pareto para el olor de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis de varianza aplicado a la variabilidad de la aceptabilidad del olor (anexo 11) según la prueba F (p valor = 0,006) resultó significativa. Además, obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 76,29 % valor muy cercano a 100 %; estos resultados obtenidos permiten afirmar las variables de proceso (X1, X2 y X3) son importantes para explicar el comportamiento de la variación de la aceptabilidad del olor de la tuna amarilla a escala de laboratorio. A fin de identificar las posibles tendencias de los factores que afectan el olor de la fruta es que se grafica la Figura 50

de efectos principales, se observa que el factor tiempo de almacenamiento es quien ocasiona mayores variaciones en la aceptabilidad del olor de la tuna mejorando su aceptabilidad a medida que pasan los días en almacenamiento.

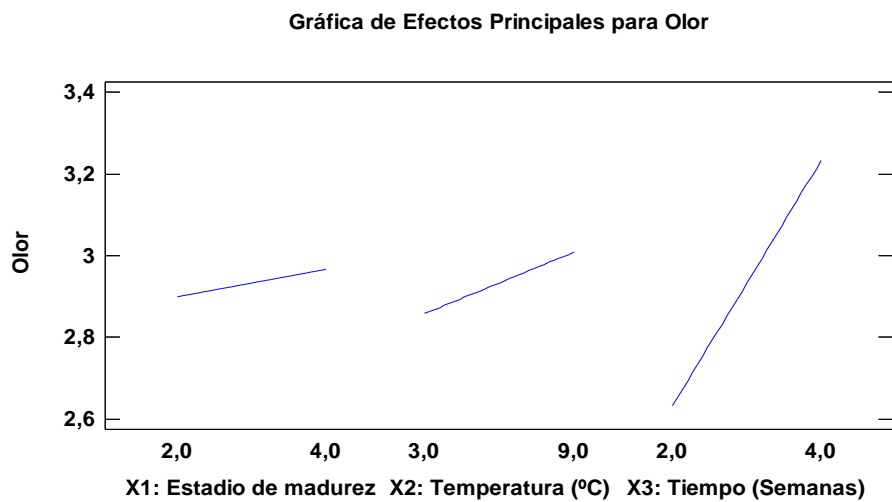


Figura 50. Efecto de los factores principales sobre el olor de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 51 de superficie de respuesta para el almacenamiento de tunas a 2 semanas, muestra que la mayor aceptabilidad del olor de la tuna será a mayor temperatura de almacenamiento. Mientras que la menor aceptabilidad ocurrirá en tunas con menor temperatura de almacenamiento. Asimismo, en la Figura 52 a 4 semanas de almacenamiento la aceptabilidad del olor es mayor (de 3 a 3,5) que las tunas almacenadas a 2 semanas en refrigeración (de 2 a 2,9).

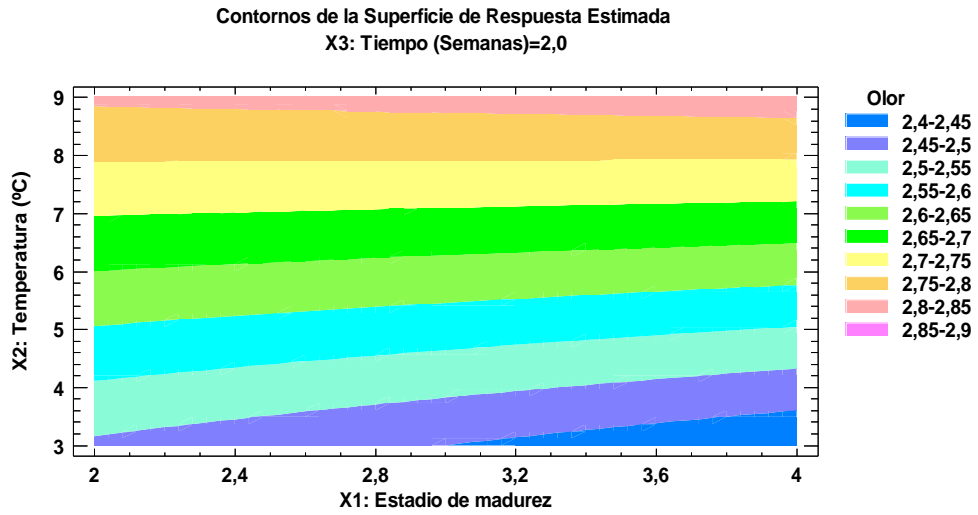


Figura 51. Curvas de superficie de respuesta para el olor de la tuna almacenada a 2 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

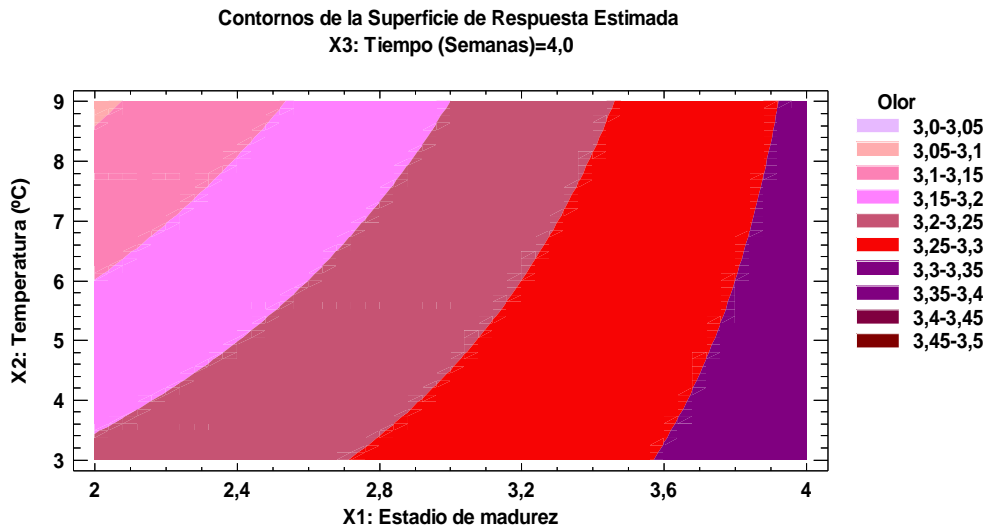


Figura 52. Curvas de superficie de respuesta para el olor de la tuna almacenada a 4 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

5.2.3 Sabor

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 53) puede observarse que el sabor de la tuna presenta una relación lineal, directa y significativa (p valor $< 0,05$) con respecto al tiempo de almacenamiento.

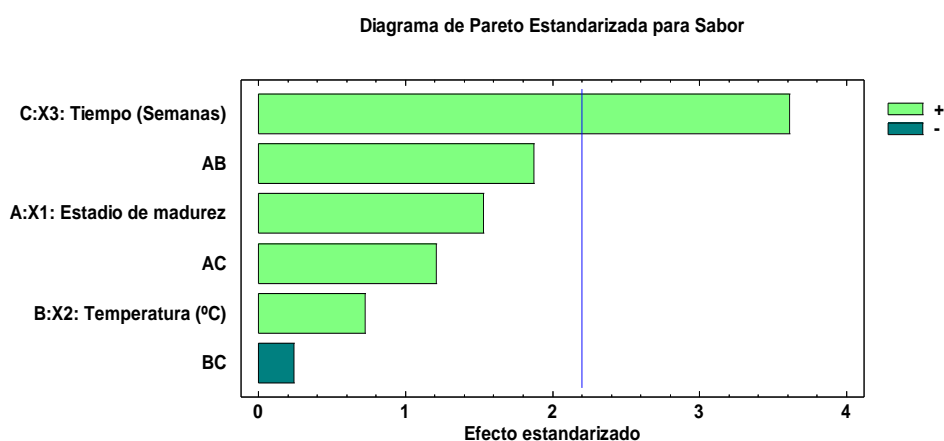


Figura 53. Análisis del diagrama de Pareto para el sabor de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis de varianza aplicado a la variabilidad de la aceptabilidad del sabor (anexo 12) según la prueba F (p valor = 0,035) resultó significativa. Además, obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 65,58 % valor muy cercano a 100 %; estos resultados obtenidos permiten afirmar las variables de proceso (X_1 , X_2 y X_3) pueden explicar el comportamiento de la variación de la aceptabilidad del sabor de la tuna a escala de laboratorio. A fin de identificar las posibles tendencias de los factores sobre la aceptabilidad del sabor de la tuna, en la figura 54

de efectos principales, se observa que el factor tiempo de almacenamiento es quien provoca mayores variaciones a la aceptabilidad del sabor de la tuna almacenada.

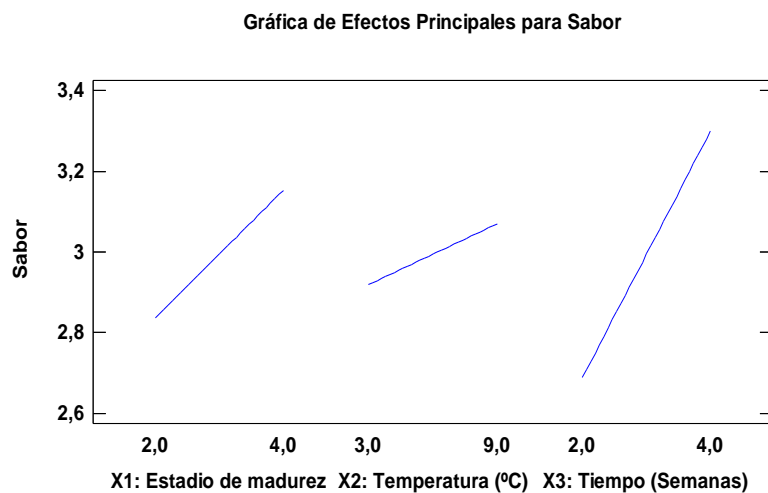


Figura 54. Efecto de los factores principales sobre el sabor de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 55 de superficie de respuesta para el almacenamiento de la tuna a 2 semanas, se muestra que la mayor aceptabilidad del sabor de la tuna será a mayor estadio de madurez y mayor temperatura de almacenamiento. Mientras que la menor aceptabilidad ocurrirá en tunas con menor estadio de madurez y menor temperatura de almacenamiento. Asimismo, en la Figura 56 en condiciones de 4 semanas de almacenamiento la tendencia de mayores valores de aceptabilidad sensorial del sabor es alcanza niveles de aceptabilidad de 3,9 en la escala hedónica de 5 puntos.

