



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“EFECTO DEL EMPACADO AL VACÍO Y DEL ALMACENAMIENTO A BAJAS TEMPERATURAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA PITAYA (*Stenocereus pruinosus*)”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

ARMANDO TORRALBA GONZÁLEZ

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MIRNA PATRICIA SANTIAGO GÓMEZ

CODIRECTORA DE TESIS:

M.C. ORQUÍDEA SÁNCHEZ LÓPEZ

Huajuapán de León Oaxaca, México, Febrero 2013

AGRADECIMIENTOS

Por medio de estas líneas quiero agradecer a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

A mis padres, María Antonieta y Armando porque creyeron en mí, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada esta meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, pero más que nada, por su amor. A mis hermanos Eduardo y Miguel por estar ahí conmigo riendo y sufriendo a lo largo de estos años.

A toda mi familia, tíos, primos, abuelos y en particular a mi abuela Lucila que siempre estuvo pendiente de cómo me iba en mi día a día.

A mis directoras de tesis la Dra. Patricia Santiago Gómez y M.C. Orquídea Sánchez López por hacerme participe de este proyecto, por sus conocimientos transmitidos durante el mismo y por su paciencia.

A mis sinodales la Q.F.B. Juana Ramírez Andrade, Dra. Daniela Barrera García y M.C. Jesús G. López Luna por colaborar en la revisión de este trabajo.

A Karla, Eréndira, Iván, Andrea, Felipe, Stefi, Evelyn, Erick, Aideé y a los amigos que se han venido sumando durante mi estancia en la universidad. Muchas gracias por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes, gracias por ser mis amigos y recuerden que siempre los llevo en el corazón.

A las profesoras Paula, Alma, Dora y Luz por su gran apoyo y su motivación para la culminación de mis estudios profesionales.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en cada momento de mi vida.

Mandos

RESUMEN

El empaçado al vacío es el método más simple y más común de modificar la atmósfera interna de un envase, las condiciones que se generan pueden ayudar a conservar por un tiempo prolongado frutos, carnes y productos de panadería entre otros alimentos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del empaçado al vacío y del almacenamiento a bajas temperaturas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de la pitaya (*Stenocereus pruinosus*). Para realizar este estudio se adquirieron pitayas en la comunidad de San José Chichihualtepec, Santiago Chazumba, Oaxaca a finales del mes de junio del año 2012, posteriormente los frutos fueron seleccionados, desespinaados, lavados, desinfectados, secados, empaçados al vacío y almacenados a bajas temperaturas para posteriormente evaluarlas tanto fisicoquímica como microbiológicamente. Por otro lado, se planteó un diseño experimental en el cual se consideraron tres factores, el tiempo de vacío (13 y 15 segundos), la temperatura de almacenamiento (8 y 13°C) y el tiempo de almacenamiento (4, 8, 12 y 16 días) generando un total de 16 tratamientos, evaluados cada uno por triplicado. Las variables de respuesta fueron los análisis fisicoquímicos. Las diferencias significativas entre los niveles de los factores se analizaron mediante análisis de varianza con un nivel de significancia del 95%, utilizando el programa Minitab. Los resultados mostraron que los frutos empaçados sufrieron cambios significativos en el pH, acidez titulable, contenido de azúcares totales, humedad y firmeza con respecto a los frutos no empaçados. En el tratamiento en el cual se utilizó un tiempo de vacío de 13 segundos y una temperatura de 8°C se observó que los cambios fisicoquímicos de la pitaya se afectaron en menor grado durante 8 días de almacenamiento, en comparación con las pitayas no empaçadas en donde los cambios fisicoquímicos se presentaron rápidamente. Los resultados obtenidos muestran que el empaçado al vacío puede ser un método alternativo de preservación para la pitaya.

Palabras clave: *Stenocereus pruinosus*, empaçado al vacío, temperaturas bajas, características fisicoquímicas y microbiológicas.

CONTENIDO

LISTA DE ABREVIATURAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1. Pitaya (<i>Stenocereus pruinosus</i>)	2
2.1.1. Características fisicoquímicas y nutricionales	2
2.1.2. Vida útil	4
2.1.3. Producción	4
2.1.4. Manejo poscosecha	6
2.1.5. Formas de comercialización	7
2.2. Empacado al vacío	7
2.2.1. Repercusión del vacío en los productos empacados	8
3. ANTECEDENTES	11
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
5. JUSTIFICACIÓN	14
6. OBJETIVOS	15
6.1. Objetivo general	15
6.2. Objetivos específicos	15
7. HIPÓTESIS	15
8. METODOLOGÍA	16
8.1. Materia prima	17
8.2. Desespinado	17
8.3. Lavado y desinfectado	17
8.4. Secado	17
8.5. Empacado al vacío	17

8.6. Pruebas fisicoquímicas	17
8.6.1. Determinación de pH y acidez titulable	18
8.6.2. Determinación de azúcares totales	18
8.6.3. Determinación de humedad	18
8.6.4. Determinación de la firmeza	19
8.7. Pruebas microbiológicas	19
8.8. Diseño experimental y análisis estadístico	19
9. RESULTADOS	21
9.1. Pruebas preliminares para estimar el tiempo de vacío y la temperatura de almacenamiento	21
9.2. Determinaciones fisicoquímicas	23
9.2.1. pH	23
9.2.2. Acidez titulable	25
9.2.3. Azúcares totales	27
9.2.4. Humedad	28
9.2.5. Firmeza	30
9.3. Apariencia externa de las pitayas	32
9.4. Análisis microbiológicos	36
9.4.1. Bacterias mesófilas	36
9.4.2. Levaduras	37
9.4.3. Mohos	37
9.5. Análisis estadístico	40
10. CONCLUSIONES	45
11. PERSPECTIVAS	46
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE ABREVIATURAS

A _w	Actividad de agua
CAM	Metabolismo ácido de las crasuláceas
ETOH	Etanol
g	Gravedad
Ha	Hectárea
kcal	Kilocalorías
kgf	Kilogramos fuerza
kg/h	Kilogramo por hora
ppm	Partes por millón
UFC	Unidades Formadoras de Colonia
UFC/g	Unidades Formadoras de Colonia por gramo
μm	Micrómetros
μg	Microgramos

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.	Pitaya de mayo (<i>Stenocereus pruinosus</i>).	3
Figura 2.	Etapas del proceso y evaluación del empacado al vacío y del almacenado a bajas temperaturas de la pitaya (<i>Stenocereus pruinosus</i>).	16
Figura 3.	Evaluación de tiempos de empacado al vacío. (A) Primera prueba, (B) Segunda prueba y (C) Tercera prueba.	22
Figura 4.	Cambios en el pH de la pitaya, almacenada bajo condiciones de vacío y refrigeración.	23
Figura 5.	Cambios en la acidez titulable en porcentaje de ácido cítrico de la pitaya, almacenada bajo condiciones de vacío y refrigeración.	25
Figura 6.	Cambios en el contenido de azúcares totales (%) de la pitaya, almacenada bajo condiciones de vacío y refrigeración.	27
Figura 7.	Cambios en el contenido de humedad de la pitaya almacenada bajo condiciones de vacío y refrigeración.	29
Figura 8.	Cambios en la firmeza (kgf) de la pitaya almacenada bajo condiciones de vacío y refrigeración.	31
Figura 9.	Apariencia externa de la pitaya. (A) Deterioro progresivo del fruto y (B) Producción elevada de CO ₂ .	32
Figura 10.	Pitayas sin empacar y almacenadas a temperatura ambiente con presencia de mohos al quinto día posterior a su cosecha.	33
Figura 11.	Empacado al vacío y almacenado a bajas temperaturas de las pitayas.	33
Figura 12.	Pitayas empacadas al vacío y almacenadas a bajas temperaturas durante cuatro días.	34
Figura 13.	Pitayas empacadas al vacío y almacenadas a bajas temperaturas durante ocho días.	34
Figura 14.	Pitayas empacadas al vacío y almacenadas a bajas temperaturas durante doce días.	35
Figura 15.	Pitayas empacadas al vacío y almacenadas a bajas temperaturas durante dieciséis días.	35

Figura 16. Gráficas de efectos principales para (A) pH, (B) acidez titulable, (C) azúcares totales, (D) humedad y (E) firmeza.

42

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1.	Producción de pitaya en el año 2010.	6
Tabla 2.	Diseño experimental para evaluar las condiciones del empacado vacío y del almacenamiento a bajas temperaturas de la pitaya.	20
Tabla 3.	UFC de bacterias mesófilas durante el almacenamiento a bajas temperaturas de las pitayas empacadas al vacío.	36
Tabla 4.	UFC de levaduras durante el almacenamiento a bajas temperaturas de las pitayas empacadas al vacío.	37
Tabla 5.	UFC de mohos durante el almacenamiento a bajas temperaturas de las pitayas empacadas al vacío.	38
Tabla 6.	Análisis de varianza (ANOVA).	41
Tabla 7.	Medias para cada variable de respuesta en cada nivel de factor.	43
Tabla 8.	Análisis de condiciones óptimas en el empacado al vacío de la pitaya.	44

1. INTRODUCCIÓN

Las pitayas han sido fuente importante de alimento en la población de la mixteca oaxaqueña y han alcanzado un valor importante en el ingreso comercial de algunos productores, si bien sigue siendo un producto secundario la derrama económica en las comunidades pitayeras durante la época de cosecha del fruto es relevante. Su recolección es una alternativa alimenticia y económica a la agricultura en las zonas áridas y semiáridas (Sánchez, 2006). Sin embargo, la pitaya es un fruto altamente perecedero ya que normalmente se conserva almacenada a temperatura ambiente en promedio de tres a cinco días, por lo que debe ser vendida tan pronto como sea posible, de ahí que su venta se restringe a la Ciudad de México, Puebla, Veracruz y Oaxaca.

Debido a la problemática que presenta la conservación de la pitaya surge la necesidad de buscar nuevas alternativas para prolongar la vida útil de este fruto por más tiempo y de esta forma puede alcanzar otros niveles de venta y consumo. Actualmente se esta utilizando como método de conservación de alimentos el empaçado al vacío, el cual se refiere a la tecnología en la que el producto a ser envasado se coloca en una bolsa de material adecuado y se aspira el aire hacia fuera del empaque antes de ser sellado, de esta manera se generan concentraciones bajas de oxígeno (Blakistone, 1998), mejorando la calidad del producto y aumentando principalmente el tiempo de conservación de los productos frescos y de los productos perecederos ya que tiene influencia indirecta en el producto con respecto a los cambios físicoquímicos. En el caso de los productos hortícolas estos siguen respirando después de la cosecha, se aceleran los procesos biológicos que causan deterioro y esto afecta el valor nutricional, el sabor, la textura y la apariencia. Con en el empaçado al vacío se retardan los procesos de la actividad biológica mediante el ajuste de su entorno (atmósfera) y no por la modificación del tejido del fruto (Blakistone, 1998). Por tal motivo, en este trabajo se evaluó el efecto del empaçado al vacío de la pitaya y el almacenamiento a bajas temperaturas, para determinar si este método puede ser una alternativa para conservar por más tiempo este fruto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pitaya (*Stenocereus pruinosus*)

La pitaya (*Stenocereus pruinosus*) o mejor conocida como pitaya de mayo es un fruto comestible producido por cactáceas columnares denominados pitayos del género *Stenocereus*, de las cuales se conocen entre 22 y 24 especies, en México se encuentran entre 17 y 20, ocho de éstas son cultivadas en el centro-sur del país (Bárcenas y Jiménez, 2010).

Las especies de pitayas más importantes desde un punto de vista económico pertenecen al género *Stenocereus*, éstas son: *S. marginatus*, *S. stellatus*, *S. treleasei*, *S. pruinosus*, *S. fricii*, *S. queretaroensis* y *S. quevedonis* (Bárcenas et al., 2010).

En la mixteca baja se encuentran las especies *S. pruinosus* (Otto) Buxbaum, *S. stellatus* (Pfeiffer) Riccobono, *S. dumortieri* (Scheidweiler) Buxbaum y *S. griseus* (Haworth) Buxbaum (Luna, Aguirre y Peña Valdivia, 2001).

Las especies *S. pruinosus* y *S. stellatus*, especies nativas del sur de México, muestran amplia variación morfológica y tienen usos múltiples principalmente como consumo de fruto y semilla, además del aprovechamiento de los tallos para cercas vivas, control de erosión y como combustible en las zonas áridas y semiáridas. Si bien la pitaya sigue siendo un producto secundario, la derrama económica en las comunidades pitayeras durante la época de cosecha del fruto es relevante (Sánchez, 2006).

2.1.1. Características fisicoquímicas y nutricionales

La pitaya se considera una baya unilocular polispérmica que se origina de una flor con ovario ínfero. El fruto presenta diversas formas, desde el redondo hasta el de forma de pera, con un diámetro polar y ecuatorial medio de 8.3 y 6.3 cm, respectivamente, con una relación diámetro ecuatorial/polar de 0.57 a 0.87. El peso medio del fruto es de 185.9 g, variando de 100.4 a 290.9 g en las pitayas de la Mixteca, su color varía desde el verde amarillento hasta rojo o moreno purpúreo como puede apreciarse en la figura 1 (Martínez y Bonilla, 2005).

La pitaya carece de gloquideas (ahuates), las molestas espinas diminutas que posee

la tuna y que son difíciles de remover una vez que se han enterrado en la cáscara (Yáñez, Armella, Soriano y Sánchez-Díaz, 2009).



Figura 1. Pitaya de mayo (*Stenocereus pruinosus*). Fuente:<http://cocina-tlacuani.blogspot.com/2009/04/la-feria-de-pitaya.html>

La pitaya pertenece al grupo de frutos no climatéricos, es decir, su respiración no presenta grandes variaciones durante su almacenamiento, posterior a la cosecha, presentando una tasa de respiración de 4-10 mg CO₂/kg/hr en promedio (Yáñez, *et al.*, 2009).

Cada 100 g de pitaya (*Stenocereus spp.*) aporta: 48.8 Kcal., 85.2 g de agua, 12.2 g de carbohidratos, 3.3 g de fibra dietética, 1.29 g de proteína y 1.1 g de grasas (Bárceñas *et al.*, 2010).