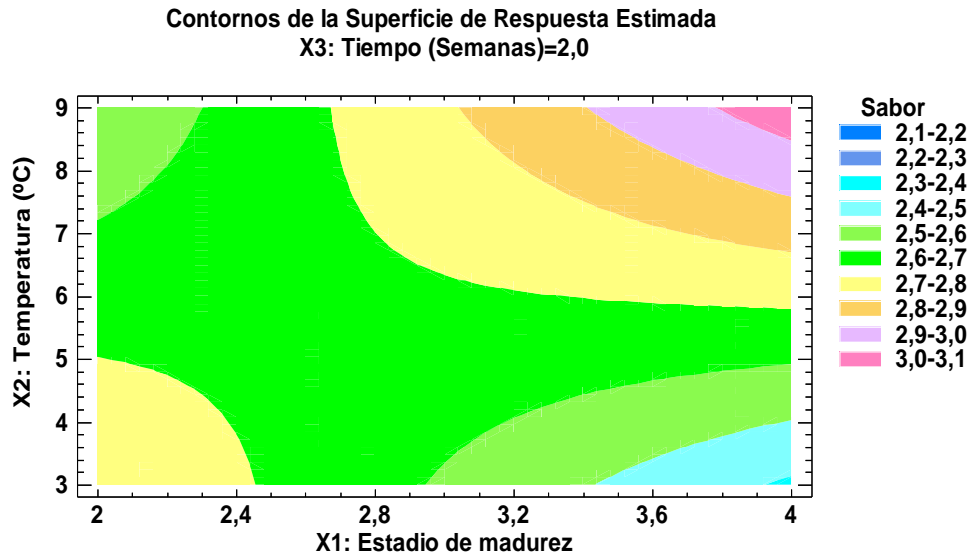


Figura 55. Curvas de superficie de respuesta para el sabor de la tuna almacenada a 2 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

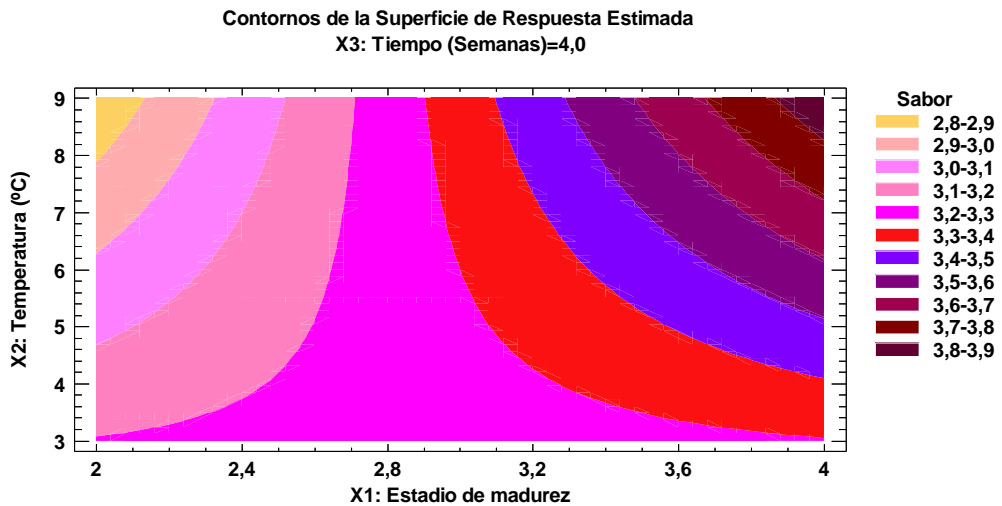


Figura 56. Curvas de superficie de respuesta para el sabor de la tuna almacenada a 4 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

5.2.4 Textura

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 57) puede observarse que la aceptabilidad de la textura de la tuna presenta una relación lineal, directa y significativa (p valor $< 0,05$) con respecto a la interacción estadio de madurez-temperatura de refrigeración.

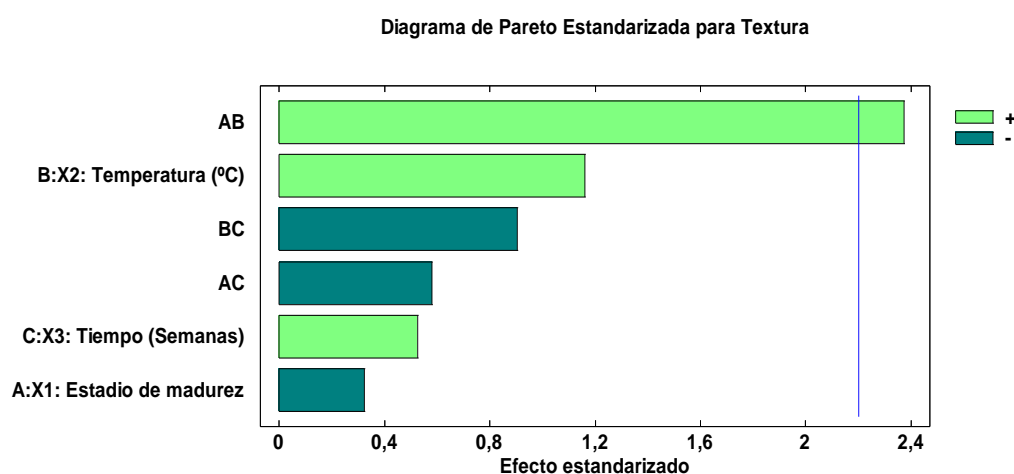


Figura 57. Análisis del diagrama de Pareto para la textura de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis de varianza aplicado a la variabilidad de la textura instrumental (anexo 13) según la prueba F (p valor = 0,29) resultó no significativa. Asimismo, el valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 43,65 % resultó muy alejado al 100 %; estos resultados obtenidos permiten afirmar las variables de proceso (X1, X2 y X3) no son las más importantes para explicar el comportamiento de la variación de la aceptabilidad del olor de la tuna a escala de laboratorio. A fin de identificar

las posibles tendencias de los factores sobre la textura de la fruta es que se grafica la Figura 58 de efectos principales, se observa que el factor temperatura de almacenamiento es quien mayor variación provoca en la aceptabilidad de la textura siendo mayor cuando aumenta dicha temperatura.

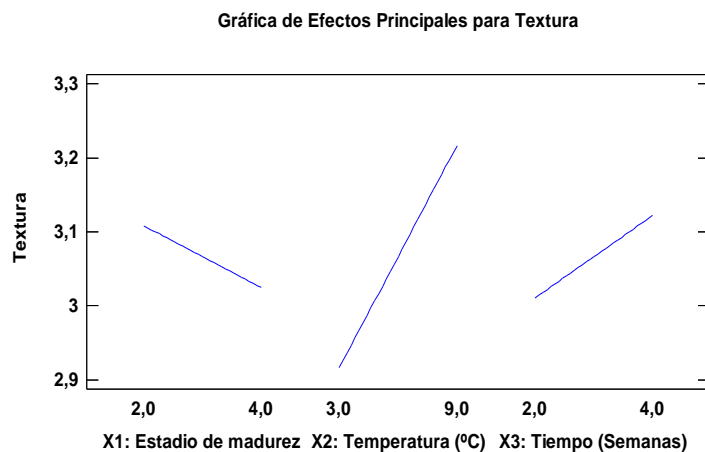


Figura 58. Efecto de los factores principales sobre la textura de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 59 de superficie de respuesta para el almacenamiento a 2 semanas, muestra que la mayor aceptabilidad de la textura de la tuna será en tunas cosechadas a un mayor estadio de madurez y a mayor temperatura de almacenamiento. Mientras que la menor aceptabilidad ocurrirá en tunas con mayor estadio de madurez y a menor temperatura de almacenamiento. Asimismo, en la Figura 60 a condición de 4 semanas de almacenamiento la tendencia de mayores valores de aceptabilidad de la textura es menor estadio de madurez y menor temperatura de refrigeración.

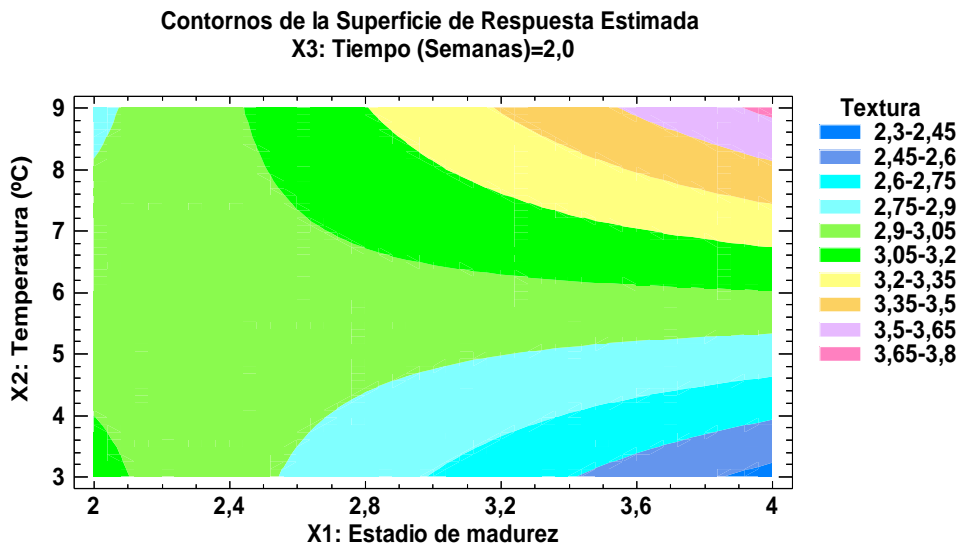


Figura 59. Curvas de superficie de respuesta para la textura de la tuna almacenada a 2 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

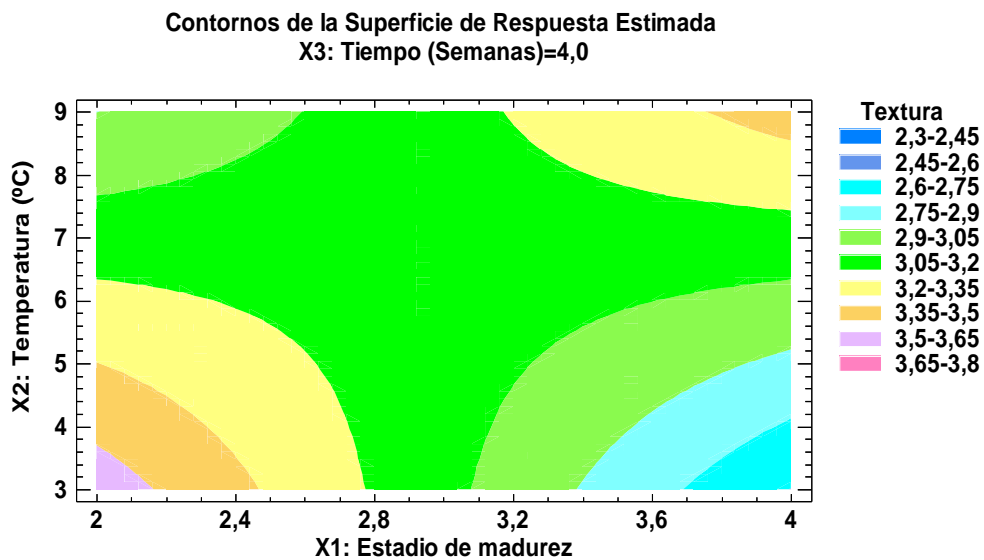


Figura 60. Curvas de superficie de respuesta para la textura de la tuna almacenada a 4 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

5.2.5 Aceptabilidad general

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 61) puede observarse que la aceptabilidad general no presenta una relación significativa (p valor $\geq 0,05$) con respecto a los factores estadio de madurez, tiempo y temperatura de almacenamiento o sus respectivas interacciones.

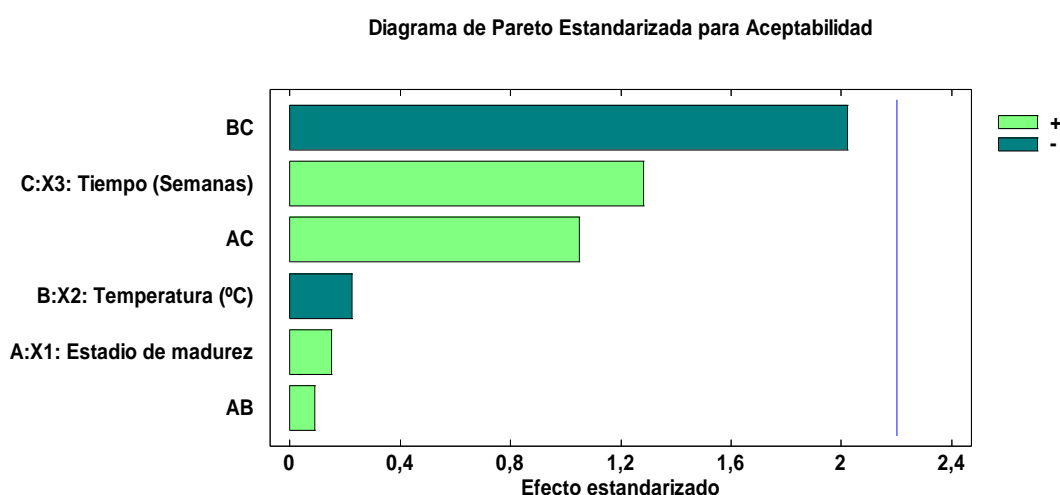


Figura 61. Análisis del diagrama de Pareto para la aceptabilidad general de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

El análisis de varianza aplicado a la variabilidad de la aceptabilidad del color (anexo 14) según la prueba F (p valor = 0,396) resultó no significativo. Además, se obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 38,60 % valor muy alejado a 100 %; estos resultados obtenidos permiten afirmar las variables de proceso (X1, X2 y X3) no son las más importantes para explicar el comportamiento de la variación de la

aceptabilidad general de la tuna a escala de laboratorio. A fin de identificar las posibles tendencias de los factores sobre la aceptabilidad general de la fruta es que se grafica la Figura 62 de efectos principales, se observa que de los tres factores el tiempo de almacenamiento manifiesta la mayor variación de la aceptabilidad general de la tuna.

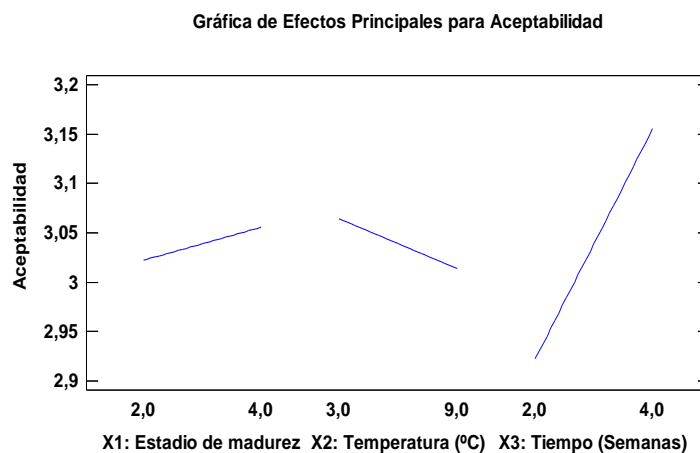


Figura 62. Efecto de los factores principales sobre la aceptabilidad general de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 63 de superficie de respuesta para el almacenamiento a 2 semanas, muestra que la mayor aceptabilidad general de la tuna será a menor estadio de madurez y a mayor temperatura de almacenamiento. Mientras que la menor aceptabilidad aparentemente ocurrirá en tunas de mayor estadio de madurez y menor temperatura de almacenamiento. Mientras en la Figura 64 a 4 semanas de almacenamiento la tendencia de

mayor aceptabilidad sensorial general se alcanza a mayor estadio y menor temperatura.

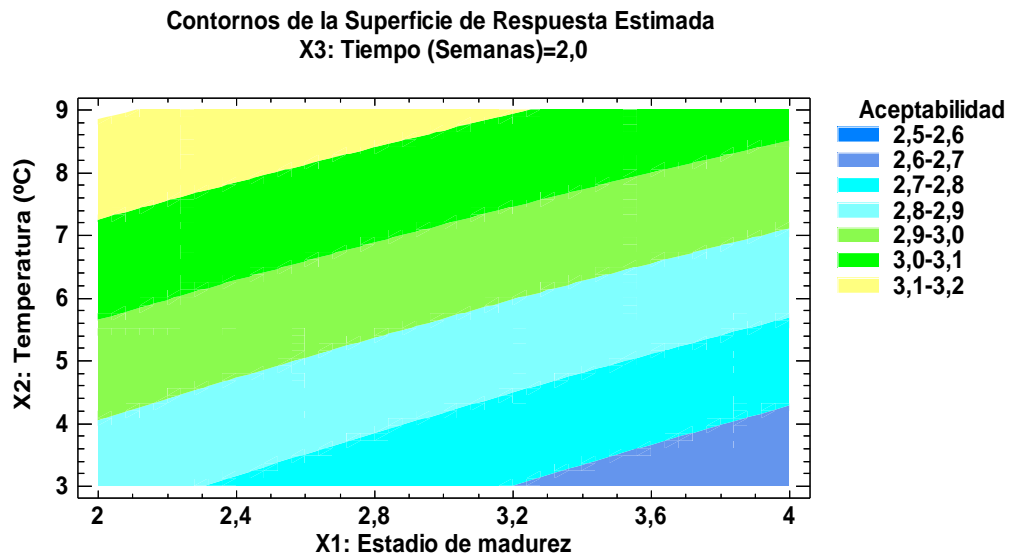


Figura 63. Curvas de superficie de respuesta para la aceptabilidad general de la tuna almacenada a 2 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

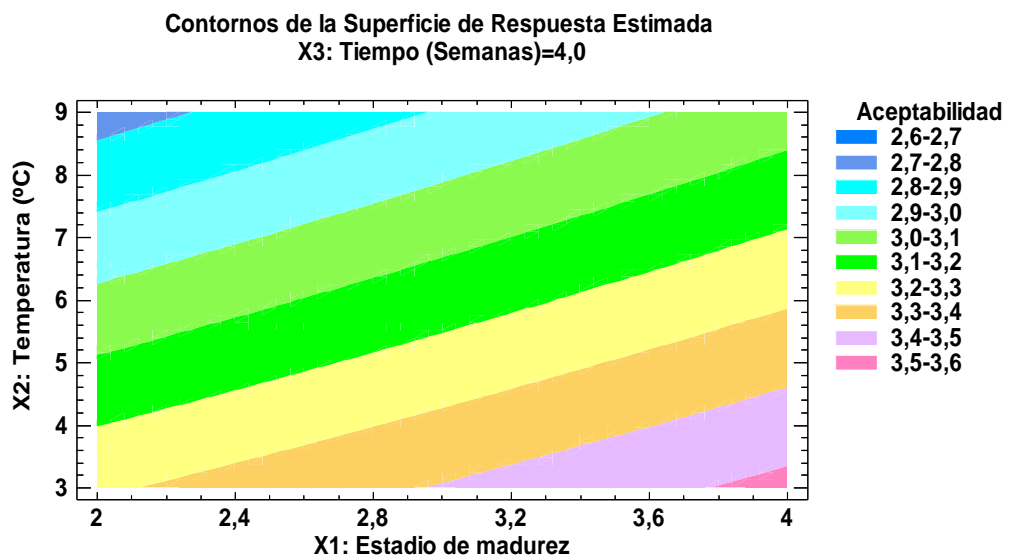


Figura 64. Curvas de superficie de respuesta para la aceptabilidad general de la tuna almacenada a 4 semanas
Fuente: elaboración propia (2017)

5.2.6 Optimización

Una vez, finalizado el análisis individual de la influencia del estadio de madurez y condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas y sensoriales, se determinó los parámetros de proceso que maximizan simultáneamente la aceptabilidad del color, olor y sabor por ser ellas los modelos más significativos.

Para la optimización se tomaron las siguientes restricciones:

- Variables independientes: mantener en rango de estudio a las variables: estadio de madurez, temperatura y tiempo de almacenamiento.
- Variables dependientes: maximizar la percepción de los atributos significativos color, olor y sabor.