La pitaya contiene betalaínas, un tipo de pigmentos nitrogenados derivados de la tirosina (Esquivel, 2004). Estos pigmentos son hidrosolubles, similares a los que se extraen del betabel, utilizados tanto en alimentos como en cosméticos y que imparten coloraciones que van del rojo al amarillo.

Las pitayas se pueden considerar como un alimento funcional por su elevada capacidad para disminuir la propagación de radicales libres en el organismo, ya que contiene fenoles y ácido ascórbico además puede disminuir los niveles de glucosa en sangre al ser ingeridas por personas diabéticas (Beltrán, Oliva, Gallardo y Osorio, 2009).

El género *Stenocereus* y en particular el *S. pruinosus* es muy apreciada por su sabor

dulce, refrescante, por los colores vistosos y atractivos de la pulpa y por sus semillas suaves, agradables al paladar, que hace que tenga una muy buena aceptación en los mercados locales, por lo que ha generado un interés importante en aquellas comunidades que se dedican a cosecharla (Sánchez, 2006).

2.1.2. Vida útil

La duración en buenas condiciones de la pitaya almacenada a temperatura ambiente con espinas es de aproximadamente tres días sin pérdida de peso, la duración almacenada sin espinas a temperatura ambiente es de menos de cinco días con una pérdida de peso del 18%. Las pitayas almacenadas con espinas bajo refrigeración tienen una duración en buen estado de casi 20 días con una pérdida de peso del 8%, y las pitayas almacenadas sin espinas bajo refrigeración se conservan en buen estado durante 14 días con una pérdida en su peso del 14% (Gervacio, 2005).

2.1.3. Producción

En regiones como la Mixteca baja la producción comienza en mayo, disminuye en junio, vuelve a elevarse en julio y termina hasta octubre o noviembre (Diodoro, Mercado y López, 1999). En ambientes semiáridos como el de la mixteca baja la lluvia es escasa e irregular, la principal actividad económica es la agricultura de temporal. Por ser nativa de estos ambientes *S. pruinosus* está adaptada a las condiciones semiáridas de la región y a pesar de que su fructificación se concentra solo en el mes de mayo, la producción que se logra resulta importante para poder ser considerada como un “recurso alternativo” para los habitantes de esta zona (Sánchez, 2006).

La cadena productiva de la pitaya en la mixteca baja está dada por la parte norte del distrito de Huajuapán iniciando con Santiago Chazumba, Cosoltepec, Tequixtepec, Suchitepec, Cuyotepeji, Miltepec, Camotlán, Santiago Huajolotitlán pasando por la Ciudad de Huajuapán hasta llegar a Cacaloxtepec y Dinicuiti; por la parte Noroeste se tienen a los municipios de Amatitlán, Zahuatlán y Mariscal de Juárez (SAGARPA, 2011).

El informe de la SAGARPA del 2011 menciona que entre todos los municipios productores de la región mixteca se produce un total de 1591 toneladas donde el principal

municipio productor es Santiago Chazumba con dos de sus agencias que son San José Chichihualtepec y Santo Domingo Tianguistengo. Cerca del 10% de esta producción es destinada al autoconsumo por presentar índices de calidad menores, como rajaduras y daños por aves; 159 toneladas se destinan para elaboración de mermelada casera y más de 1400 toneladas son destinadas al mercado local, regional y nacional. El 80% del volumen de producción de la región se va a la central de abastos en la ciudad de México; el otro 20% es para el mercado regional.

Al inicio de temporada de producción el precio de la pitaya es alto, al mayoreo los precios fluctúan entre 120 y 560 pesos por caja de madera de 30 kg; el precio medio es de 200 pesos por caja. Los intermediarios que compran a pie de huerta adquieren el fruto al precio de 5 a 10 pesos por kilogramo y son ellos los que encarecen el producto llegando a observarse que 1 kg de pitaya se vende hasta en 50 pesos al consumidor final, posteriormente conforme aumenta la producción el precio disminuye a 8 pesos por kg, sin embargo, se considera una media de 10 pesos por kilogramo.

Las pitayas representan un ingreso económico considerable, tanto para recolectores como para productores, y aunque dicho beneficio es temporal puede extenderse a partir de la introducción de huertos mixtos con especies productoras en diferentes épocas, lo que sería recomendable para las distintas regiones pitayeras. En el caso de los recolectores la inversión es prácticamente nula y en el de los productores no se incrementa tanto, ya que el mayor esfuerzo se realiza al establecer el huerto, además el manejo es muy simple. Dichas especies no son exigentes y no hay necesidad de riego alguno, sin embargo, responden bien cuando se les agrega materia orgánica y algunas llegan a producir alrededor de 13 toneladas por hectárea (Diodoro, *et al.*, 1999).

En huertos en producción los costos varían entre los 16,200 pesos por hectárea y generan una ganancia de 10,800 pesos por hectárea, cabe mencionar que en el establecimiento de un huerto de pitaya es más alto el costo ya que incluye la compra de los brazos y establecimiento del mismo en el trazo y apertura de cepas (SAGARPA, 2011).

En la tabla 1 se muestran los datos que conciernen a la producción de pitaya durante el año 2010 en los principales estados productores de México durante el ciclo: cíclicos y

perennes, en la modalidad: riego más temporal.

Tabla 1. Producción de pitaya en el año 2010

Ubicación	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor producción (Miles de Pesos)
COLIMA	0.60	0.60	1.50	2.50	750.00	1.12
JALISCO	218.00	163.00	1,118.75	6.86	8,825.84	9,873.90
MICHOACAN	10.00	10.00	10.00	1.00	10,600.00	106.00
MORELOS	15.00	11.00	83.60	7.60	2,900.00	242.44
NAYARIT	21.50	12.50	51.15	4.09	10,500.00	537.08
OAXACA	874.00	874.00	1,758.25	2.01	14,966.54	26,314.92
PUEBLA	128.50	128.50	405.05	3.15	15,522.06	6,287.21
Aporte total	1,267.60	1,199.60	3428.30	2.86	12,648.45	43,362.67

Datos obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (S.I.A.P).
Fuente: http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp

Se observa que Oaxaca destaca en el valor de producción, estableciéndose como el estado que más ganancia obtiene por el cultivo de pitaya, a pesar del bajo rendimiento de cosecha que presenta frente a otros estados.

2.1.4. Manejo Poscosecha

Usualmente la cosecha se realiza en la mañana usando un gancho hecho de carrizo, este gancho se conoce comúnmente como chicol y cuenta con una especie de jaula en un extremo, de modo que al desprender los frutos se quedan atrapados (Pimienta y Park, 1994). Es importante mencionar que aún no se cuenta con un índice de cosecha que garantice que estos frutos se encuentran en su punto óptimo de consumo. Mediante estudios de microscopia, como fue el caso de la jiotilla, se determinó que el llenado del fruto es el rasgo más indicativo del estado de madurez de los mismos.

Inmediatamente después de la cosecha los frutos son clasificados de acuerdo al tamaño y color, después son colocados en cestos a menudo en capas separadas por ramas de alfalfa. Si es posible son transportados esa misma mañana al mercado para su posterior venta.

Las pitayas usualmente se consumen inmediatamente después de comprarlas debido a su corto período de vida. Una estrategia para la venta de las pitayas colocadas en los puestos de mercados es desprender un pedazo de piel de la pitaya con la finalidad de que

los colores vistosos sean observados por los consumidores (Pimienta y Park, 1994).

2.1.5. Formas de comercialización

La principal vía de comercialización de la pitaya es como fruto fresco, también se ha utilizado para la elaboración de mermeladas, colorantes, vinos y la producción de pectina. Además, la cáscara del fruto se utiliza como alimento para el ganado (Sánchez, 2006).

2.2. Empacado al vacío

Es el método más simple y común de modificar la atmósfera interna de un envase, en donde el producto se coloca en un envase formado con una película de baja permeabilidad al oxígeno, se elimina el aire y se cierra el envase. El envase sin aire, se pliega (colapsa) alrededor del producto, puesto que la presión interna es muy inferior a la atmosférica.

El proceso implica envasado del producto en película de baja permeabilidad al oxígeno y el cerrado después de realizar la evacuación del aire, con unas buenas condiciones de realización del vacío la concentración de oxígeno se reduce por debajo del 1%. Debido a las propiedades de barrera en la película empleada, se limita la entrada de oxígeno desde el exterior.

A diferencia de otros productos perecederos refrigerados que están envasados al vacío, las frutas y hortalizas frescas continúan respirando después de ser recolectadas y en consecuencia cualquier empaquetado posterior debe tener en cuenta esta actividad respiratoria. La respiración es un fenómeno bioquímico muy complejo según el cual los carbohidratos, polisacáridos, ácidos orgánicos y otras fuentes de energía son metabolizados en moléculas más simples con producción de calor (Fellows, 2009).

El propósito del empaquetado es contener al alimento y brindar protección contra daños causados por microorganismos, calor, absorción o pérdida de humedad y oxidación. Resguardando al fruto a lo largo de la producción, almacenamiento y distribución.

Las características fisicoquímicas de los frutos empacados es controlada por:

- Las propiedades del fruto como la actividad de agua, el pH, la susceptibilidad a enzimas o deterioro microbiano, así como a la sensibilidad al oxígeno, la luz, la cantidad de dióxido de carbono y humedad.
- Factores ambientales que causen deterioro por factores fisicoquímicos.
- Las propiedades de barrera del empaque.

La pérdida o absorción de humedad es uno de los factores más importantes en la vida útil de los frutos. Hay un microclima dentro del empaque, el cual se da por la presión de vapor, la humedad en el alimento, la temperatura de almacenamiento y la permeabilidad del material de empacado. El control del intercambio de humedad es necesario para prevenir el deterioro por microorganismos o enzimas (Fellows, 2009).

2.2.1. Repercusión del vacío en los productos empacados

Parry (1995), menciona que la vida útil se puede definir como el período desde la recolección o la fabricación hasta el consumo en que un producto alimenticio permanece seguro y sano, en las condiciones recomendadas de producción y almacenamiento. La vida útil de un producto alimenticio depende de su respiración y del estado de madurez en el cual se encuentre. A su vez la madurez de un producto depende del cambio en sus características fisicoquímicas (pH, acidez titulable, contenido de azúcares y humedad).

La respiración de frutas y hortalizas empacadas en atmósferas ligeramente modificadas se ve afectada por numerosas propiedades intrínsecas de los productos frescos, así como por factores externos. Dentro de las propiedades intrínsecas que ayudan a dar un mejor manejo de los frutos empacados al vacío y que favorecen su conservación por tiempos prolongados se tienen:

(a) Intensidad de respiración. La intensidad de respiración se valora por la rapidez con que se producen los cambios químicos en el material vegetal, y por lo tanto indica la vida útil potencial de las frutas y hortalizas. La actividad respiratoria, medida por la intensidad de producción de CO₂, es un proceso bioquímico complejo que está afectado por numerosos factores como: tamaño del producto, variedad, madurez, tipo de tejido, así como la severidad con que se trate en el transporte. La actividad respiratoria puede variar también

entre las diferentes partes de un mismo producto; por ejemplo la cáscara, la pulpa y las semillas. La temperatura y la modificación de atmósfera afectan fuertemente a la actividad respiratoria. La actividad respiratoria se modifica durante los propios procesos naturales de maduración y senescencia.

(b) Transpiración. La transpiración es la pérdida de agua, en estado de vapor, a través de la corteza o cáscara. Esta pérdida de agua se traduce en una reducción del peso y pérdida de turgencia del producto, demeritando su calidad y valor comercial para el mercado de productos frescos. En lo que concierne a la pitaya, la transpiración se ve afectada por diferentes factores siendo la humedad relativa el más importante. Si el aire que rodea la fruta tiene una humedad relativa baja, promoverá el flujo de agua del producto hacia el medio, provocando su deshidratación y pérdidas considerables de peso (García, 2003).

(c) pH. El pH de las frutas y hortalizas podría influir sobre los tipos de microorganismos responsables de la descomposición y contaminación durante la vida útil del producto. La mayoría de los frutos, como limones, naranjas, piñas, manzanas y melocotones, tienen valores de pH inferiores a 4.5, en consecuencia estos frutos ácidos pueden envasarse con seguridad al vacío o en películas de baja permeabilidad herméticamente cerrados, de modo que se puedan formar condiciones anaerobias. Aunque en estas atmósferas con bajos contenidos de O_2 pueden tener lugar reacciones indeseables de fermentación.

(d) Actividad del agua (A_w). Las frutas y hortalizas son alimentos con elevada humedad que tienen valores de A_w entre 0.97 y 1.00, bajo estos valores elevados de A_w los microorganismos responsables de la descomposición y contaminación pueden crecer rápidamente. En consecuencia la combinación de las temperaturas de enfriamiento óptimas y el envasado en atmósferas ligeramente modificadas o vacío es crucial para ampliar la vida útil y garantizar la seguridad de los productos frescos empaquetados.

(e) Estructura biológica. La resistencia de los tejidos de la planta a la difusión del O_2 , el CO_2 , el etileno y el vapor de agua depende de la estructura biológica de cada fruta y hortaliza. La resistencia a la difusión de los gases varía en función del tipo de producto,

parte de la planta, condiciones en el transporte y estado de madurez.

Dentro de los factores externos que intervienen en la conservación de los frutos se tienen:

(a) Recolección. El factor básico en la recolección de frutas y hortalizas es el estado óptimo de madurez que afecta a la calidad y posterior vida útil del producto.

(b) La manipulación. El minimizar las lesiones mecánicas es uno de los principales factores que afectan a la calidad y la vida útil del producto. Una manipulación cuidadosa implica una reducción de las lesiones que puede incrementar la vida útil del producto de forma importante y también ayuda a minimizar la producción de desechos. Las lesiones mecánicas dañan la estructura celular de la planta y en consecuencia destruye el tejido de protección natural y la integridad de la textura del producto.

(c) Maquinaria. El tipo de maquinaria de empaçado influirá en la integridad de la soldadura de los paquetes de atmósfera modificada de los productos frescos. Una soldadura con deficiente integridad puede ser consecuencia de suciedad en las superficie del sellado, deficiente alineación de las mordazas de soldadura o posibles defectos en la propia película de empaquetado.