Aplicando la metodología de función deseada o de conveniencia y mediante el paquete estadístico statgraphics se obtuvieron la solución como muestra la Tabla 10 que corresponde a la solución que se consideraran óptima pues presentan los más altos valores de función deseada de 0,81 que para efectos de reproducibilidad para cada solución, indican que es probable repetir el ensayo bajo esas condiciones y nuevamente obtener resultados muy similares a los encontrados. La figura 65 de curvas de superficie de respuesta muestra la región donde se ubica

la solución óptima según las condiciones de cosecha y almacenamiento evaluadas.

Tabla 8. Optimización para los factores para el postcosecha y almacenamiento

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
X1: Estadío de madurez	2	4	4
X2: Temperatura (°C)	3	9	9
X3: Tiempo (Semanas)	2	4	4
<hr/>			
Respuesta optimizada			
Color			3,61
Olor			3,31
Sabor			3,87
<hr/>			
Respuestas estimadas			
Pérdida de peso			8,58
Textura			3,05
Aceptabilidad gral			3,05
IM			248,36
Sólidos solubles (°Brix)			14,804
pH			6,36
Acidez (% A.C.)			0,059
Humedad (%)			81,46
Firmeza (kg/cm ²)			0,83
FD			0,813

Fuente: elaboración propia (2017)

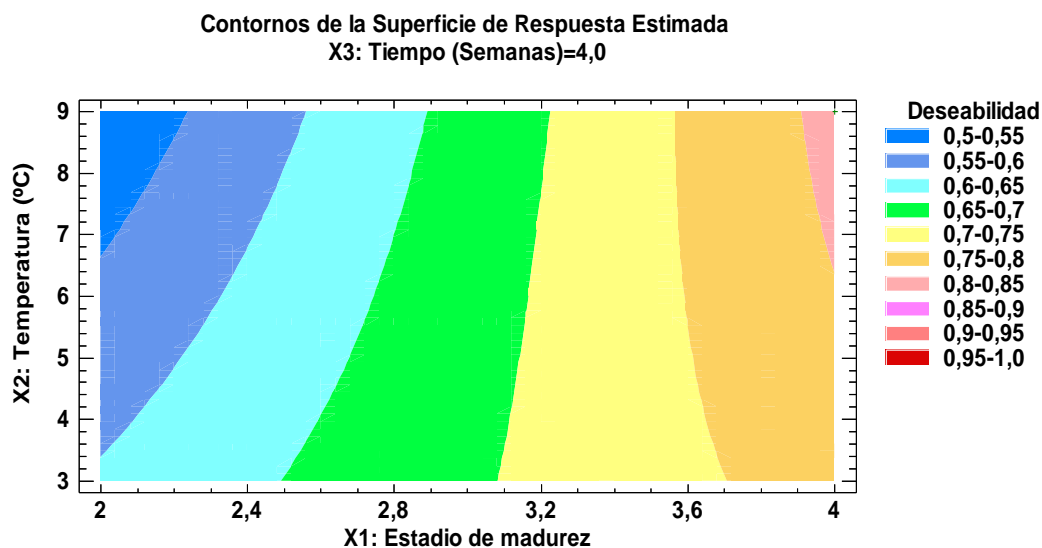


Figura 65. Curvas de superficie de respuesta para las condiciones óptimas de postcosecha y almacenamiento en refrigeración de la tuna
Fuente: elaboración propia (2017)

La Figura 66, muestra los parámetros de cosecha y almacenamiento finales considerados como óptimos. A fin de conocer el nivel de aceptación de las condiciones optimizadas en comparación con tuna almacenada cosechada al mismo estadio y a temperatura ambiente se realizó una evaluación sensorial entre las dos muestras. Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en el perfil sensorial de la Figura 67 destacando que la fruta a temperatura ambiente presentó cualidades de aceptabilidad entre “muy bueno” y “excelente”. Mientras que las condiciones consideradas óptimas para la tuna en refrigeración dieron como resultado una fruta con aceptabilidad calificada entre “bueno” y “muy bueno” después de 4 semanas de almacenamiento en refrigeración, cosechada en estadio 4.

Indicando que finalmente más de 28 días de almacenaje ocasiona el deterioro de los frutos (Figura 68).

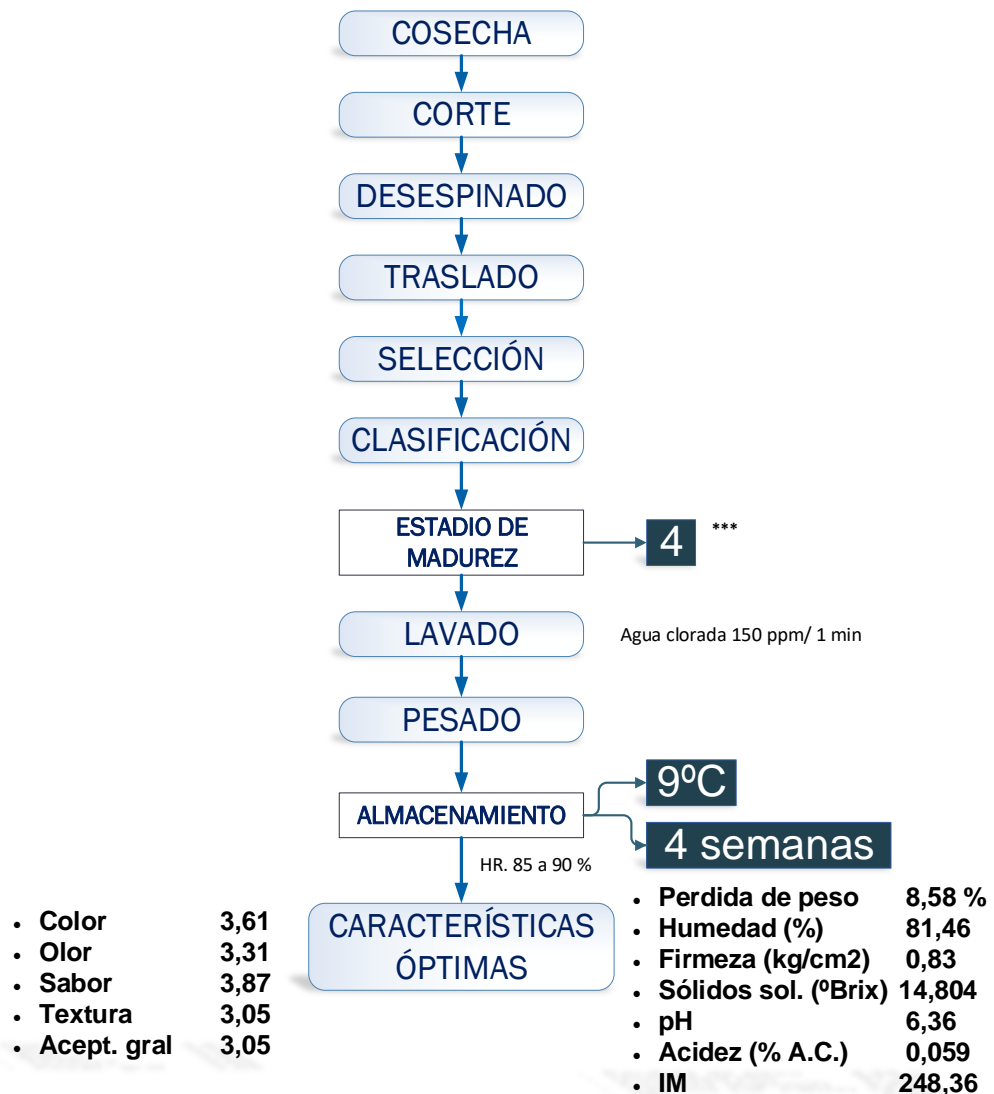


Figura 66. Flujograma definitivo para la poscosecha de la tuna. *** amarillo anaranjado

Fuente: Elaboración propia (2017)

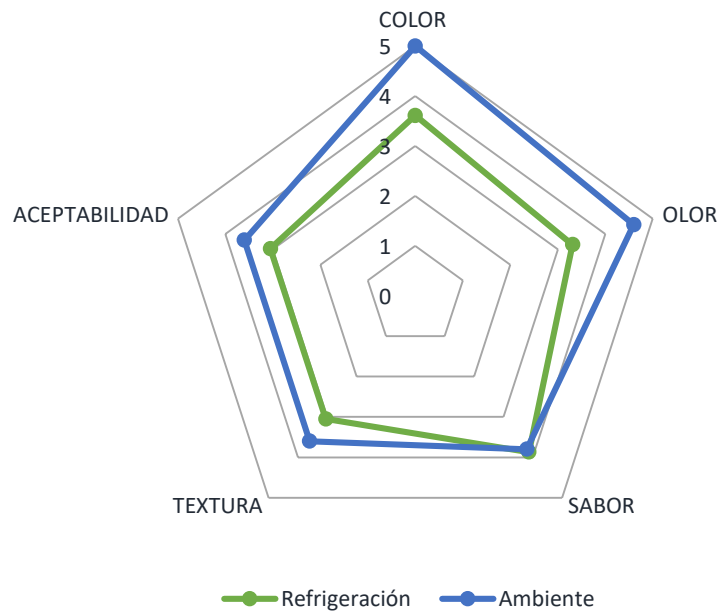


Figura 67. Perfil sensorial de tuna en refrigeración (28 días) y en temperatura ambiente (12 días)
 Fuente: elaboración propia (2017)



Figura 68. Tunas en fase de deterioro con más de 28 días
 Fuente: elaboración propia (2017)

5.3 Discusión de resultados

5.3.1 Características fisicoquímicas

a) Peso

La transpiración de la fruta es el proceso fisiológico más importante en la pérdida de peso y la firmeza de la tuna durante el almacenamiento. Cuando la fruta pierde alrededor del 8% de su peso, el deterioro de esta se presenta con el arrugamiento y daños visible en la fruta (Coavoy, 2015). Comportamiento que en el caso de la tuna de Sitajara también se observó que para muestras con estadio 4 refrigeradas a 4 semanas y por encima de 5 °C, son las que superar el porcentaje de pérdida del 8% tolerable.

FAO (1987) indica que la pérdida de peso se explica al hecho que la fruta fue cosechada después de la abscisión, por lo cual, para abastecerse de agua empleada en la transpiración y respiración, utilizaría sus propias reservas. En el caso de tuna de Sitajara los estadios de cosecha no fueron la razón de la pérdida de peso, sino más bien las condiciones de refrigeración; es decir que se puede conservar la tuna en condiciones aceptables mientras se controle la temperatura y el tiempo necesario.

Condori (2017) sometiendo a un tratamiento al 3% de cloruro de calcio en tunas de variedad blanca determino que hasta los 15 días de

almacenamiento una pérdida de peso de 9,58% y para la variedad morada 10,45%; con una vida útil de 15 días a 5°C.

b) pH

Los cambios fisiológicos debido a la respiración de la tuna, así como también las diferentes reacciones enzimáticas generan los cambios de pH, en la tuna evaluada, y los valores se encuentran entre 6 y 7 de pH, probablemente es debido a un contenido no excesivo de minerales, ya que estos por su forma iónica elevan el pH en los alimentos.

c) Acidez

Stintzing et al., (2001) afirman que durante la conservación de la tuna el contenido de ácidos varía entre (0,06 y 0,12 %) 60 y 120 mg/100 peso fresco expresado como ácido cítrico

Con respecto a la tuna amarilla de Sitajara, estas variaciones sucedieron en los días de almacenamiento en un rango entre 0,06 a 0,074 %. Singh & Rajkumar, (1999) afirman que el incremento de ácidos es relativamente corta y es posible que se dé un descenso de la acidez por la descarboxilación anaerobia de los ácidos orgánicos.

d) Firmeza

La firmeza de la tuna amarilla de Sitajara se vio afectada por las tres variables propuestas: estadio de madurez, tiempo y temperatura de almacenamiento, cambiando de una resistencia en un rango de 1,4 kg/cm² a 0,9 kg/cm² para las temperaturas de 3°C a 9 °C, respectivamente, después de 2 semanas de almacenamiento. Valores inferiores a lo reportado por Condori (2017) que para la tuna blanca fue de 3,48 kg/cm² y 2,95 kg/cm² para la tuna morada. Comportamiento que Aguilar et al. (2007) explican indicando que todas las frutas y hortalizas durante la maduración y almacenamiento, sufren transformaciones bioquímicas, que provocan cambios en la textura y pérdida de la firmeza

Sin embargo, Mercado et al. (2007) afirma que en la tuna roja existe una relación directamente entre la temperatura y la actividad metabólica, que evita que este se ablande a temperaturas de refrigeración, estadísticamente ni la temperatura ni el tiempo de almacenamiento afectaron la firmeza de la pulpa de la tuna roja. Comportamiento contrario a lo hallado en la tuna amarilla de Sitajara, donde tanto el tiempo y la temperatura de almacenamiento resultaron significativos ($P < 0,05$) sobre la firmeza de la tuna amarilla.

Ferradas et al. (2012), evaluaron el efecto de la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre el color, la textura y el contenido de aceite en palta Hass recién cosechadas, que se almacenaron a 2-8 °C, durante 7-21 días, y determinaron que los rangos de tiempo y temperatura tuvieron significancia sobre la firmeza instrumental (lb-f) coincidiendo con el comportamiento y significancia ocurrido en la tuna amarilla almacenada pues también su firmeza instrumental (kg-f) resultó significativa y disminuyó cuando la temperatura (3 a 9°C) y el tiempo (2 a 4 semanas) van aumentando.

e) Índice de madurez

En la conservación de frutas no climatéricas pueden presentarse cambios en su composición química por acción enzimática, esta intensidad es marcada por la producción de ácidos y la concentración de iones hidrógeno, más que por la acidez titulable, este efecto se debe a que los azúcares como glucosa y fructosa son usados por las células de las frutas para generar ATP (Singh & Rajkumar, 1999). Esto explicaría del porque a medida que se cosecha la tuna amarilla con estadíos más tardíos, al final de la conservación de 4 semanas la acidez en general va disminuyendo, pero a la vez el contenido de los sólidos solubles va en aumento, comportamiento que definitivamente incidirá en la variación de la relación del índice de madurez.

5.3.2 Características sensoriales

a) Color

Afirma Romojaro (2016) que el color es uno de los atributos sensoriales que valora el consumidor para la adquisición de un producto, contribuyendo más a la valoración de la calidad que ningún factor individualmente. Esta valoración es aplicable tanto a la corteza como a la pulpa del fruto. Condiciones que también se consideraron al momento de evaluar la tuna amarilla de Sitajara en lo que respecta al color.

Los síntomas de daños por frío en calabacín que Romojaro (2016) determinó, no se manifiestan en el color de los frutos almacenados entre 1 a 10°C, ya que no se observan ni pardeamiento, ni amarillamiento de la piel, síntomas característicos del desarrollo de esta fisiopatía. Sin embargo, en el caso de la tuna, que es una fruta, pero no climatérica, los panelistas semi entrenados notaron diferencias importantes destacando que a dos semanas de almacenamiento la aceptabilidad llega hasta 3 escala de 5 puntos. Mientras que a 4 semanas la aceptabilidad llega hasta 5, es decir que a la vista del consumidor existen diferencias sustanciales de la tuna durante la poscosecha en condiciones de almacenamiento.

b) Sabor

Con respecto a los atributos sensoriales Amaya (2009) indica que el sabor cambia debido al hidrólisis de los almidones que se transmiten en azúcares, por la desaparición de los taninos y otros productos causantes del sabor astringente y por la disminución de la acidez debido a la degradación de los ácidos orgánicos.

c) Olor

El aroma se desarrolla por la formación de una serie de compuestos volátiles que imparten un olor característico a los diferentes frutos. En consecuencia, una cosecha temprana de la tuna amarilla de Sitajara, almacenada en refrigeración, demoraría en hidrolizar sus almidones y acompañado por un retardo en la generación de aromas, eso explicó por qué el óptimo resultante fue del estadio tardío (4), es decir, las tunas verdes refrigeradas conserven aún su astringencia de fruta inmadura, en cambio una cosecha de tunas medianamente maduras, la refrigeración conserva en tiempo razonable, sus condiciones sensoriales.

d) Textura

Carpenter (2000) afirma que, por lo general, la textura de las frutas cambia debido al hidrólisis de los almidones y de las pectinas, por la

reducción de su contenido de fibra y los tornan blandos y más susceptibles de ser dañados durante el manejo poscosecha.

e) Aceptabilidad general

En el caso de las tunas de Sitajara, si las labores de poscosecha tienden a ablandar la fruta, se debe considerar la preferencia del consumidor en preferir tunas más blandas que turgentes. Thompson (2008) menciona que la maduración es la secuencia de cambios en color, olor, sabor y textura, asociados a la pérdida de clorofila, cambios de acidez, astringencia, dulzor, fenoles, azúcares, compuestos volátiles y textura. En la tuna amarilla, dichos cambios se han ralentizado por efecto de la refrigeración que resultó significativa. Ochoa y Guerrero, (2010) al almacenar tunas rojas a 4, 9 y 28°C observaron un aumento de la vida útil, disminuyendo la pérdida de peso, firmeza, y con buena apariencia hasta los 28 días de almacenamiento, resultados similares a la tuna amarilla de Sitajara en refrigeración de. Sin embargo, Ponce y Vela (2010) en tunas de la variedad blanca y amarilla, determinó que la madurez al 50% tuvo las mejores características en fruta fresca. En estado de madurez 75% pintón fue la de mayor tiempo de vida útil con seis semanas en refrigeración y con las mejores características. Dichos tiempos superan las 4 semanas del óptimo en refrigeración de la variedad amarilla de Sitajara.

CONCLUSIONES

1. La influencia de la poscosecha de la tuna en refrigeración: sobre la pérdida de peso de la tuna amarilla fue significativa (p valor $< 0,05$), donde la mayor pérdida de peso será a mayor estadio de madurez y mayor temperatura de refrigeración. Sobre la densidad no fue significativo (p valor $< 0,05$), es decir no sufrió mayores variaciones. Sin embargo, la humedad fue influenciada significativamente por efecto del estadio de madurez, donde será menor la humedad cuanto mayor sea el estadio de cosecha. Asimismo, fueron significativos (p valor $< 0,05$), sobre la firmeza donde a 4 semanas almacenamiento los altos valores de firmeza son ligeramente menores a la firmeza de la tuna almacenada a 2 semanas de refrigeración. Sobre los sólidos solubles y la acidez fueron significativos el estadio de madurez y tiempo donde a 4 semanas de almacenamiento la tendencia de mayores valores es la misma. Con respecto al pH fue significativo la temperatura de refrigeración donde a 4 semanas de almacenamiento los mayores valores de pH se darán en tunas cosechadas a mayor estadio y almacenadas a máxima temperatura de refrigeración 9°C . En general la refrigeración ralentizo los procesos de deterioro hasta niveles aceptables.

2. La influencia de la poscosecha de la tuna en refrigeración sobre la aceptabilidad del color fue significativa (p valor $< 0,05$) donde a condición de 4 semanas de almacenamiento, la tendencia de mayores valores de aceptabilidad del color es la misma. Sobre el olor y sabor fueron significativos (p valor $< 0,05$) el tiempo de almacenamiento, donde a mayor tiempo de almacenamiento mayor será el incremento de la aceptabilidad de dichos atributos. Sin embargo, la textura y la aceptabilidad general no reportó mayores variaciones, destacando que en general la preferencia del consumidor es por tunas amarillas más blandas, menos ácidas y consecuentemente más dulces.

RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones referidas a la conservación por congelación de la pulpa de la tuna fin de ampliar su vida útil.
2. Evaluar la posibilidad de elaborar bebidas a base de pulpa de la tuna utilizando enzimas para facilitar su extracción y/o mezclando con jugos de otras frutas o vegetales, optimizando su aceptabilidad sensorial.
3. Evaluar la aplicación de atmósferas modificadas o controladas en el almacenamiento por refrigeración de las tunas a fin de mejorar las cualidades sensoriales del fruto en conservación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, O. (2003). Buena Práctica y Manejo Pos cosecha de Frutas Para el Consumo en Fresco. Universidad Politécnica. Quito-Ecuador.
- Aguilar, L, M.T. Martínez, A. Barrientos, N. Aguilar y C. Gallegos. (2007). Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 9:122-135.
- Amaya, J. (2009). El cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica*). Trujillo: Gerencia Regional Agraria. La Libertad-Perú.
- Anuario Estadístico Agrario Sub-Región (2017) En <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuarios-estadisticos>
- A.O.A.C., (1990). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.p. 1213.
- Berger, H. (2004). Cosecha, índices de madurez y manejo de frutas y hortalizas. Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile.
- Carpenter, R. (2000). Análisis Sensorial en el Desarrollo y Control de la Calidad de Alimentos. Ed. Acriba. Zaragoza – España.
- Castro J.; Paredes C., Muñoz D., (2009) El cultivo de tuna *Opuntia ficus indica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú.