(d) Temperatura del fruto. Mantener un adecuado control de la temperatura después de la recolección es uno de los factores extrínsecos más importantes que afectan a la calidad de los productos envasados al vacío. La mejor práctica consiste en recolectar los frutos por la mañana o por la noche y eliminar el calor del producto tan pronto como sea posible por diferentes sistemas de enfriamiento.

3. ANTECEDENTES

En lo que concierne a estudios realizados sobre el empaqueo de la pitaya para su conservación, se tienen:

Magaña (1999) en Rebollar, Romero, Cruz y Zepeda (2002), evaluó la conservación de la pitaya *S. querataroensis* utilizando diferentes empaques a temperatura de frigoconservación, este autor encontró que el empaque de cartón tuvo una respuesta favorable después de 11 días de frigoconservación a una temperatura de 9°C y a una humedad relativa de 85%.

Para el 2000, Torres y Vergara en Rebollar *et al.* (2002), evaluaron temperaturas de frigoconservación y películas plásticas en frutos de *S. querataroensis* y *S. griseus*. Los frutos se preenfriaron a 5°C durante dos horas, se desespinaron manualmente, pasaron a inmersión en agua clorinada al 5%, se embolsaron y se refrigeraron. Los autores encontraron que una película de polietileno de 35 μm de espesor proporcionó los mejores resultados al prolongar la vida de anaquel del fruto más de 10 días a 7°C.

Ya en el 2008, García y Robayo llevaron a cabo un estudio con el fin de ofrecer soluciones a la problemática de la conservación de pitaya, para lo cual se evaluó el uso de bajas temperaturas y atmósferas modificadas pasivas. A tal fin se usó fruta almacenada a 10°C en dos estados de madurez (verde o pintón), con o sin empaque, así como películas de polietileno o polipropileno perforadas y sin perforar. El estudio mostró que la principal ventaja que presenta el uso de empaques es la reducción de la deshidratación de la fruta. Los mejores resultados se encontraron en pitaya verde empacada en polipropileno sin perforar y almacenada a 10°C, condiciones en las cuales la fruta alcanzó una vida útil de 18 días con un deterioro inferior al 5% y de 21 días con un deterioro inferior al 10%.

Dentro de otros estudios realizados sobre el empaqueo al vacío de frutos climatéricos, se encontró que Padmanaban, Singaravelu, y Thirumaran en el 2011 empacaron al vacío en bolsas de polietileno frutos de papaya. Los frutos fueron almacenados por una y cuatro semanas en una habitación a temperatura de refrigeración, estos frutos fueron analizados para observar cambios químicos. Los resultados mostraron

que el empaçado al vacío en condiciones de refrigeración incrementa la vida útil de los frutos de papaya.

Chetti, Deepa, Roshny, Khetagoudar, Uppar, y Navalgatti en el 2011 realizaron investigaciones con el fin de estudiar la influencia de envasado al vacío y el almacenamiento a largo plazo sobre la calidad en chile rojo (*Capsicum annuum L.*). Los chiles se empaçaron al vacío en sacos de yute con dos niveles de humedad (10% y 12%) y dos temperaturas ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$) por un período de 24 meses. Observaron que el empaçado al vacío de los chiles almacenados a la temperatura de 4°C tuvieron una disminución en diversos parámetros de calidad. Los chiles almacenados con 12% de humedad presentaron una mejor conservación en los parámetros de calidad con respecto a los almacenados con un 10% de humedad.

Walteros, Ramírez y Arcila en el 2002 estudiaron el desarrollo y el efecto del empaque sobre la conservación y vida postcosecha de plátanos verdes Dominico Hartón semiprocesado y su periodo máximo de conservación. Observaron que los plátanos empaçados al vacío y sometidos a refrigeración conservaron su calidad por 11 días. Mencionan que el empaque en bolsa plástica logró conservar las características de los plátanos como fruto verde durante 7 días.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a que la pitaya es un fruto altamente perecedero, en la última década se han realizado algunos trabajos que aportan información con respecto a su conservación, el método que ha sido estudiado se basa en la conservación por medio del uso de bolsas de polietileno de diferente grosor, además de la aplicación de bajas temperaturas, lo cual ha permitido conservar este fruto por más de diez días.

Hasta el momento, los resultados que se han obtenido son escasos, no se han llevado a la práctica y no presentan información detallada de los cambios fisicoquímicos y microbiológicos que experimenta el fruto durante su almacenamiento, por lo que, no se puede tener la certeza de si alguno de estos métodos es el adecuado.

Es importante explicar los cambios fisicoquímicos y microbiológicos que sufre el fruto al aplicar cualquier método de preservación y que ayuden al estudio de nuevos métodos que permitan conservar la pitaya por más tiempo.

5. JUSTIFICACIÓN

La región de la mixteca oaxaqueña es una de las zonas de mayor producción de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) de donde se obtiene una ganancia económica importante a pesar del bajo rendimiento de cosecha. Entre otros factores la alta perecibilidad del fruto y la falta de un buen método de preservación no han permitido que se alcancen otros puntos de comercialización tanto nacionales como internacionales. Este aspecto despierta la necesidad de estudiar nuevos métodos de preservación que permitan conservar las características como fruto fresco por un tiempo prolongado.

En este trabajo se estudia el efecto del empaçado aplicando vacío en combinación con el almacenamiento a bajas temperaturas sobre las características físicoquímicas y microbiológicas de la pitaya, con la finalidad de conservar por más tiempo este fruto. Se sabe que con el empaçado al vacío se evita la interacción del alimento de manera directa con el medio ambiente y por lo tanto el desarrollo de microorganismos, de esta manera se cubrirán varios aspectos con respecto a la conservación, venta y consumo.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del empaçado al vacío y del almacenamiento a bajas temperaturas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de la pitaya (*Stenocereus pruinosus*).

6.2 Objetivos específicos:

1. Estimar los tiempos de vacío para el empaçado de la pitaya y las temperaturas de almacenamiento mediante pruebas preliminares tal que permitan establecer los valores de los factores a aplicar.
2. Analizar los cambios en las características fisicoquímicas y microbiológicas de la pitaya al aplicar diferentes tiempos de vacío para su empaçado, tal que permita conocer la influencia del tiempo de vacío sobre la conservación del fruto.
3. Analizar los cambios en las características fisicoquímicas y microbiológicas de la pitaya empaçada al vacío al almacenarla a bajas temperaturas, para conocer la influencia de la temperatura en la conservación del fruto.
4. Analizar estadísticamente la influencia del tiempo de vacío, de la temperatura y del tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas del fruto, tal que permita determinar el tiempo de conservación de fruto.

7. HIPÓTESIS

El empaçado al vacío y el almacenamiento a temperaturas bajas retrasa el deterioro fisicoquímico y microbiológico de la pitaya (*Stenocereus pruinosus*), lo cual permite conservarla por más tiempo.

8. METODOLOGÍA

En la figura 2 se muestran los pasos que se siguieron para el empackado al vacío y evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas de la pitaya (*Stenocereus pruinosus*).

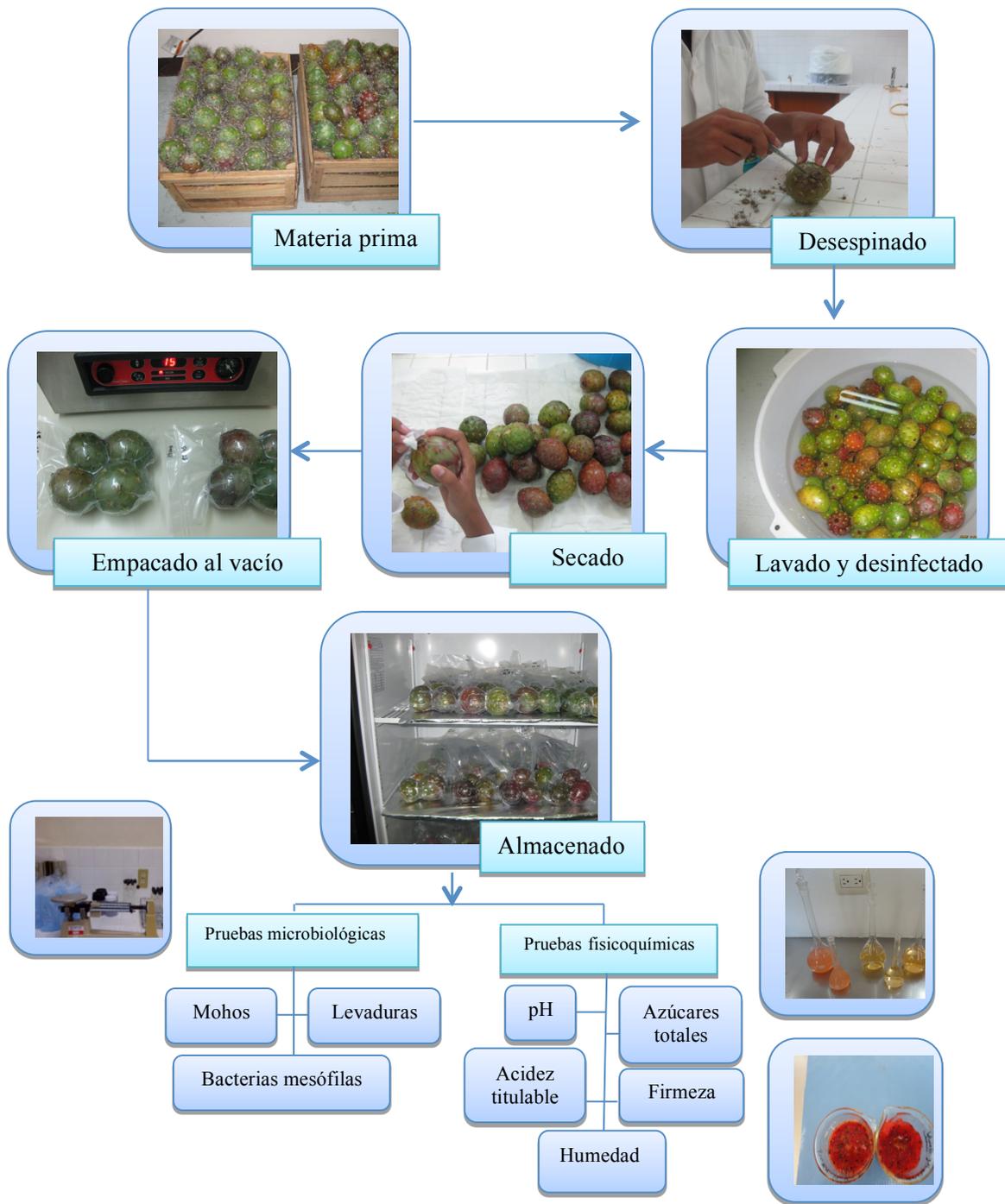


Figura 2. Etapas del proceso de evaluación del empackado al vacío y del almacenado a bajas temperaturas de la pitaya (*Stenocereus pruinosus*).

8.1. Materia prima

Para los propósitos de este estudio se compraron dos cajas de pitayas maduras con alrededor de 150 pitayas por caja, en la población de San José Chichihualtepec Chazumba, Oaxaca. Se seleccionaron aquellas pitayas que no mostraron daño físico, enteras y de consistencia firme. Posteriormente los frutos se transportaron al laboratorio de Ciencia de los Alimentos de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

8.2. Desespinado

Después de su recolección las pitayas reposaron por 24 horas debido a que las espinas en este periodo se deshidratan y es más fácil retirarlas del fruto. Posteriormente se procedió a desespinarlas utilizando pinzas de disección, evitando dañar físicamente al fruto.

8.3. Lavado y desinfectado

Las pitayas se pasaron por un chorro de agua para eliminar el exceso de polvo y suciedad. Enseguida se llevó a cabo la inmersión de las mismas en una solución con 200 ppm en volumen de hipoclorito de sodio (2 mL de Clorox® en 10 L de agua) por un tiempo de 5 minutos (Yáñez *et al.*, 2009).

8.4. Secado

Las pitayas se sacaron de la solución de cloro y se eliminó el exceso de agua escurriéndolas, posteriormente se les pasó papel absorbente.

8.5. Empacado al vacío

Para el empacado al vacío se utilizó la empacadora al Vacío Digital marca Torrey EVD-16. Las pitayas se introdujeron en bolsas de polietileno grado alimenticio de 20 x 30 cm, las cuales tenían un espesor de 75µm de la marca Besser Vacuum, las bolsas contenían en promedio cuatro y tres pitayas, dando un peso total aproximado de 530 g, se aplicó vacío y posteriormente se almacenaron a 8 y 15°C.

8.6. Pruebas fisicoquímicas

Las determinaciones fisicoquímicas se realizaron cada cuatro días durante el período de evaluación, ya que este es el tiempo promedio en el que se presentan cambios drásticos en la pitaya a temperatura ambiente después de haber retirado las espinas.

8.6.1 Determinación de pH y acidez titulable

Para la determinación de acidez titulable y pH se extrajo el jugo de la pitaya, para lo cual primero se trituró la pulpa con una cuchara dentro de un vaso de precipitados, después el triturado se centrifugó por 5 min a 4500 g, el sobrenadante fue utilizado para la determinación de la acidez titulable, siguiendo el método 942.15 de la AOAC (1997). Se tomaron alícuotas de jugo de pitaya (15 mL) y se procedió a titularlas con una solución de NaOH 0.1 N hasta un pH de 8.3. Se reportaron los valores de la titulación en miliequivalentes (meq.) de ácido cítrico, a su vez el resultado final se expresó como porcentaje de ácido cítrico por mililitro de jugo.

El pH se determinó siguiendo el método 981.12 de la AOAC (1997). Se usó un pH-metro marca Conductronic pH 130 (México) previamente calibrado con buffer pH 7 y buffer pH 4, posteriormente la muestra (10 mL) se colocó en un vaso de precipitados en donde se insertó el electrodo y se realizó la lectura.

8.6.2 Determinación de azúcares totales

Se determinó el contenido de azúcares totales de la pulpa siguiendo el método volumétrico de Lane-Eynon (923.09C de la AOAC, 1997). Se pesaron 10 g de muestra y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 mL; se adicionaron 100 mL de agua y 5 mL de disolución saturada de acetato neutro de plomo; se agitó y se dejó sedimentar. Se añadió carbonato de sodio hasta la total precipitación del acetato de plomo y se filtró. Se añadieron 10 mL de ácido clorhídrico concentrado al matraz volumétrico de 250 mL, el cual se calentó a 65 °C durante 15 minutos y se enfrió. Por último se neutralizó con hidróxido de sodio 1N y se completó el volumen con agua. Se transfirió a una bureta y se tituló dejando caer la disolución en una mezcla de 5 mL de la disolución A de Fehling, 5 mL de la disolución B Fehling y 50 mL de agua y se colocó en una parrilla hasta su ebullición. Se tomó lectura del volumen gastado y se realizaron los cálculos pertinentes utilizando el factor de equivalentes de sacarosa anhidra para así obtener el porcentaje de azúcares totales.

8.6.3 Determinación de humedad

La determinación del contenido de humedad se realizó por el método de secado en estufa (Riossa, México) a 70 °C (método 930.15 de la AOAC, 1997). Se utilizaron charolas de aluminio a peso constante. El porcentaje de humedad de la muestra se determinó por

pérdida de peso.

8.6.4. Determinación de la firmeza

La determinación de la firmeza se realizó siguiendo la técnica descrita por Azene, Seyoum y Woldetsadik (2011) con modificaciones con respecto al punto de penetración del puntal en el fruto. Se colocó en cero la aguja de lectura de fuerza del penetrómetro (McCormick), enseguida el puntal se posicionó sobre el fruto y se apretó progresivamente hasta hacer penetrar en la cáscara del fruto hasta que el anillo tope, las mediciones se realizaron en cuatro puntos distintos del fruto (dos mediciones en la parte ecuatorial y dos mediciones en la parte polar). El puntal entró en el fruto lentamente para evitar errores en la medición.

8.7. Pruebas microbiológicas

Se determinaron mohos, levaduras y bacterias mesófilas de acuerdo al método de siembra en placa. Para la determinación de mohos se utilizó el medio agar dextrosa y papa (PDA), se incubó a 25°C durante 72 horas; en cuanto a la determinación de levaduras se usó un medio de extracto de levadura, peptona de gelatina y glucosa (YPG), incubando a 25°C durante 48 horas y para el recuento de bacterias mesófilas se empleó el agar de soya tripticaseína, incubando a 30°C por 46 horas, expresando los resultados como unidades formadoras de colonias por gramo de muestra (UFC/g). Los análisis microbiológicos se realizaron antes del empacado y durante su almacenamiento (Vargas *et al.*, 2010).

8.8. Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar las condiciones de empacado al vacío de la pitaya se realizó un diseño factorial general (Tabla 2) con tiempo de vacío de 13 y 15 segundos, temperatura de almacenamiento de 8 y 15°C y tiempo de almacenamiento de 4, 8, 12 y 16 días como factores, en total fueron 16 tratamientos. Los valores establecidos en el tiempo de vacío y en la temperatura de almacenamiento fueron definidos en pruebas preliminares; las variables de respuesta fueron las pruebas fisicoquímicas (pH, acidez titulable, azúcares totales, humedad y firmeza), para cada tratamiento se realizaron tres réplicas. Se obtuvo el Análisis de Varianza (ANOVA) mediante el software Minitab para cada variable de

respuesta y se empleó un nivel de significancia del 5% para analizar las diferencias significativas entre los niveles de los factores.

Por otro lado, se realizaron las mismas pruebas microbiológicas y fisicoquímicas a una muestra representativa del fruto bajo condiciones de temperatura ambiente (aproximadamente entre 18 y 19°C) y sin empacar con la finalidad de realizar comparaciones.

Tabla 2. Diseño experimental para evaluar las condiciones del empacado al vacío y del almacenamiento a bajas temperaturas de la pitaya.

		Tiempo de almacenamiento (Días)							
		4	8	12	16				
Temperatura (°C)		Tiempo de vacío (s)							
		13	15	13	15	13	15	13	15
8		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
15		T ₃	T ₄	T ₃	T ₄	T ₃	T ₄	T ₃	T ₄

T₁: Tratamiento 1; T₂: Tratamiento 2; T₃: Tratamiento 3; T₄: Tratamiento 4.

9. RESULTADOS

9.1. Pruebas preliminares para estimar el tiempo de vacío y la temperatura de almacenamiento

Para la realización de las pruebas preliminares las pitayas fueron adquiridas en Santa María Camotlán, Oaxaca.

La finalidad de estas pruebas fue evaluar distintos tiempos de vacío (tiempo de extracción del aire que se encuentra en el interior de la bolsa) en el empaçado, para observar los daños físicos provocados por el colapso al empaçar las pitayas. Los resultados muestran que utilizando tiempos de vacío de 30, 60 y 90 segundos el fruto se daña severamente, pierde firmeza y en ocasiones la cáscara se rompe (Fig. 3A). Por lo que, se decidió evaluar con tiempos de vacío menores de 30 segundos, utilizando para las segundas pruebas, tiempos de vacío de 10, 17 y 20 segundos. Con el tiempo de 10 segundos se observó que había un espacio de cabeza de aire (Fig. 3B), lo que podría traer como consecuencia una posterior condensación de agua y afectaría en mayor medida a la prolongación de vida útil del fruto. Por otra parte, los tiempos de vacío de 17 y 20 segundos mostraron una buena extracción del aire del empaque, pero se continuó dañando al fruto. Finalmente, se realizó el empaçado utilizando tiempos de vacío mayores de 10 y menores de 17 segundos, decidiendo evaluar con tiempos de vacío de 13 y 15 segundos, los cuales mostraron una buena apariencia del fruto y una buena extracción de aire de la bolsa (Fig. 3C).

Respecto a las temperaturas establecidas para almacenar el fruto empaçado, inicialmente se evaluó la temperatura de 4°C, el resultado fue daño por frío en el fruto. Debido a esto se decidió evaluar a las temperaturas de 8 y 15°C.

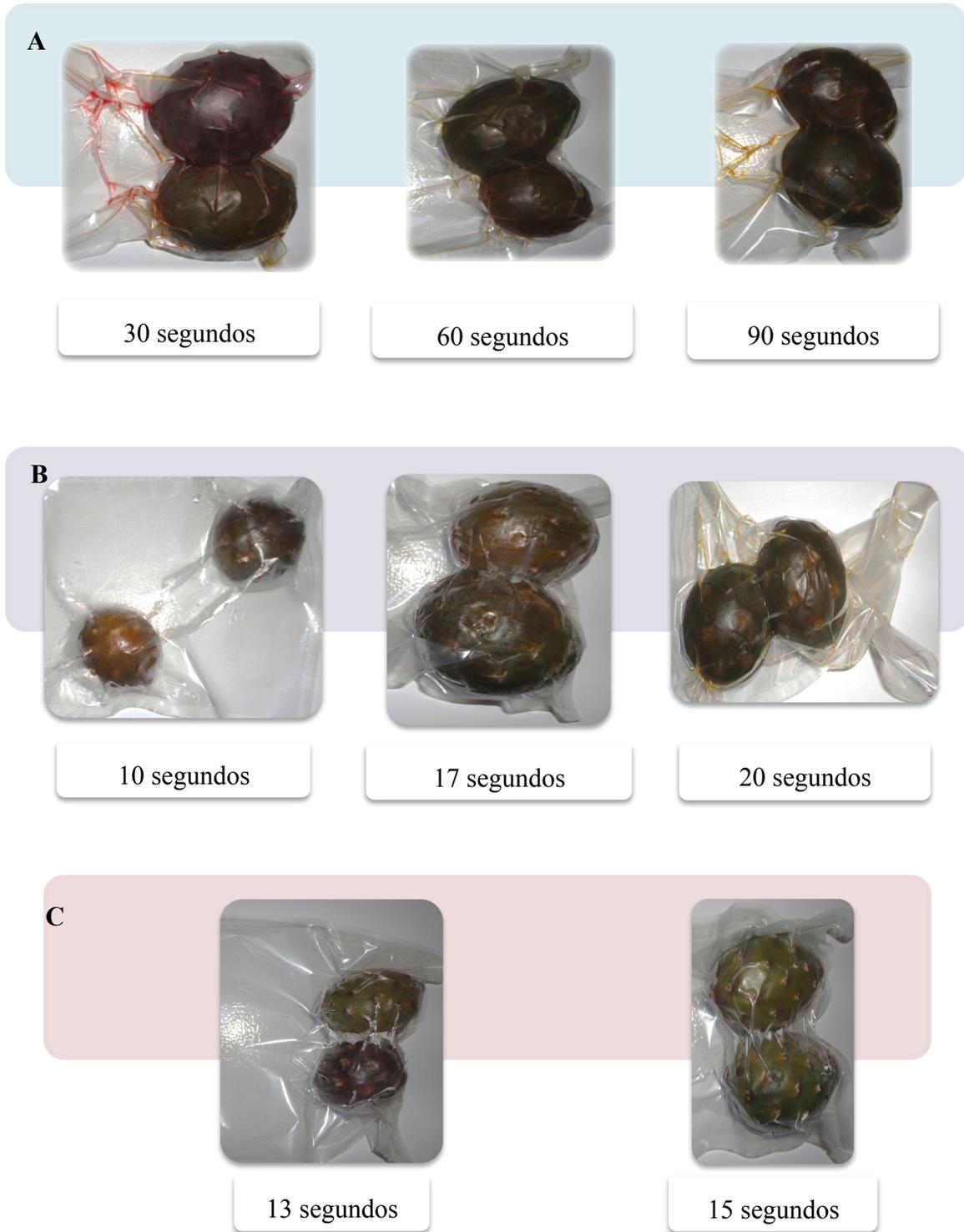


Figura 3. Evaluación de tiempos de empacado al vacío. (A) Primera prueba, (B) Segunda prueba y (C) Tercera prueba.

9.2. Determinaciones fisicoquímicas

9.2.1. pH

En este estudio se observó un descenso lento y progresivo de pH a través de los días de almacenamiento de los frutos (Fig. 4). Al cuarto día el pH disminuyó de 6.0 a 4.5 en el tratamiento uno (13s, 8°C) y disminuyó ligeramente en los tratamientos dos y tres (15s, 8°C y 13s, 15°C). El tratamiento cuatro (15s, 15°C) presentó un incremento en el pH de 6.0 a 7.0. Para el octavo día el pH del tratamiento tres (13s, 15°C) disminuyó en un 13.0% mientras que para el tratamiento cuatro (15s, 15°C) fue de 1.3%. Cabe mencionar que los tratamientos tres y cuatro se evaluaron fisicoquímica y microbiológicamente solamente hasta el octavo día, debido a la alta descomposición que presentaron los frutos. Ya transcurrido el dieciseisavo día el pH en los tratamientos uno y dos (13s, 8°C y 15s, 8°C) disminuyó hasta en un 52.3% y 63.8% respectivamente. En las pitayas no empacadas el decremento fue del 44.7% tan solo al cuarto día de almacenamiento, se evaluaron hasta el cuarto día ya que el fruto sufrió una alta descomposición pasando el sexto día.

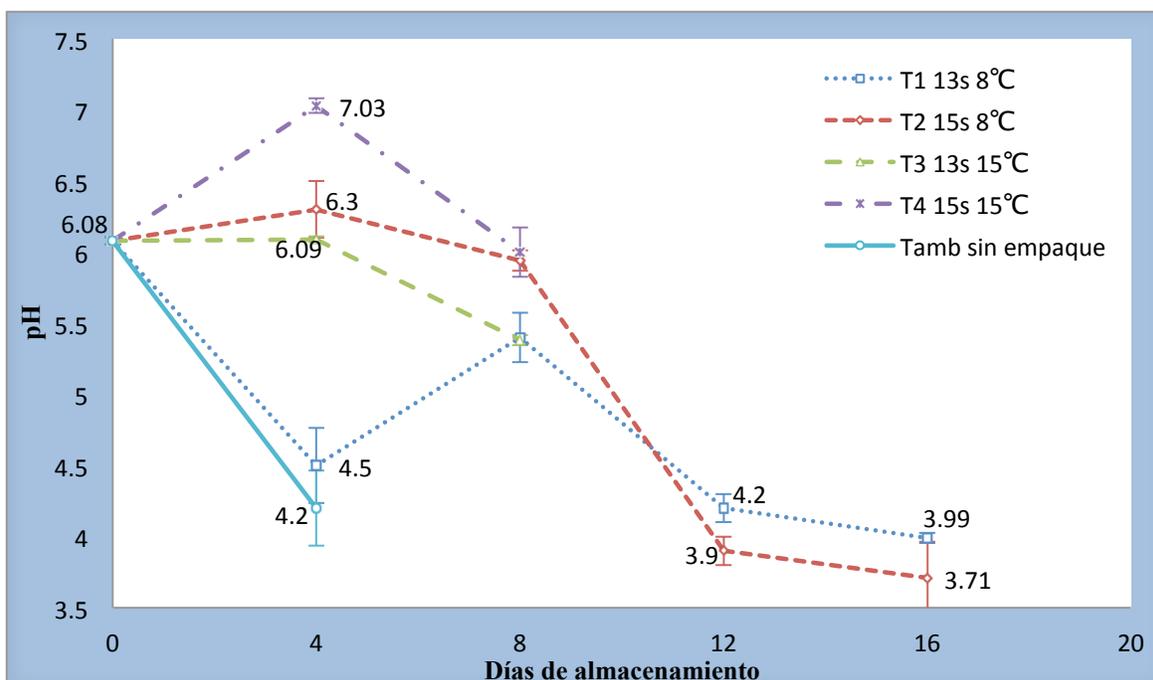


Figura 4. Cambios en el pH de la pitaya, almacenada bajo condiciones de vacío y refrigeración.

En el transcurso de los días de almacenamiento de las pitayas empacadas hubo un incremento de CO₂ dentro del empaque, como consecuencia de la respiración y de las reacciones metabólicas del fruto. Esto se observó por la pérdida de vacío y producción de gas dentro de la bolsa. Se ha reportado que la exposición de los tejidos vegetales a altos niveles de CO₂ causa cambios físicos en el balance iónico y el pH (Wager, 1974b en Yáñez, 2007).