- Coavoy, I. (2015). Evaluación de la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos de la tuna morada (*Opuntia ficus-indica*) del distrito de San Bartolomé, Huarochirí, lima. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Alimentos. Universidad Peruana Unión, Lima.
- Condori D. (2017). Evaluación del efecto de sales de calcio en la mejora de las propiedades fisicoquímicas y la conservación de dos variedades de tunas (*Opuntia ficus indica*). Tesis. Universidad nacional del altiplano. Puno – Perú.
- Gerencias/Direcciones Regionales de Agricultura (2016). En: <http://www.agritacna.gob.pe/>
- Duru, B. y Turker, N. (2005). Changes in physical properties and chemical composition of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) during Maturation. Journal of the Professional Association for Cactus.
- Esquivel, P. (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. Agronomía Mesoamericana. 15(2):215-219.
- FAO (1987) Manual para el mejoramiento del manejo pos cosecha de frutas y hortalizas. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago - Chile.
- FAO (2000) Manual de manejo pos cosecha de frutas tropicales. Roma, Italia.

- Ferradas A., Rodríguez F., Sichejaraf R. (2012). Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en el color de la cáscara, firmeza y contenido de aceite en palta (*Persea americana* Mili) variedad Hass Hass. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo-Perú.
- Galati, E. M., Mondicclo, M. R., Giuffrida, D., Dugo, G., Miecli, N., Pergolizzi, S., Taviano, M. F. (2003). Chemical characterization and biological effects of sicilian *Opuntía ficus indica* (L.) Mili. Fruit juice: antioxidant and antiulcerogenic activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51:4903-4908.
- García T., Chaparro I., Duran I. Ávila, Barrios B. (2007) Efecto del etefón (ethrel) y el tiempo de almacenamiento sobre la maduración del plátano (*Musa AAB* cv. Hartón) bajo refrigeración Bioagro 19(2). Universidad de Carabobo. Venezuela.
- Gurrieri, S., Miceli, L., Lanza, C.M., Tomaselli, F., Bonomo, R.P., y E. Rizzarelli 2000. Chemical characterization of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and perspectives for the storage of its juice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48:5424-5431.
- Gutiérrez H., De la Vara R. (2012) Análisis y diseño de experimentos Tercera edición. McGrawHill. Guadalajara, México.
- Kirk, R Sawyer, R., Egan, H (2004). Composición y Análisis de alimentos de Pearson. Compañía Editorial Continental. México, D.F.

- Knee M., Hatfield S; Smith S.M. (1989). Evaluation of various indicators of maturity for harvest of apple fruits intended for long-term storage, J. Hortic. Sci. 64, 403-411.
- Mercado, J., M. López, G. Martínez, J. Sarahí y S. Arévalo, (2007). Estudio de las propiedades fisicoquímicas de las variedades de tuna rojo pelón (*Opuntia ficus-indica*), morada, reina (*Opuntia amyclaea*) y Xoconostle (*Opuntia matudae scheinvar*) bajo almacenamiento refrigerado, IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Guanajuato, Gto., México.
- Ochoa C. y Guerrero J. (2010). Efecto del Almacenamiento a Diferentes Temperaturas sobre la Calidad de Tuna Roja (*Opuntia ficus indica* L. Miller)", estudio el efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja (*Opuntia ficus indica* L. Miller), variedad San Martín.
- Pérez, V. (1998). La Tuna; Base del Desarrollo de Culturas Mesoamericanas. Abriendo Surcos.
- Ponce A. & Vela D. (2010). "Manejo post cosecha de dos variedades de Tuna (*Opuntia ficus indica*). Universidad Técnica Del Norte. Ibarra-Ecuador
- Reyes, M., & Lavin, A. (2004). Usos y Aplicaciones de Tuna. Quito Ecuador.

- Rodríguez, L., U. Pascual & H. Niemeyer. (2006). Local identification and valuation of ecosystem goods and services from *Opuntia* scrubland in Ayacucho, Perú. *Ecological Economics* 57: 30-44.
- Romero M^a. (2016). Tratamientos Poscosecha para el Control de los Daños por Frío en Frutos Climatéricos y No Climatéricos. Universidad de Murcia. Murcia-España.
- Singh, S. P., & Rajkumar. (1999). *Post-harvest physiology of fruit and vegetable crops*. *Advances in Plant Physiology*.
- Solano, L. (2000). Botánica Sistemática. Mimeografiado UNA-Puno, Perú.
- Stintzing, F. C, Schieber, A., & Carie, R. (2001). *Phytochemical and nutritional significance of cactus pear*. En <http://doi.org/10.1007/s002170000219>
- Terranova (1995). Enciclopedia Agropecuaria, Ingeniería y Agroindustria (Tomo V). Bogotá -Colombia, ed. Terranova. p 45-46.
- Thompson, K. (2008). Postharvest technology of fruit and vegetables. Recuperado 16 de octubre del 2000 disponible en [http://doi.org/10.1016/S0925-5214\(97\)87279-1](http://doi.org/10.1016/S0925-5214(97)87279-1)
- Torres, E. (2008). Conociendo la cadena Productiva de Tuna y Cochinilla en Ayacucho: Ayacucho, Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de análisis sensorial

FRUTA ALMACENADA EN REFRIGERACIÓN

Nombre..... Fecha:.....

Atributo:.....

INSTRUCCIONES: Esta usted recibiendo muestras de TUNA (*Opuntia ficus-indica*), variedad amarilla a diferentes estadios de madurez y almacenamiento, le solicitamos los evalué en función de los atributos de acuerdo a su preferencia, según las escalas siguientes:

Puntaje:

Excelente	5
Muy bueno	4
Bueno	3
Regular	2
Malo	1

Características	22711	94873	54921
Color			
Olor			
Sabor			
Textura			
Aceptabilidad			

Comentarios.....

.....

.....

Anexo 2. Análisis estadístico para la pérdida de peso

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	57,910	9,6517	22,31	0
Lineal	3	54,014	18,0047	41,62	0
X1: Estadío de madurez	1	0,9919	0,9919	2,29	0,158
X2: Temperatura (°C)	1	3,2552	3,2552	7,52	0,019
X3: Tiempo (Semana)	1	49,766	49,7669	115,0	0
X1 *X2:	1	1,1781	1,1781	2,72	0,127
X1 *X3:	1	0,02	0,02	0,05	0,834
X2: *X3	1	2,698	2,698	6,24	0,03
Error	11	4,7588	0,4326		
Total	17	62,669			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,657738	92,41%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		6,163	0,155	39,75	0
X1: Estadío de madurez	0,575	0,288	0,19	1,51	0,158
X2: Temperatura (°C)	1,042	0,521	0,19	2,74	0,019
X3: Tiempo (Semana)	3,326	1,663	0,155	10,73	0
X1 *X2:	0,768	0,384	0,233	1,65	0,127
X1 *X3:	0,082	0,041	0,19	0,22	0,834
X2: *X3	-0,948	-0,474	0,19	-2,5	0,03

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Var. peso (\%)} = -0,90 - 0,603 X1: +0,264 X2:+2,489X3: \\ +0,1279 X1:*X2:+0,041X1:*X3:-0,1581X2:*X3:$$

Anexo 3. Análisis estadístico para la humedad

Regresión de superficie de respuesta: **Humedad (%)**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	17,8362	2,9727	3,2	0,045
Lineal	3	14,4042	4,8014	5,16	0,018
X1: Estadío de madurez	1	12,4033	12,4033	13,34	0,004
X2: Temperatura (°C)	1	1,0208	1,0208	1,1	0,317
X3: Tiempo (Semana)	1	0,98	0,98	1,05	0,327
Interacción	3	3,4321	1,144	1,23	0,345
X1 *X2:	1	2,1012	2,1012	2,26	0,161
X1 *X3:	1	0,9633	0,9633	1,04	0,331
X2: *X3	1	0,3675	0,3675	0,4	0,542
Error	11	10,2282	0,9298		
Total	17	28,0644			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,96428	63,55%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		83,044	0,227	365,38	0,00
X1: Estadío de madurez	-2,033	-1,017	0,278	-3,65	0,004
X2: Temperatura (°C)	0,583	0,292	0,278	1,05	0,317
X3: Tiempo (Semana)	-0,467	-0,233	0,227	-1,03	0,327
X1 *X2:	-1,025	-0,512	0,341	-1,5	0,161
X1 *X3:	-0,567	-0,283	0,278	-1,02	0,331
X2: *X3	0,35	0,175	0,278	0,63	0,542

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y \text{ Humedad (\%)} = 81,6361 + 0,858333 * X1 + 0,434722 * X2 + 0,266667 * X3 - 0,170833 * X1 * X2 - 0,283333 * X1 * X3 + 0,0583333 * X2 * X3$$

Anexo 4. Análisis estadístico para la densidad

Regresión de superficie de respuesta: **Densidad**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	0,004339	0,000723	0,72	0,641
Lineal	3	0,002367	0,000789	0,79	0,525
X1: Estadío de madurez	1	0,0012	0,0012	1,2	0,297
X2: Temperatura (°C)	1	0,000271	0,000271	0,27	0,613
X3: Tiempo (Semana)	1	0,000896	0,000896	0,9	0,364
Interacción	3	0,001972	0,000657	0,66	0,595
X1 *X2:	1	0,00021	0,00021	0,21	0,656
X1 *X3:	1	0,001452	0,001452	1,45	0,254
X2: *X3	1	0,00031	0,00031	0,31	0,589
Error	11	0,011007	0,001001		
Total	17	0,015346			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,0316332	28,27%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		1,01761	0,00746	136,48	0,0
X1: Estadío de madurez	-0,02	-0,01	0,00913	-1,1	0,297
X2: Temperatura (°C)	0,0095	0,00475	0,00913	0,52	0,613
X3: Tiempo (Semana)	-0,01411	-0,00706	0,00746	-0,95	0,364
X1 *X2:	0,0102	0,0051	0,0112	0,46	0,656
X1 *X3:	-0,022	-0,011	0,00913	-1,2	0,254
X2: *X3	0,01017	0,00508	0,00913	0,56	0,589

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1,02153 + 0,01275*X1: - 0,008625*X2: + 0,0157778*X3: + 0,00170833*X1:*X2: - 0,011*X1:*X3: + 0,00169444*X2:*X3:$$