Por otro lado, la baja permeabilidad del empaque pudo haber provocado la retención del CO₂ a través de los días de almacenamiento generando una concentración elevada dentro del mismo, además las bajas temperaturas de almacenamiento pudieron contribuir a la difusión del CO₂ hacia el tejido del fruto provocando un descenso en los valores de pH como se observó en la figura 4. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Yáñez (2007) quien observó un descenso en los valores de pH, en tunas (*Opuntia ficus indica*) almacenadas por 52 horas en un ambiente de 30.0% de CO₂ (v/v) en aire. Yáñez argumenta que el descenso en los valores de pH se debe al metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), en donde el CO₂ se fija en la matriz del fruto provocando los cambios en el pH, lo que pudo haber ocurrido en este estudio.

En otro estudio, Rodríguez, Patiño, Miranda, Fischer y Galvis en el 2005 evaluaron el comportamiento poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus haw*), la pitahaya en dos estados de madurez (3 y 5) fue almacenada por 23 días a dos temperaturas distintas (8 y 19°C). El resultado obtenido fue que los frutos presentaron aumento en el pH a lo largo del período de almacenamiento.

En las pitayas no empacadas y almacenadas a temperatura ambiente se presentó el valor más bajo de pH, esto puede estar asociado con la producción de ácidos a partir del catabolismo de azúcar a una mayor velocidad bajo condiciones ambientales (18-19°C) en comparación a las empacadas y almacenadas a bajas temperaturas. La temperatura ambiente en la cual se almacenó condujo a la aceleración de la tasa de respiración y en consecuencia la producción de ácidos en los frutos.

9.2.2. Acidez titulable

La acidez de algunos productos hortofrutícolas puede alterarse como resultado de su exposición a altos niveles de CO₂ en la atmósfera de almacenamiento (Smith y Raven, 1979). Los resultados de acidez titulable de la pitaya empacada al vacío se muestran en la figura 5, se observa que al cuarto día de almacenamiento ocurrió un descenso para todos los tratamientos en el porcentaje de ácido cítrico. Para el octavo día de almacenamiento el tratamiento tres (13s, 15°C) presenta un descenso en el porcentaje de ácido cítrico del 88.2%, de igual manera sucede con el tratamiento cuatro (15s, 15°C) donde el porcentaje de ácido cítrico desciende en un 82.3%. En el dieciseisavo día se observa un decremento en el porcentaje de ácido cítrico de hasta 88.2% para los tratamientos uno (13s, 8°C) y dos (15s, 8°C).

En las pitayas no empacadas hubo un descenso pronunciado en el porcentaje de ácido cítrico al cuarto día, el cual fue de 70.5%.

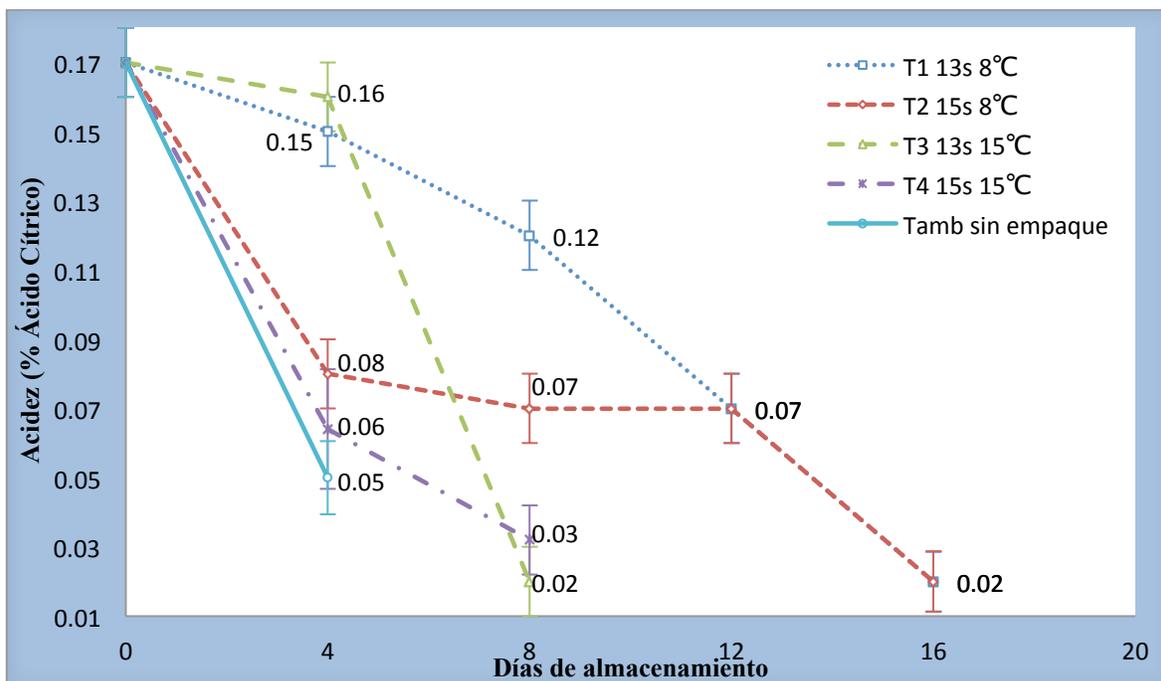


Figura 5. Cambios en la acidez titulable en porcentaje de ácido cítrico de la pitaya, almacenada bajo condiciones de vacío y refrigeración.

El descenso en los valores de acidez titulable durante los primeros días de almacenamiento en las pitayas empacadas no fue tan pronunciado como para las pitayas no empacadas.

Con los resultados obtenidos se puede suponer que los frutos empacados presentaron un bajo consumo de ácidos orgánicos y azúcares, debido a que hubo un retraso en la respiración de la pitaya como efecto directo de la temperatura de almacenamiento y las condiciones de su empaçado.

Las pitayas no empacadas presentaron una alta tasa metabólica, esto fue observado por el deterioro del fruto en pocos días y la disminución pronunciada en los valores de acidez titulable al cuarto día, esto concuerda con lo descrito por Kays (2004), quien menciona que los ácidos orgánicos se usan durante la respiración del fruto, siendo varios de estos ácidos componentes esenciales en el ciclo respiratorio de los ácidos tricarbónicos.

Los estudios realizados por Rodríguez *et al.* en el 2005 concuerdan con lo observado en el presente estudio. Estos autores evaluaron el comportamiento poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus haw*), en el cual recolectaron la pitahaya en dos estados de madurez (3 y 5) y la almacenaron por 23 días a dos temperaturas distintas (8 y 19°C). Encontraron que la fruta cosechada en estado 3 y almacenada a 19°C, presentó disminución de la acidez titulable (expresada en porcentaje de ácido cítrico), pasando de 2.54% en el día 1 a 1.50% en el día 15. La fruta en estado 3 a 8°C, disminuyó de 3.02% a 1.29% en 23 días.

El empaçado las pitayas al vacío generó un decremento en los valores de acidez titulable así como en los de pH. Estos resultados no concuerdan con los de Yañez (2007), quien observó que con un 30.0% de CO₂ (v/v) en aire durante el almacenamiento de pitayas por 52 horas los parámetros de pH y acidez titulable se comportaron de manera inversa, es decir, mientras el pH incrementaba, los valores de acidez titulable descendían, explicando que esto se debió a la autorregulación en el contenido de ácidos del fruto. La diferencia entre los estudios puede tener una explicación por el tiempo y condiciones de almacenamiento. Por otra parte, se observó una fermentación gradual de los frutos durante su almacenamiento en ambos estudios.

9.2.3. Azúcares totales

Cuando las frutas se empacan en bolsas de polietileno se crea una atmósfera modificada, la cual disminuye los niveles de O_2 y aumenta los niveles de CO_2 en las bolsas por procesos de maduración del fruto (Brody y Ordoñez, 1996). En este estudio, el contenido de azúcares tanto para las pitayas empacadas y no empacadas fue aumentando durante todo el tiempo de almacenamiento (Fig. 6). Para el cuarto día hubo un incremento en la cantidad de azúcares totales de hasta 12.0% para las pitayas empacadas con el tratamiento cuatro (15s, 15°C), la cantidad más alta de azúcares se obtuvo en las pitayas que no fueron empacadas (28.0%).

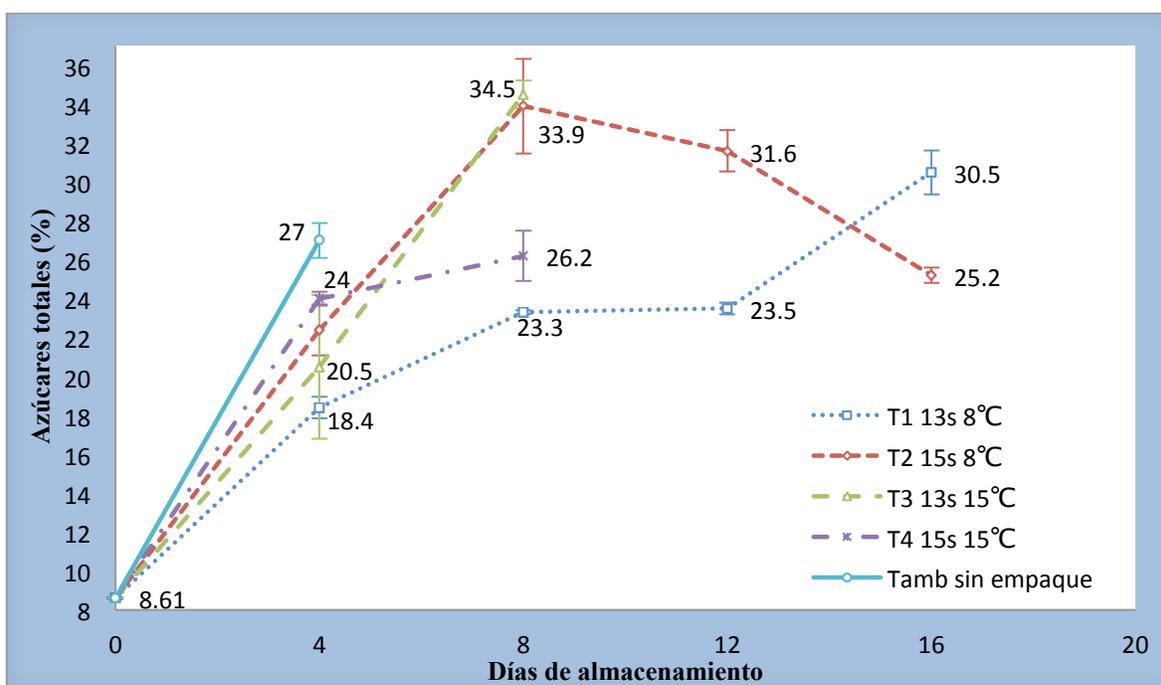


Figura 6. Cambios en el contenido de azúcares totales (%) de la pitaya, almacenada bajo condiciones de vacío y refrigeración.

En el tratamiento uno (13s, 8°C) se observa que el nivel de azúcares sigue aumentando después del octavo día, este tratamiento es el que menos incrementó en la cantidad de azúcares. En cambio, en el tratamiento dos (15s, 8°C) la concentración de azúcares más alta se presentó al octavo día de haberse empacado el fruto y disminuye después de éste. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Azene *et al.* en el

2011, quienes observaron un incremento en la cantidad de azúcares totales (de 11.8 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en el tercer día a 14.9 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en el quinceavo día) y reductores (de 7.0 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en el tercer día a 8.9 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en el quinceavo día) durante los días de almacenamiento de la papaya empacada al vacío.

Así mismo, los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con lo reportado por Wang, Huang y Huang en el 2007. Ellos estudiaron dos variedades de litchi (Nuomici y Feizixiao), evaluando los cambios de concentración y producción de ácido abscísico así como de etileno durante la maduración del fruto con el fin de probar los efectos de los reguladores de crecimiento exógenos en la maduración de la fruta litchi. En la variedad Feizixiao, la concentración de azúcares totales comenzó a aumentar alrededor del noveno día de almacenamiento y alcanzó su punto máximo en el día veintiuno. Sin embargo, la concentración de azúcar se redujo ligeramente a medida que el fruto se fue desarrollando.

El incremento lento en azúcares totales observado en este estudio se puede atribuir a las temperaturas bajas que se utilizaron, a la reducción de O_2 y al aumento de CO_2 en el empaque.

El incremento de azúcares para el caso de las pitayas no empacadas fue considerable en comparación con las pitayas empacadas al vacío. Esto podría estar asociado a que en condiciones de temperatura ambiente se lleva a cabo una hidrólisis rápida de azúcares debido a las mayores tasas de actividad respiratoria, además que el aumento de la temperatura favoreció la disponibilidad de azúcares como sustrato en el proceso de respiración (Willey, 1994 en Azene *et al.*, 2011).

9.2.4. Humedad

En la figura 7, se observa que para el caso de las pitayas empacadas al vacío, en general, hubo un incremento en el porcentaje de humedad. Al cuarto día, presentaron un 3.0% más de humedad que al inicio. Al doceavo día las pitayas empacadas con los tratamientos uno y dos (13s, 8°C y 15s, 8°C) presentaron el porcentaje más alto de humedad, de 5.0% y 4.0% más que el inicio, respectivamente. Para el caso de las pitayas no

empacadas al cuarto día se presentó un decremento de un 3.2% de humedad.

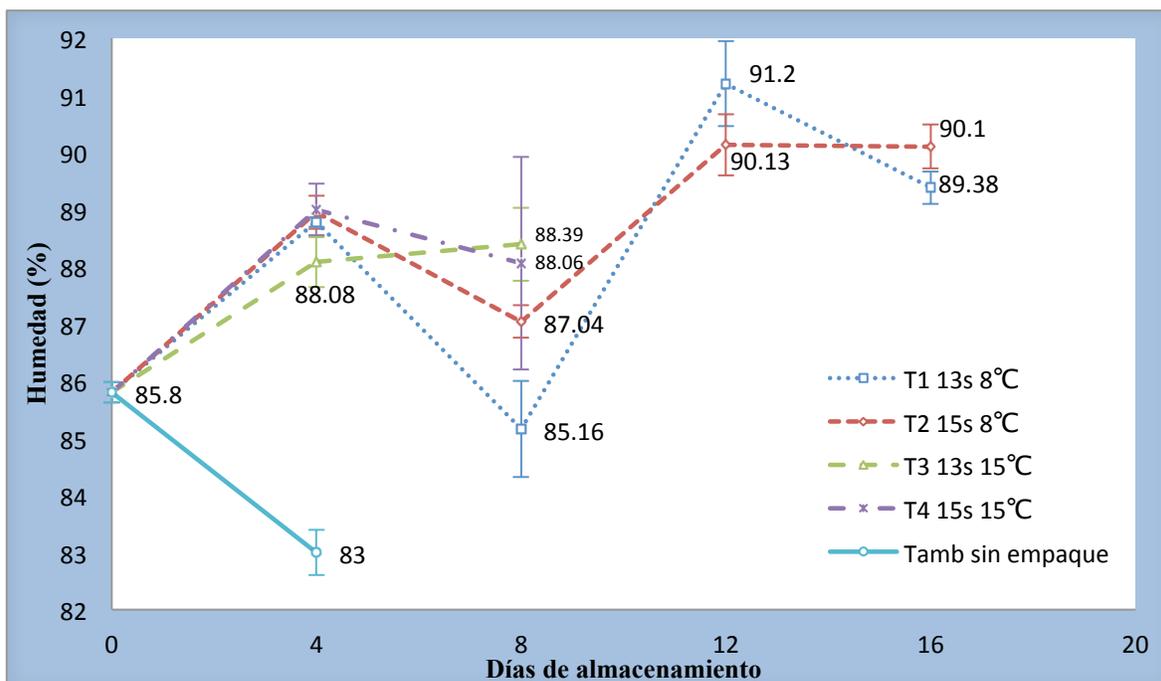


Figura 7. Cambios en el contenido de humedad de la pitaya almacenada bajo condiciones de vacío y refrigeración.

En este estudio el incremento en el porcentaje de humedad pudo ser debido a que:

1. Ocurrió una reestructuración del tejido del fruto a lo largo del tiempo de almacenamiento, lo cual implicó que el agua “intersticial” se encontrara más disponible, esto pudo comprobarse ya que al ir avanzando el tiempo de almacenamiento se observó que el tejido del fruto se contraía. Tal efecto es similar al reportado por Magaña *et al.* (2004), en el estudio del efecto de la frigoconservación en el comportamiento fisiológico de frutas de pitahaya (*hylocereus undatus* Haworth).
2. La cáscara del fruto se fue adhiriendo a la pulpa de la pitaya y como consecuencia, el agua que contenían esta estructura se trasladó a la matriz acumulándose al centro del fruto.
3. Las bajas temperaturas y la lenta tasa de respiración lograron conservar el agua en la matriz del fruto. Los efectos contrarios se observaron en las pitayas no empacadas

debido a que la temperatura ambiente contribuyó a la pérdida de humedad por la aceleración en el metabolismo del fruto. Este efecto también fue observado por García y Robayo en el 2008, en la evaluación de la pitaya amarilla en atmósferas modificadas pasivas y almacenamiento a bajas temperatura.

Este análisis concuerda con Padmanaban *et al.* (2011), quienes mencionan en su estudio titulado incremento de la vida útil de la papaya a través del empaçado al vacío que el alargamiento de la vida útil a temperaturas de refrigeración es debido a la atmósfera anaerobia y a la película de empaçado óptima, lo que conduce a una condensación y que previene la pérdida de humedad durante el almacenamiento.

Lo mostrado por García y Robayo en el 2008, también apoya los resultados encontrados en este estudio, estos autores mencionan que el mayor efecto del uso de los empaques y de atmósferas modificadas ofrecen ventajas en la conservación de la pitaya relativas a la reducción de la pérdida de peso, ya que los frutos en empaque sin perforar y almacenados a 10°C presentaron una pérdida de peso de 0% transcurridos 20 días, la cual marcó una amplia diferencia frente a los testigos refrigerados.

9.2.5. Firmeza

Walteros *et al.* (2002) comentan que los empaques y el tiempo de almacenamiento intervienen en los cambios de firmeza del fruto, y es que en este estudio para el caso de las pitayas empaçadas al vacío se observó que conforme avanzaron los días de almacenamiento el fruto fue perdiendo firmeza. En la figura 8 se observa que para el día 16, las pitayas con el tratamiento uno y tres (13s, 8°C y 13s, 15°C) perdieron 2.0 y 1.5 kgf de firmeza, respectivamente, con respecto al primer día en el que tenían 3.0 kgf de firmeza. Como puede observarse la firmeza de la pitaya tiende a perderse a través de los días de almacenamiento, lo mismo sucedió en el estudio realizado por García y Robayo en el 2008, en el que la dureza de la pitaya amarilla fue disminuyendo hasta caer por debajo del 50% de su valor inicial al cabo de 20 días de almacenamiento a 10°C utilizando películas de polietileno y polipropileno perforadas.

En otro estudio, en el que evaluaron el efecto del empaque sobre la conservación del

fruto verde del plátano, encontraron que con el empaque al vacío se mostró una variación poco significativa en la firmeza (2.4 kgf) durante todo el proceso de almacenamiento, mientras que en las muestras testigo observaron una progresiva disminución de la firmeza durante todo el almacenamiento (6.2 kgf) (Walteros *et al.*, 2002).

Las pitayas no empacadas mostraron una pérdida de firmeza más importante, al cuarto día de almacenamiento la firmeza disminuyó 2.0 kgf con respecto al primer día (3.0 kgf), esta pérdida de firmeza es considerable comparándolo con lo que se observa en las pitayas empacadas, en donde la disminución de firmeza es similar.

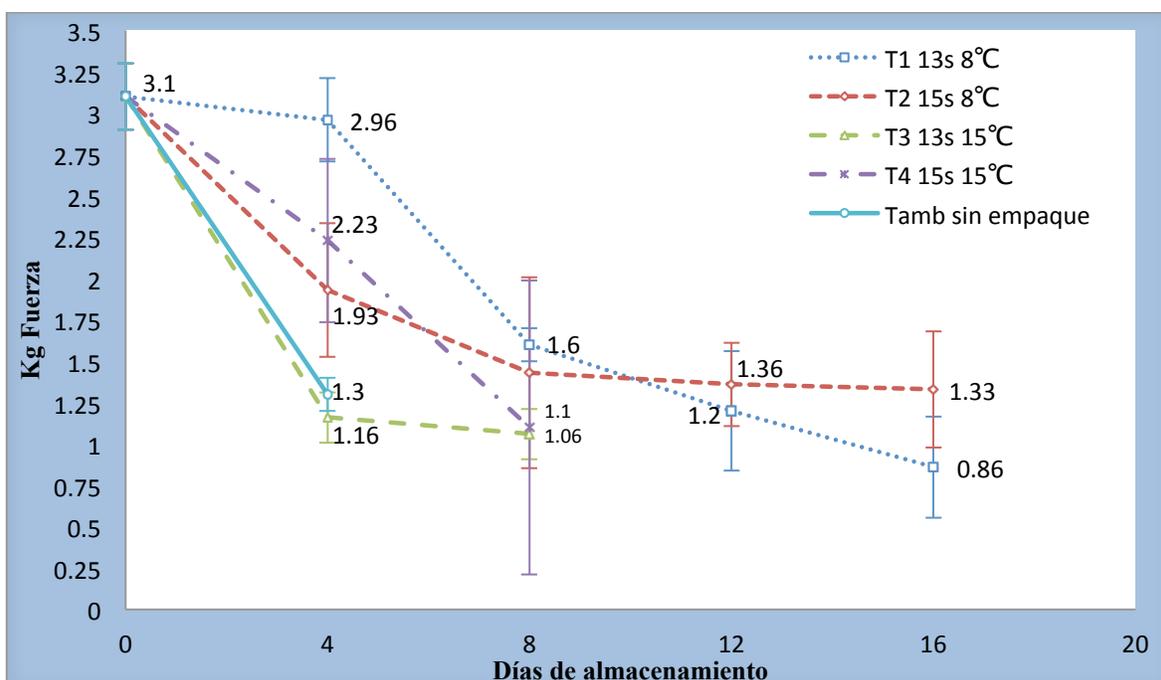


Figura 8. Cambios en la firmeza (kgf) de la pitaya almacenada bajo condiciones de vacío y refrigeración.

La pérdida de firmeza en las pitayas empacadas y no empacadas que se originó conforme avanzó el tiempo pudo deberse a la degradación de los polisacáridos como pectinas, celulosa y hemicelulosa, como lo menciona Irtwange (2006) en Azene *et al.* (2011). Sin embargo, se observó que las bajas temperaturas empleadas para el almacenamiento de la pitaya empacada generaron una pérdida de firmeza gradual. Gallo en 1996, mencionó que la degradación de carbohidratos poliméricos, especialmente la pectina

y celulosa, debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen a las células unidas a las otras, siendo las causas que provocan el ablandamiento.

9.3. Apariencia externa de las pitayas

Las pitayas empacadas con los tratamientos uno y dos (13s, 8°C y 15s, 8°C) mantuvieron una buena apariencia hasta el día 12 y a partir del día 13 perdieron el vacío, dando lugar a un deterioro progresivo del fruto, con cambios de color, olores y sabores indeseables (Fig. 9A). Las pitayas empacadas con los tratamientos tres y cuatro (13s, 15°C y 15s, 15°C), solo se analizaron durante ocho días debido a la notable producción de CO₂ originada de por la descomposición del fruto (Fig. 9B). Del Nobile, Conte, Scrocco, y Brescia (2009) mencionan que el almacenamiento en presencia de CO₂, concentraciones reducidas de O₂ y temperaturas alrededor de 5°C pueden modificar la tasa de respiración y la senescencia en frutos derivados de cactus.

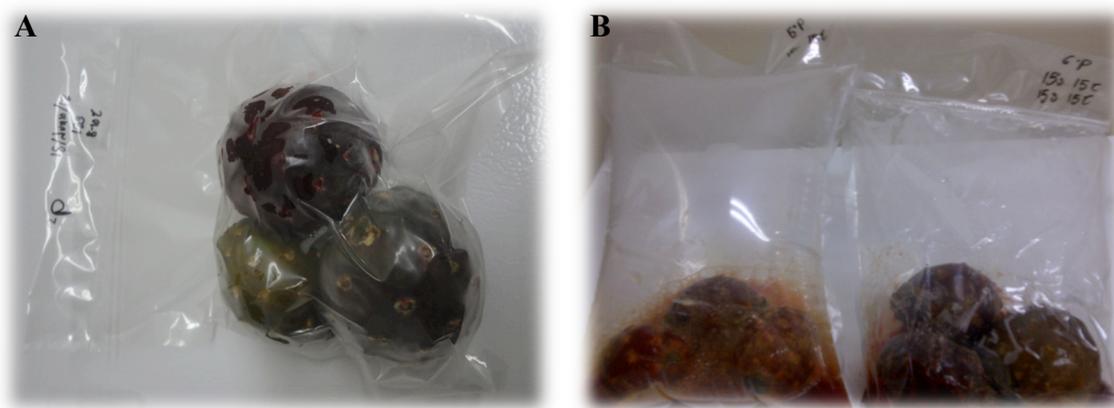


Figura 9. Apariencia externa de la pitaya. (A) Deterioro progresivo del fruto y (B) Producción de CO₂.

Los frutos sin empaque y almacenados a temperatura ambiente presentaron mohos visibles a partir del quinto día de almacenamiento (Fig. 10).



Figura 10. Pitayas sin empaque y almacenadas a temperatura ambiente con presencia de mohos al quinto día posterior a su cosecha.

Los cambios físicos que presentaron las pitayas a través del tiempo de almacenamiento, se presentan a continuación:

En un principio las pitayas empacadas con 13 y 15 segundos de vacío y refrigeradas a 8 y 15°C, no presentaron ningún cambio físico como puede observarse en la figura 11.



Figura 11. Empacado al vacío y almacenado a bajas temperaturas de las pitayas.

Al cuarto día las pitayas mostraron un aspecto similar al de un fruto fresco (Fig. 12). Sin embargo al tocarlas se sentieron menos firmes.



Figura 12. Pitayas empacadas al vacío y almacenadas a bajas temperaturas durante cuatro días.

En el octavo día, las pitayas mostraron humedad en la superficie y pérdida de firmeza. Al abrir las bolsas se percibió un olor intenso a pitaya refrigerada, el cual fue disminuyendo al mantener el fruto fuera del empaque (Fig. 13).



Figura 13. Pitayas empacadas al vacío y almacenadas a bajas temperaturas durante ocho días.

Al doceavo día las pitayas perdieron firmeza considerablemente y comenzaron a expulsar su jugo (Fig. 14).



Figura 14. Pitayas empacadas al vacío y almacenadas a bajas temperaturas durante doce días.

En la figura 15 se observan pitayas con cambios físicos muy intensos, una vez transcurridos dieciséis días de almacenamiento. Hubo presencia de mucílago en la superficie de la pitaya, pérdida de firmeza del fruto y en algunos casos pérdida de vacío y acumulación de CO₂.



Figura 15. Pitayas empacadas al vacío y almacenadas a bajas temperaturas durante dieciséis días.

9.4. Análisis microbiológicos

Como efecto del lavado con agua clorada y del empacado al vacío de la pitaya se observó un decremento en la cantidad de microorganismos. Se presentó un crecimiento microbiano elevado en pitayas no empacadas, el cual fue de 23×10^5 UFC/g de pitaya de bacterias mesófilas, 9 UFC/g de pitaya en la dilución 10^{-1} de levaduras y 12×10^1 UFC/g de pitaya de mohos, tan solo al primer día de almacenamiento, esto probablemente se debe a un mal manejo poscosecha ya que durante este estudio se observó que las condiciones de recolección y transporte permiten que los microorganismos se introduzcan al fruto a través de las espigas que se entierran en el mismo.

A continuación se presentan las unidades formadoras de colonias (UFC) estimadas de bacterias mesófilas (Tabla 3), levaduras (Tabla 4) y mohos (Tabla 5) encontrados en los diferentes días de almacenamiento de las pitayas empacadas al vacío.