Anexo 5. Análisis estadístico para la firmeza

Regresión de superficie de respuesta: **Firmeza**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	0,364798	0,0608	77,73	0,0
Lineal	3	0,36358	0,121193	154,93	0,0
X1: Estadío de madurez	1	0,177633	0,177633	227,08	0,0
X2: Temperatura (°C)	1	0,086191	0,086191	110,19	0,0
X3: Tiempo (Semana)	1	0,099756	0,099756	127,53	0,0
Interacción	3	0,001218	0,000406	0,52	0,678
X1 *X2:	1	0,000015	0,000015	0,02	0,892
X1 *X3:	1	0,000176	0,000176	0,23	0,644
X2: *X3	1	0,001027	0,001027	1,31	0,276
Error	11	0,008605	0,000782		
Total	17	0,373402			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,0279685	97,70%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		1,12144	0,00659	170,12	0,0
X1: Estadío de madurez	-0,24333	-0,12167	0,00807	-15,07	0,0
X2: Temperatura (°C)	-0,1695	-0,08475	0,00807	-10,5	0,0
X3: Tiempo (Semana)	-0,14889	-0,07444	0,00659	-11,29	0,0
X1 *X2:	-0,00275	-0,00137	0,00989	-0,14	0,892
X1 *X3:	0,00767	0,00383	0,00807	0,47	0,644
X2: *X3	-0,0185	-0,00925	0,00807	-1,15	0,276

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 1,85003 - 0,130417*X1: - 0,017625*X2: - 0,0674444*X3: - 0,000458333*X1:*X2: + 0,00383333*X1:*X3: - 0,00308333*X2:*X3:$$

Anexo 6. Análisis estadístico para pH

Regresión de superficie de respuesta: pH

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	0,268218	0,044703	3,26	0,043
Lineal	3	0,227297	0,075766	5,52	0,015
X1: Estadío de madurez	1	0,009075	0,009075	0,66	0,433
X2: Temperatura (°C)	1	0,192533	0,192533	14,04	0,003
X3: Tiempo (Semanas)	1	0,025689	0,025689	1,87	0,198
Interacción	3	0,040921	0,01364	0,99	0,431
X1 *X2:	1	0,001013	0,001013	0,07	0,791
X1 *X3:	1	0,025208	0,025208	1,84	0,202
X2: *X3	1	0,0147	0,0147	1,07	0,323
Error	11	0,150893	0,013718		
Total	17	0,419111			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,117122	64,00%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		6,1978	0,0276	224,51	0,00
X1: Estadío de madurez	-0,055	-0,0275	0,0338	-0,81	0,433
X2: Temperatura (°C)	0,2533	0,1267	0,0338	3,75	0,003
X3: Tiempo (Semana)	0,0756	0,0378	0,0276	1,37	0,198
X1 *X2:	0,0225	0,0113	0,0414	0,27	0,791
X1 *X3:	0,0917	0,0458	0,0338	1,36	0,202
X2: *X3	-0,07	-0,035	0,0338	-1,04	0,323

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y \text{ pH} = 6,18361 - 0,1875*X1: + 0,0659722*X2: - 0,0297222*X3: + 0,00375*X1:*X2: + 0,0458333*X1:*X3: - 0,0116667*X2:*X3:$$

Anexo 7. Análisis estadístico para sólidos solubles

Regresión de superficie de respuesta: **Sólidos solubles**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Modelo	6	4,12265	0,68711	5,04	0,01
Lineal	3	4,05021	1,35007	9,91	0,002
X1: Estadío de madurez	1	1,84083	1,84083	13,51	0,004
X2: Temperatura (°C)	1	0,4107	0,4107	3,01	0,11
X3: Tiempo (Semanas)	1	1,79867	1,79867	13,2	0,004
Interacción de 2 factores	3	0,07245	0,02415	0,18	0,91
X1 *X2:	1	0,01201	0,01201	0,09	0,772
X1 *X3:	1	0,00163	0,00163	0,01	0,915
X2: *X3	1	0,0588	0,0588	0,43	0,525
Error	11	1,4988	0,13625		
Total	17	5,62145			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,369127	73,34%

Coeficientes codificados	EE del					
	Término	Efecto	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante			14,0317	0,087	161,28	0,00
X1: Estadío de madurez	0,783	0,392	0,107	3,68	0,004	
X2: Temperatura (°C)	0,37	0,185	0,107	1,74	0,11	
X3: Tiempo (Semana)	0,6322	0,3161	0,087	3,63	0,004	
X1 *X2:	-0,078	-0,039	0,131	-0,3	0,772	
X1 *X3:	-0,023	-0,012	0,107	-0,11	0,915	
X2: *X3	-0,14	-0,07	0,107	-0,66	0,525	

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y (\text{°Brix}) = 10,7808 + 0,504167 * X1 + 0,170417 * X2 + 0,491111 * X3 - 0,0129167 * X1 * X2 - 0,0116667 * X1 * X3 - 0,0233333 * X2 * X3$$

Anexo 8. Análisis estadístico para la acidez

Regresión de superficie de respuesta: **Acidez**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	0,000276	0,000046	5,48	0,008
Lineal	3	0,000258	0,000086	10,23	0,002
X1: Estadío de madurez	1	0,000033	0,000033	3,96	0,072
X2: Temperatura (°C)	1	0,00014	0,00014	16,66	0,002
X3: Tiempo (Semana)	1	0,000085	0,000085	10,05	0,009
Interacción	3	0,000019	0,000006	0,74	0,553
X1 *X2:	1	0,000003	0,000003	0,37	0,554
X1 *X3:	1	0,000001	0,000001	0,16	0,698
X2: *X3	1	0,000014	0,000014	1,68	0,222
Error	11	0,000092	0,000008		
Total	17	0,000369			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,0028996	74,93%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		0,065944	0,000683	96,49	0,00
X1: Estadío de madurez	-0,003333	-0,001667	0,000837	-1,99	0,072
X2: Temperatura (°C)	-0,006833	-0,003417	0,000837	-4,08	0,002
X3: Tiempo (Semana)	-0,004333	-0,002167	0,000683	-3,17	0,009
X1 *X2:	-0,00125	-0,00063	0,00103	-0,61	0,554
X1 *X3:	0,000667	0,000333	0,000837	0,4	0,698
X2: *X3	0,002167	0,001083	0,000837	1,29	0,222

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y (\% \text{ A.C.}) = 0,0900278 - 0,00141667 * X1 - 0,00159722 * X2 - 0,00533333 * X3 - 0,000208333 * X1 * X2 + 0,000333333 * X1 * X3 + 0,000361111 * X2 * X3$$

Anexo 9. Análisis estadístico para el índice de madurez

Regresión de superficie de respuesta: **índice de madurez**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	6127,84	1021,31	10,47	0,001
Lineal	3	5959,28	1986,43	20,36	0
X1: Estadío de madurez	1	1661,45	1661,45	17,03	0,002
X2: Temperatura (°C)	1	2048,85	2048,85	21	0,001
X3: Tiempo (Semana)	1	2248,97	2248,97	23,05	0,001
Interacción	3	168,56	56,19	0,58	0,643
X1 *X2:	1	36,55	36,55	0,37	0,553
X1 *X3:	1	1,33	1,33	0,01	0,909
X2: *X3	1	130,68	130,68	1,34	0,272
Error	11	1073,12	97,56		
Total	17	7200,96			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
9,87708	85,10%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		213,84	2,33	91,86	0,00
X1: Estadío de madurez	23,53	11,77	2,85	4,13	0,002
X2: Temperatura (°C)	26,13	13,07	2,85	4,58	0,001
X3: Tiempo (Semana)	22,36	11,18	2,33	4,8	0,001
X1 *X2:	4,27	2,14	3,49	0,61	0,553
X1 *X3:	-0,67	-0,33	2,85	-0,12	0,909
X2: *X3	-6,6	-3,3	2,85	-1,16	0,272

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y (\% \text{Brix}/\% \text{A.C.}) = 108,903 + 8,49167 * X1 + 5,51806 * X2 + 18,7778 * X3 + 0,7125 * X1 * X2 - 0,333333 * X1 * X3 - 1,1 * X2 * X3$$

Anexo 10. Análisis estadístico para el color

Regresión de superficie de respuesta: **Color**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	3,83889	0,63981	4,44	0,016
Lineal	3	3,49972	1,16657	8,09	0,004
X1: Estadío de madurez	1	1,20333	1,20333	8,35	0,015
X2: Temperatura (°C)	1	0,02083	0,02083	0,14	0,711
X3: Tiempo (Semana)	1	2,27556	2,27556	15,79	0,002
Interacción	3	0,33917	0,11306	0,78	0,527
X1 *X2:	1	0,045	0,045	0,31	0,588
X1 *X3:	1	0,05333	0,05333	0,37	0,555
X2: *X3	1	0,24083	0,24083	1,67	0,223
Error	11	1,58556	0,14414		
Total	17	5,42444			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,3797	70,77%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		3,0444	0,0895	34,02	0,00
X1: Estadío de madurez	0,633	0,317	0,11	2,89	0,015
X2: Temperatura (°C)	0,083	0,042	0,11	0,38	0,711
X3: Tiempo (Semana)	0,7111	0,3556	0,0895	3,97	0,002
X1 *X2:	-0,15	-0,075	0,134	-0,56	0,588
X1 *X3:	0,133	0,067	0,11	0,61	0,555
X2: *X3	-0,283	-0,142	0,11	-1,29	0,223

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y \text{ Color} = 0,244444 + 0,266667 * X1 + 0,230556 * X2 + 0,438889 * X3 - 0,025 * X1 * X2 + 0,0666667 * X1 * X3 - 0,0472222 * X2 * X3$$