9.4.1. Bacterias mesófilas

En los tratamientos uno y dos (13s, 8°C y 15s, 8°C) el número de bacterias mesófilas estimado fue entre 20 y 12×10^1 UFC/g en los primeros 8 días y disminuyó a 10 UFC/g para el día 16 (Tabla 3). Para los tratamientos tres y cuatro (13s, 15°C y 15s, 15°C), al cuarto día de almacenamiento el conteo fue de 28×10^1 y 18×10^1 UFC/g respectivamente; al octavo día el número de bacterias disminuyó para los dos tratamientos debido al aumento en los niveles de CO₂ dentro del empaque.

Tabla 3. UFC de bacterias mesófilas durante el almacenamiento a bajas temperaturas de las pitayas empacadas al vacío.

Tratamiento	Días			
	4	8	12	16
T ₁ :13s-8°C	20 UFC/g*	12×10^1 UFC/g	ND	10 UFC/g*
T ₂ :15s-8°C	60 UFC/g	ND	ND	10 UFC/g*
T ₃ :13s-15°C	28×10^1 UFC/g*	11 UFC/g*	ND	ND
T ₄ :15s-15°C	18×10^1 UFC/g	1 UFC/g*	ND	ND

*Valor estimado. ND: No determinado. UFC: Unidades formadoras de colonia.

9.4.2. Levaduras

En el caso de las pitayas empacadas al vacío se observó el crecimiento de levaduras en todos los tratamientos, el crecimiento más importante se observó en los tratamientos 3 y 4 (13s, 15°C y 15s, 15°C). En estos tratamientos para el octavo día ya habían 24×10^2 y 26×10^2 UFC/g de pitaya, respectivamente (Tabla 4). Al doceavo día ya no se pudieron analizar los frutos debido a la descomposición de los mismos a causa de los microorganismos (Fig. 10). Para el caso del tratamiento uno (13s, 8°C), se observó que el crecimiento de levaduras aumentó considerablemente para el octavo día, pero para el día 16 disminuyó a 46 UFC/g. Finalmente, en el tratamiento dos se contaron menos de 10 UFC/g durante todo el tiempo de almacenamiento.

Tabla 4. UFC de levaduras durante el almacenamiento a bajas temperaturas de las pitayas empacadas al vacío.

Tratamiento	Días			
	4	8	12	16
T ₁ :13s-8°C	<10 UFC/g	20×10^4 UFC/g*	<10 UFC/g	46 UFC/g*
T ₂ :15s-8°C	<10 UFC/g	ND	<10 UFC/g	<10 UFC/g
T ₃ :13s-15°C	<10 UFC/g	24×10^2 UFC/g*	ND	ND
T ₄ :15s-15°C	<10 UFC/g	26×10^2 UFC/g*	ND	ND

*Valor estimado. ND: No determinado. UFC: Unidades formadoras de colonia.

9.4.3. Mohos

El crecimiento de mohos se presentó en todos los tratamientos, incluyendo las pitayas no empacadas. Como ya se mencionó, debido a la producción alta de CO₂ en los tratamientos tres y cuatro (13s, 15°C y 15s, 15°C) ya no hubo conteo de mohos para el doceavo día, pero se observó que en el tratamiento cuatro (13s, 15°C) se presentó al octavo día la cantidad más alta de mohos (41×10^2 UFC/g) (Tabla 5). En el caso de los tratamientos uno y dos (13s, 8°C y 15s, 8°C) el crecimiento de mohos se presentó durante los 16 días de almacenamiento, en el tratamiento dos se contaron menos de 10 UFC/g para el cuarto día y para el día dieciseisavo se contaron 9 UFC/g en la dilución de 10^{-1} .

Tabla 5. UFC de mohos durante el almacenamiento a bajas temperaturas de las pitayas empacadas al vacío.

Tratamiento	Días			
	4	8	12	16
T ₁ :13s-8°C	<10 UFC/g	29 x 10 ² UFC/g*	2 UFC/g en dilución 10 ⁻¹	10 UFC/g
T ₂ :15s-8°C	<10 UFC/g	ND	2 UFC/g en dilución 10 ⁻¹	9 UFC/g en dilución 10 ⁻¹
T ₃ :13s-15°C	<10 UFC/g	<10 UFC/g	ND	ND
T ₄ :15s-15°C	<10 UFC/g	41 x 10 ² UFC/g*	ND	ND

*Valor estimado. ND: No determinado. UFC: Unidades formadoras de colonia.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Vargas *et al.* en el 2010, en su estudio titulado vida útil de pitahaya (*Hylocereus undatus*) mínimamente procesada observó que en las pitahayas empacadas en bolsas de polietileno de baja densidad, con un grosor de 70 µm y que presentaron una atmósfera pobre en O₂ y rica en CO₂, el crecimiento microbiano se dio en un menor tiempo. En este estudio, en los tratamientos tres y cuatro (13s, 15°C y 15s, 15°C) se presentó la misma tendencia, observándose que el crecimiento microbiano fue mucho más rápido y más importante que para los tratamientos uno y dos (13s, 8°C y 15s, 8°C), en los cuales se observó que a los 16 días el crecimiento microbiano todavía permitió el análisis de las pitayas.

En México aún no se ha establecido una legislación en cuanto los requisitos sanitarios y niveles de carga microbiana que debe tener un fruto sin procesar. La posible razón por la que no se han establecido estos criterios es porque no hay recopilación de datos para establecer una norma. La recopilación de datos microbiológicos es exigida por la norma CAC/GL 21-1997 del codex alimentarius, sin embargo hasta ahora no se ha generado una base de datos que establezca los límites microbiológicos permisibles en los alimentos sin procesar.

En otros países como Colombia ya se ha establecido un reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas que se procesen, empaquen,

transporten, importen y comercialicen, esto de acuerdo al ministerio de la protección social de Colombia en el 2011.

En Colombia los requisitos microbiológicos en el recuento de mohos y levaduras para pulpas y jugos de frutas sin procesar, tiene un índice máximo permisible de 1000 UFC/g o ml para identificar al fruto con un nivel de buena calidad (Moreno, 2011). Así mismo para que el fruto tenga un nivel aceptable de calidad el índice máximo permisible es de 3000 UFC/g ó ml. En el presente estudio los tratamientos de empacado que podrían cumplir con el nivel aceptable de calidad de acuerdo al reglamento de requisitos sanitarios de Colombia para recuento de levaduras y mohos son los tratamientos uno y dos (13s, 8°C y 15s, 8°C) ya que a lo largo del proceso mantuvieron menos de 3000 UFC/g, con excepción del tratamiento uno (13s, 8°C) en el conteo de levaduras ya que a partir del octavo día las pitayas empacadas presentaron un conteo de 20×10^4 UFC/g.

Los tratamientos tres y cuatro (13s, 15°C y 15s, 15°C) solo podrían cumplir el nivel aceptable de calidad en el recuento de levaduras hasta el octavo día, ya que en días posteriores el crecimiento microbiano fue muy elevado, lo cual fue observado por el deterioro excesivo del fruto, de tal manera que se decidió no seguir evaluando microbiologicamente a los frutos empacados.

Por lo general, las concentraciones de CO₂ requeridas para la inhibición de microorganismos exceden las concentraciones toleradas por las frutas y verduras. Por ejemplo, Yackel, Nelson, y Steinberg en 1971, encontraron que el uso de atmósferas modificadas no siempre reprime el crecimiento de levaduras, particularmente si las levaduras ya habían comenzado a crecer en la fruta. Deák (1984) encontró que las concentraciones de CO₂ que eran óptimas para inhibir el crecimiento de varias bacterias, no eran toleradas por la coliflor en su almacenamiento con este gas provocando un deterioro en el vegetal. Así, las concentraciones de gas a menudo se debe adaptar a las situaciones específicas de empacado o almacenamiento.

9.5. Análisis estadístico

El diseño factorial general se determinó con tres factores: tiempo de vacío (13 y 15 segundos), temperatura de almacenamiento (8 y 15°C) y tiempo de almacenamiento (4, 8, 12 y 16 días); con cinco variables de respuesta (pH, acidez titulable, azúcares totales, humedad y firmeza); y con tres réplicas.

En la tabla 6, se presenta la información generada del análisis de varianza (ANOVA) del diseño factorial planteado. Se observa que el tiempo de vacío es significativo sobre el pH y la acidez titulable, ya que se cumple $F_0 > F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$ para cada variable de respuesta. En cuanto a la temperatura de almacenamiento y tiempo de almacenamiento, estos presentan un efecto significativo sobre los azúcares, pH, acidez titulable, firmeza y humedad, como se observa en la tabla 6, estas variables de respuesta presentan valores de $F_0 > F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$.

El efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las variables de respuesta puede explicarse ya que entre más alta sea la temperatura mayor será el efecto sobre la velocidad del metabolismo y esto ejerce un efecto directo sobre la solubilidad de los gases (Burton, 1982). A velocidades metabólicas más altas, ocasionadas por un incremento en la temperatura, el efecto de la resistencia a la difusión de los gases es más importante. Así, de acuerdo con Burton (1982), una temperatura alta aumenta la utilización de O_2 , disminuyendo las concentraciones de O_2 intercelular y reduciendo los niveles de O_2 disuelto en equilibrio con dicha concentración ya reducida. Esto ocasiona un incremento de la necesidad de O_2 por parte de los tejidos vegetales y por consiguiente la acumulación de CO_2 , agravando la tendencia hacia la anaerobiosis (Lougheed, 1987).

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA)

Variable de Respuesta	Factor	Grados de libertad	F ₀	F _{α,ν₁,ν₂}	P
Azúcares	Tiempo de vacío	1	1.69	4.152	0.203
	Temperatura de almacenamiento	1	216.11	4.152	0.000
	Tiempo de almacenamiento	3	59.75	2.904	0.000
pH	Tiempo de vacío	1	124.31	4.152	0.000
	Temperatura de almacenamiento	1	2037.22	4.152	0.000
	Tiempo de almacenamiento	3	3587.62	2.904	0.000
Acidez Titulable	Tiempo de vacío	1	15.52	4.152	0.000
	Temperatura de almacenamiento	1	38.32	4.152	0.000
	Tiempo de almacenamiento	3	43.2	2.904	0.000
Firmeza	Tiempo de vacío	1	0.41	4.152	0.524
	Temperatura de almacenamiento	1	74.1	4.152	0.000
	Tiempo de almacenamiento	3	46.49	2.904	0.000
Humedad	Tiempo de vacío	1	2.54	4.152	0.121
	Temperatura de almacenamiento	1	61495.79	4.152	0.000
	Tiempo de almacenamiento	3	18872.76	2.904	0.000

A continuación se muestran las gráficas de efectos principales para las cinco variables de respuesta:

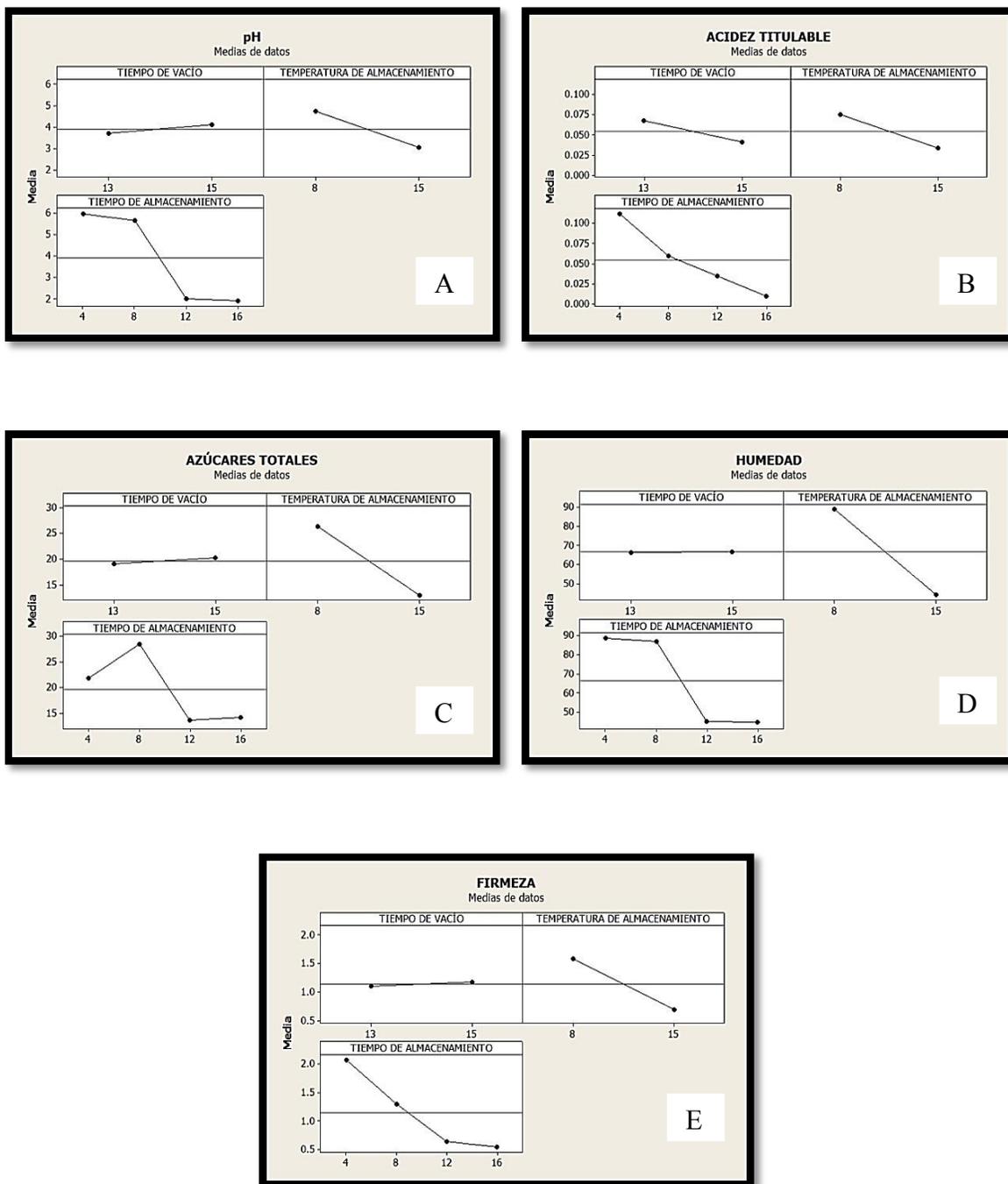


Figura 16. Gráficas de efectos principales para (A) pH, (B) acidez titulable, (C) azúcares totales, (D) humedad y (E) firmeza.