Anexo 11. Análisis estadístico para el olor

Regresión de superficie de respuesta: **Olor**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	1,87667	0,31278	5,9	0,006
Lineal	3	1,70083	0,56694	10,69	0,001
X1: Estadío de madurez	1	0,01333	0,01333	0,25	0,626
X2: Temperatura (°C)	1	0,0675	0,0675	1,27	0,283
X3: Tiempo (Semana)	1	1,62	1,62	30,55	0
Interacción	3	0,17583	0,05861	1,11	0,388
X1 *X2:	1	0,005	0,005	0,09	0,765
X1 *X3:	1	0,03	0,03	0,57	0,468
X2: *X3	1	0,14083	0,14083	2,66	0,131
Error	11	0,58333	0,05303		
Total	17	2,46			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,2303	76,29%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		2,9333	0,0543	54,04	0,00
X1: Estadío de madurez	0,0667	0,0333	0,0665	0,5	0,626
X2: Temperatura (°C)	0,15	0,075	0,0665	1,13	0,283
X3: Tiempo (Semana)	0,6	0,30	0,0543	5,53	0,00
X1 *X2:	0,05	0,025	0,0814	0,31	0,765
X1 *X3:	0,1	0,05	0,0665	0,75	0,468
X2: *X3	-0,2167	-0,1083	0,0665	-1,63	0,131

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y \text{ Olor} = 1,73333 - 0,166667*X1: + 0,108333*X2: + 0,366667*X3: + 0,00833333*X1:*X2: + 0,05*X1:*X3: - 0,0361111*X2:*X3:$$

Anexo 12. Análisis estadístico para el sabor

Regresión de superficie de respuesta: **Sabor**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	2,69514	0,44919	3,49	0,035
Lineal	3	2,04889	0,68296	5,31	0,017
X1: Estadío de madurez	1	0,30083	0,30083	2,34	0,154
X2: Temperatura (°C)	1	0,0675	0,0675	0,52	0,484
X3: Tiempo (Semana)	1	1,68056	1,68056	13,07	0,004
Interacción	3	0,64625	0,21542	1,68	0,229
X1 *X2:	1	0,45125	0,45125	3,51	0,088
X1 *X3:	1	0,1875	0,1875	1,46	0,253
X2: *X3	1	0,0075	0,0075	0,06	0,814
Error	11	1,41431	0,12857		
Total	17	4,10944			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,3586	65,58%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		2,9944	0,0845	35,43	0,00
X1: Estadío de madurez	0,317	0,158	0,104	1,53	0,154
X2: Temperatura (°C)	0,15	0,075	0,104	0,72	0,484
X3: Tiempo (Semana)	0,6111	0,3056	0,0845	3,62	0,004
X1 *X2:	0,475	0,237	0,127	1,87	0,088
X1 *X3:	0,25	0,125	0,104	1,21	0,253
X2: *X3	-0,05	-0,025	0,104	-0,24	0,814

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y \text{ Sabor} = 3,85278 - 0,691667*X1: - 0,1875*X2: - 0,0194444*X3: + 0,0791667*X1:*X2: + 0,125*X1:*X3: - 0,00833333*X2:*X3:$$

Anexo 13. Análisis estadístico para la textura

Regresión de superficie de respuesta: **Textura**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	1,70222	0,2837	1,42	0,29
Lineal	3	0,34639	0,11546	0,58	0,641
X1: Estadío de madurez	1	0,02083	0,02083	0,1	0,753
X2: Temperatura (°C)	1	0,27	0,27	1,35	0,27
X3: Tiempo (Semana)	1	0,05556	0,05556	0,28	0,608
Interacción	3	1,35583	0,45194	2,26	0,138
X1 *X2:	1	1,125	1,125	5,63	0,037
X1 *X3:	1	0,0675	0,0675	0,34	0,573
X2: *X3	1	0,16333	0,16333	0,82	0,385
Error	11	2,19778	0,1998		
Total	17	3,90			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,447	43,65%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		3,067	0,105	29,11	0,00
X1: Estadío de madurez	-0,083	-0,042	0,129	-0,32	0,753
X2: Temperatura (°C)	0,3	0,15	0,129	1,16	0,27
X3: Tiempo (Semana)	0,111	0,056	0,105	0,53	0,608
X1 *X2:	0,75	0,375	0,158	2,37	0,037
X1 *X3:	-0,15	-0,075	0,129	-0,58	0,573
X2: *X3	-0,233	-0,117	0,129	-0,9	0,385

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y \text{ Textura} = 3,6 - 0,566667*X1: - 0,208333*X2: + 0,513889*X3: + 0,125*X1:*X2: - 0,075*X1:*X3: - 0,0388889*X2:*X3:$$

Anexo 14. Análisis estadístico para la aceptabilidad general

Regresión de superficie de respuesta: **Aceptabilidad**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	1,02792	0,171319	1,15	0,396
Lineal	3	0,25583	0,085278	0,57	0,644
X1: Estadío de madurez	1	0,00333	0,003333	0,02	0,884
X2: Temperatura (°C)	1	0,0075	0,0075	0,05	0,826
X3: Tiempo (Semana)	1	0,245	0,245	1,65	0,226
Interacción	3	0,77208	0,257361	1,73	0,218
X1 *X2:	1	0,00125	0,00125	0,01	0,929
X1 *X3:	1	0,16333	0,163333	1,1	0,317
X2: *X3	1	0,6075	0,6075	4,09	0,068
Error	11	1,63486	0,148624		
Total	17	2,66278			

Resumen del modelo

S	R-cuad.
0,3855	38,60%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		3,0389	0,0909	33,44	0,00
X1: Estadío de madurez	0,033	0,017	0,111	0,15	0,884
X2: Temperatura (°C)	-0,05	-0,025	0,111	-0,22	0,826
X3: Tiempo (Semana)	0,2333	0,1167	0,0909	1,28	0,226
X1 *X2:	0,025	0,012	0,136	0,09	0,929
X1 *X3:	0,233	0,117	0,111	1,05	0,317
X2: *X3	-0,45	-0,225	0,111	-2,02	0,068

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y \text{ Aceptabilidad} = 2,46389 - 0,358333*X1: + 0,204167*X2: + 0,216667*X3: + 0,00416667*X1:*X2: + 0,116667*X1:*X3: - 0,075*X2:*X3:$$

Anexo 15. Norma técnica para la tuna

NORMA MUNDIAL DEL CODEX PARA LA TUNA CODEX STAN 186-1993

1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Esta norma se aplica a las variedades comerciales de tuna obtenidas de *Opuntia ficus indica*, *O. streptacanthae*, y *O. lindheimeri*, de la familia de las Cactáceas, que habrán de suministrarse frescas al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado. Se excluyen las tunas destinadas a elaboración industrial.

2. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CALIDAD

2.1. Requisitos mínimos

A reserva de las disposiciones especiales para cada categoría y las tolerancias permitidas, las tunas deberán:

estar enteras;
tener una consistencia firme;
ser frescas;
estar sanas; deberán excluirse los productos afectados por podredumbre o deterioro que impidan su consumo;
estar exentas de espinas;
estar prácticamente exentas de cualquier materia extraña visible;
estar prácticamente exentas de daños causados por parásitos;
estar exentas de imperfecciones marcadas; estar exentas de daños causados por temperaturas bajas;
estar exentas de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica;
estar exentas de cualquier olor y/o sabor extraños;
estar suficientemente desarrolladas y presentar un grado de madurez satisfactorio según la naturaleza del producto;
dependiendo de la variedad de la tuna, el receptáculo de la fruta será plano o ligeramente hundido;
presentar una forma, color, sabor y olor característicos de la especie.

El desarrollo y condición de las tunas deberán ser tales que les permitan soportar el transporte y la manipulación, y llegar en estado satisfactorio a su destino.

2.2. Clasificación

Las tunas se clasifican en tres categorías según se definen a continuación:

2.2.1. Categoría "Extra"

Las tunas de esta categoría deberán ser de calidad superior y características de la variedad y/o tipo comercial. No deberán tener defectos, salvo defectos superficiales muy leves, siempre y cuando no afecten al aspecto general, calidad y estado de conservación del producto y a su presentación en el envase.

2.2.2. Categoría I

Las tunas de esta categoría deberán ser de buena calidad y características de la variedad y/o tipo comercial. Podrán permitirse sin embargo los siguientes defectos leves, siempre y cuando no afecten el aspecto general del producto, a su calidad y a su estado de conservación y a su presentación en el envase:

defectos leves de forma y color;
defectos leves de la piel debidos a magulladuras, quemaduras producidas por el sol, costras u otros defectos superficiales. La superficie total afectada no deberá exceder del cuatro por ciento.
En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa de la fruta.

2.2.3. Categoría II

Esta categoría comprende las tunas que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero satisfacen los requisitos mínimos especificados anteriormente en la Sección 2.1. Las tunas de esta clase deberán satisfacer las características representativas de la variedad y/o tipo comercial.

Podrán permitirse los siguientes defectos, siempre y cuando las tunas conserven sus características esenciales en lo que respecta a su calidad y estado de conservación y a su presentación:

- defectos de forma y color, siempre y cuando el producto tenga las características comunes de la tuna;
- defectos de la piel debidos a magulladuras, cicatrices, costras, quemaduras producidas por el sol u otros defectos. La superficie total afectada no deberá exceder del 8 por ciento.

En ningún caso deberán los defectos afectar a la pulpa de la fruta.

3. DISPOSICIONES SOBRE LA CLASIFICACIÓN POR CALIBRES

El calibre se determina por el peso de la tuna de acuerdo con el cuadro siguiente:

Letra de referencia	Peso en gramos
A	90 - 105
B	105 - 140
C	140 - 190
D	190 - 270
E	>270

4. DISPOSICIONES SOBRE TOLERANCIAS

En cada envase se permitirán tolerancias en lo referente a la calidad y calibre para los productos que no satisfagan los requisitos de la categoría indicada.

4.1. Tolerancias de Calidad

4.1.1. Categoría "Extra"

Cinco por ciento, en número o en peso, de las tunas que no satisfagan los requisitos de esta categoría, pero satisfagan los de la categoría I o, en casos excepcionales, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.

4.1.2. Categoría I

Diez por ciento, en número o en peso, de las tunas que no satisfagan los requisitos de esta categoría, pero satisfagan los de la categoría II o, en casos excepcionales, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.

4.1.3. Categoría II

Diez por ciento, en número o en peso, de las tunas que no satisfagan los requisitos de esta categoría ni los requisitos mínimos, con excepción de los productos afectados por podredumbre, irregularidades pronunciadas o cualquier otra clase de deterioro que haga que no sean aptas para el consumo.

4.2. Tolerancias de calibre

Cinco por ciento para la categoría "Extra" y diez por ciento para las categorías I o II; en número o en peso, de las tunas que no satisfagan los requisitos relativos al calibre, pero entren en la categoría inmediatamente inferior o superior a las indicadas en la Sección 3.