Las gráficas de efectos principales obtenidas por Minitab (Fig. 16) muestran la variación de las medias de cada variable de respuesta con respecto a los niveles de tiempo de vacío, temperatura de almacenamiento y tiempo de almacenamiento.

En la tabla 7 se muestran los valores de las medias de los datos para cada variable de respuesta en cada nivel de los tres factores:

Tabla 7. Medias para cada variable de respuesta en cada nivel de factor.

Variable de respuesta	Tiempo de vacío (s)		Temperatura de almacenamiento (°C)		Tiempo de almacenamiento (días)			
	13	15	8	15	4	8	12	16
pH	3.69	4.11	4.74	3.06	5.98	5.68	2.02	1.92
Acidez titulable	0.06	0.04	0.07	0.03	0.112	0.06	0.03	0.01
Azúcares totales	19.04	20.21	26.28	12.97	21.96	28.49	13.75	14.30
Firmeza	1.10	1.17	1.58	0.69	2.07	1.30	0.64	0.55
Humedad	66.37	66.65	88.84	44.18	88.70	87.15	45.33	44.87

Las diferencias entre las medias de cada condición indican si tuvo o no efecto significativo el factor sobre las variables de respuesta, la manera en que se observa en las gráficas, es por la pendiente de las líneas trazadas entre punto y punto. Si la línea formada entre los puntos de cada gráfica tiene un pendiente cercana a cero indica que no hubo un efecto significativo sobre la variable de respuesta por parte del factor, mientras que si hay una pendiente pronunciada indica que si ocurrió tal efecto significativo.

Los factores de temperatura de almacenamiento y tiempo de almacenamiento, presentan un efecto significativo sobre los azúcares, pH, acidez titulable, firmeza y humedad, ya que se observa una pendiente pronunciada en cada una de las gráficas. En

cuanto al tiempo de vacío, se observa que es significativo sobre el pH y la acidez titulable. Estos resultados concuerdan con los datos obtenidos en el ANOVA (Tabla 6).

Realizando un análisis en base a las gráficas de efectos principales (Tabla 8) se pueden obtener las condiciones óptimas de tiempo de vacío, temperatura de almacenamiento y tiempo de almacenamiento.

Tabla 8. Análisis de condiciones óptimas en el empacado al vacío de la pitaya.

VARIABLES DE RESPUESTA	TIEMPO DE VACÍO (s)	TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO (°C)	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)
pH	15	8	4-8
Acidez titulable	13	15	12-16
Azúcares totales	13	8	4
Firmeza	13-15	8	4
Humedad	13-15	8	4-8

Tomando en cuenta que las variables de respuesta más importantes para preservar la calidad del fruto son el pH, la acidez titulable y la firmeza, se tiene que el tiempo óptimo de vacío es indistinto, puede ser de 13 o 15 segundos; la temperatura de almacenamiento debe ser de 8°C y el tiempo óptimo de almacenamiento de 4 días, pudiendo extenderse hasta un máximo de 8 días.

10. CONCLUSIONES

Se llevó a cabo la evaluación del efecto del empacado al vacío y del almacenamiento a bajas temperaturas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de la pitaya. Los resultados mostraron que el tiempo de vacío aplicado de 13 y 15 segundos no afecta las características fisicoquímicas del fruto, además el vacío inhibe el crecimiento de las bacterias mesófilas. Sin embargo, las bajas concentraciones de O₂ generadas por la evacuación del aire durante el empacado y la baja permeabilidad de la bolsa del empaque utilizado propiciaron que se generara una atmósfera de CO₂ debido a la respiración del fruto y en consecuencia el desarrollo de levaduras y mohos.

Por otro lado, la temperatura de almacenamiento sí tiene un efecto significativo sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas, ya que entre más alta la temperatura más rápida fue la descomposición del fruto.

El análisis estadístico arrojó como resultado que aplicando vacío durante 13 segundos y almacenando a 8°C se conservan mejor las características fisicoquímicas durante ocho días.

Finalmente, se puede decir que con el empacado al vacío las características fisicoquímicas de la pitaya sufren un menor deterioro a comparación del fruto no empacado.

11. PERSPECTIVAS

Para estudios posteriores con el objetivo de prolongar la vida útil de la pitaya se debe considerar lo siguiente:

- Mejorar el método de recolección actual de la pitaya para evitar daños severos que pueden influir en el empacado al vacío del fruto.
- Sumergir a los frutos antes del empacado al vacío en una solución con agentes que eviten la pérdida de firmeza. Gorny y Kader en 1997 trataron con cisteína, ácido ascórbico y lactato de calcio a la pera variedad William con el fin de mantener la firmeza del fruto.
- Evaluar bolsas de diferentes material y espesor o utilizar otros tipos de empaques como por ejemplo películas o recubrimientos en combinación con temperaturas bajas. Del Nobile *et al.* en el 2009 encontraron que utilizando el alginato de sodio como recubrimiento para la tuna, se prolongó la vida útil de este fruto por 13 días.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. (1997). Official Methods of Analysis of AOAC International. Volumen II y III. Sixteenth Edition. 3rd Revision. Edited by Patricia Cunniff.
- Azene, M., Seyoum, W. T., y Woldetsadik, K. (2011). Effect of packaging materials and storage environment on postharvest quality of papaya fruit. DOI 10.1007/s13197-011-0607-6.
- Bárceñas, A. P. y Jiménez C. V. (2010). Pitayas y Pitahayas (*Stenocereus spp. e Hylocereus spp.*), recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán en sociedades rurales, producción y medio ambiente. Sociedades rurales, producción y medio ambiente. 10 (19).101-119.
- Beltrán, M.C. Oliva TC., Gallardo, T. Osorio G. (2009). Ascorbic Acid, Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Red, Cherry, Yellow and White Types of Pitaya Cactus Fruit (*Stenocereus Stellatus Riccobono*). México. Agrociencia 43(2):153-161.
- Blakistone, B.A. (1998). Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods. [Versión de Springer]. Recuperado de <http://books.google.com.mx/books?id=78sOfd9OgXYC&printsec=frontcover&dq=principles+and+applications+of+Modified+atmosphere+packaging+of+foods&hl=es&sa=X&ei=WOUSUY27KYKsywGvqIHQCg&ved=0CDkQ6AEwAA>
- Brody, L. A. T.R. Ordoñez, P. A. J. (1996). Envasado de alimentos en atmósferas controladas, modificadas y a vacío. Zaragoza, España: Ed.Acribia.
- Burton, W.G. (1982). The effect of temperature upon oxygen and carbon dioxide concentrations in the tissues. The physiological implications of structure: exchange of gases. In: Post-Harvest Physiology of Food Crops. U.S.A: Ed. Longman.
- Chetti, M. B., Deepa, G. T., Roshny, T. A., Khetagoudar, M. C., Uppar, D. S., y Navalgatti, C. M. (2011). Influence of vacuum packaging and long term storage on quality of whole chilli (*Capsicum annum L.*) Journal Food Sci Techno, DOI 10.1007/s13197-012-0763-3.
- Cocina tlacuani (2009). Recuperado de <http://cocinatlacuani.blogspot.mx/2009/04/la-feria-de-pitaya.html>
- Codex alimentarius (2013). Norma CAC/GL 21-1997. Recuperado de <http://www.codexalimentarius.org/normas-oficiales/lista-de-las-normas/es/>
- Deák, T. (1984). Microbial-ecological principles in controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. In “Microbial Associations and Interactions in Food” (I. Kiss, T. Deák, and K. Incze, eds), pp. 9-22. Hungarian Academy of Science, Budapest.

- Del Nobile, M. A., Conte, A., Scrocco, C. y Brescia, I. (2009). New strategies for minimally processed cactus pear packaging.
- Diodoro, G. S., Mercado, B. A. y López, R. F. G. (1999). Pitayas de México. En revista ciencia y desarrollo, CONACYT. 25(145), 58-67.
- Esquivel, P. (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía mesoamericana*. 15(2), 215-219.
- Fellows, P. J. (2009). Food procesing technology Principles and practice. Third edition. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- Gallo, F. (1996). Manual de fisiología, patología post-cosecha y control de calidad de frutas y hortalizas. Convenio SENA - NRI, Armenia. 10-41.
- García. (2003). Cultivo y comercialización de pitaya. Recuperado de www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Cultivo%20de%20pitaya.pdf
- García, C. M. y Robayo, P. (2008). Evaluación del uso de atmósferas modificadas pasivas y temperaturas bajas en la conservación de pitaya amarilla (*Selinicereus megalanthus Shuman*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 9(1). 30-39.
- Gervacio, B. I. (2005). Diseño de un sistema integral para almacenar, transportar y exhibir pitaya (*Stenocereus griseus*), Tesis de Licenciatura, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oax., México.
- Gorny, J. R., Kader, A. A. (1997). Postharvest Physiology and Quality Maintenance of Fresh-cut Pears. California Pear Advisory Board. Research Report. Dept. of Pomology, University of Calif., Davis, CA 95616.
- Kays, S. (2004). Postharvest biology. Athens, Georgia: Exon Press. 568 p.
- Luna, M. C. del C., J. R. Aguirre R. y C.B. Peña Valdivia. (2001). Cultivares tradicionales Mixtecos de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* (Cactaceae). UNAM. Serie Botánica 72 (2):131-155.
- Lougheed, E.C., (1987). Interactions of oxygen, carbon dioxide, temperature and ethylene that may induce injuries in vegetables. *HortSci*. 22(5): 791-794.
- Magaña, W., Balbín, Ma. I., Corrales, J., Rodríguez, A., Saucedo, C., Cañizares, E., Sauri, E. (2004). Efecto de la frigoconservación en el comportamiento fisiológico de frutas de pitahaya (*hylocereus undatus* Haworth). En revista Cultivos Tropicales. Vol.25, No.4. p.33-39.
- Martínez, G. J.C. y Bonilla, B. J.J. (2005). Situación de la pitaya de mayo *Stenocereus pruinosus* (OTTO) Buxbaum en tres localidades de la Mixteca Baja. En revista de

Geografía Agrícola. Universidad Autónoma de Chapingo. 75-90.

- Moreno, B. C. (2011). Ministro de la Protección Social de Colombia. Continuación del Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional. Recuperado de http://members.wto.org/crnattachments/2011/sps/COL/11_2299_00_s.pdf
- Padmanaban, G., Singaravelu, K. y Thirumaran A. S. (2011). Increasing the shelf- life of papaya through vacuum packing. *Journal of Food Science and Technology*. Identificación de Material Digital, DOI 10.1007/s13197-011-0468-z.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), (2011). Estrategia de Desarrollo Rural Territorial realizado por equipos territoriales. En: Fortalecimiento de la cadena productiva pitaya en la región mixteca baja, Oaxaca.
- Parry, R. T. (1995). Envasado de los alimentos en atmósfera modificada. España: Ed. Madrid.
- Pimienta, B., E. y Park, S. (1994). Nobel pitaya (*Stenocereus spp., cactaceae*) an ancient and modern fruitcrop of México. *Economic Botany*. 48(1), 76-83.
- Rodríguez, R., D. A., Patiño, G. M., Miranda, L. D., Fischer, G. y Galvis, V. J. A. (2005). Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus Haw.*). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. Vol.58, No.2. p.2837-2857.
- Sánchez, T. J. (2006). Aclareo de frutos de pitaya (*Stenocereus griseus*) en la región mixteca baja oaxaqueña. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Biológicas y de la Salud.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2010). Recuperado de http://www.siap.gob.mx/agricola_siap/icultivo/index.jsp
- Smith, F.A. y Raven J.A (1979). Intracellular pH and its regulation. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 30: 289-311.
- Rebollar, A. A., Romero, P. J., Cruz, H. P. y Zepeda, C. H. (2002). El cultivo de la pitaya (*Stenocereus spp.*), una alternative para el tropic seco del estado de Michoacán. México: Editorial Futura.
- Vargas y V. L., Tamayo C. J., Centurión Y. A., Tamayo C. E., Saucedo V. C. y Sauri D. E. (2010). Vida útil de la Pitahaya (*Hylocereus undatus*) mínimamente procesado. En revista Iberoamericana de tecnología poscosecha. Asociación Iberoamericana de tecnología poscosecha, S.C. 11(2), 154-161.

- Yackel, W. C., Nelson, A. I., L. S., and Steinberg, M. P. (1971). Effect of controlled atmosphere on growth of mold on synthetic media and fruit. *Appl. Microbiol.* 22, 513-516.
- Yáñez L. L. (2007). El efecto de la atmosferas ricas en CO₂ en los patrones de acumulación de etanol, pH, acidez titulable, sólidos solubles y ácidos orgánicos en diversos productos hortifrutícolas. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa. México. 87-88.
- Yáñez L. L., Armella M. A., Soriano R. R., Sánchez-Díaz D. M. (2009). Estudio de tres cactáceas de la mixteca Baja, Conocimiento para su uso sustentable. México:Ed. Visión Tipográfica Editores.
- Walteros C., N.B., Ramírez B., C. y Arcila P., M.I. (2002). Efecto del empaque sobre la conservación y vida poscosecha del fruto verde del plátano semiprocesado en el Departamento del Quindío en Acobat. Memorias XV reunión. Realizada en Cartagena de indias, Colombia.
- Wang, H., Huang, H., Huang, X. (2007). Differential effects of abscisic acid and ethylene on the fruit maturation of *Litchi chinensis* Sonn. *Journal of Plant Growth Regul.* DOI 10.1007/s10725-007-9189-8.

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de los laboratorios de Ciencias de los alimentos y Química de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Para el desarrollo de este proyecto se percibió una beca PROMEP con referencia IDCA 8799 No. 3592.