



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA.
Unidad Iztapalapa.
División de Ciencias Biológicas y de la Salud



POSGRADO: ESPECIALIDAD EN BIOTECNOLOGÍA.

“Evaluación de la calidad del nopal (*Opuntia ficus indica*) variedad Milpa Alta desespinado, envasado en atmósferas modificadas”.

Idónea comunicación

Presenta:

MVZ Carlos D. Morales Gabriel

Comité Tutorial

Dra. Elsa Bosquez Molina

Dra. Eva Rodríguez Huevo

Lectora

Dra. Silvia Bautista Baños

México, D. F., Noviembre 2009.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia y amistades; así como a 2 personajes esenciales en mi vida, los cuales en conjunto me ayudaron con su apoyo incondicional a ampliar mis conocimientos y estar más cerca de mis metas profesionales; al igual que comprender que no es la fuerza, sino la perseverancia de los altos sentimientos la que hace a los hombres superiores.
Gracias totales.





El presente trabajo se realizó en:

*El laboratorio de Fisiología Postcosecha de Frutas y Hortalizas Edificio
S-156
Departamento de Biotecnología,
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.*



AGRADECIMIENTOS

Instituciones:

Universidad Autónoma Metropolitana.

Comité Tutorial:

Dra. Elsa Bosquez Molina

Dra. Eva Rodríguez Huevo

Dra. Silvia Bautista Baños



CONTENIDO

I.- INTRODUCCIÓN	6
II.- ANTECEDENTES	8
III.- OBJETIVO GENERAL	18
IV.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
V.- HIPÓTESIS	19
VI.- METODOLOGÍA	19
VII.- RESULTADOS Y DISCUSIONES	30
VIII.- CONCLUSIONES	47
IX.- BIBLIOGRAFÍA	48
X.- ANEXOS	53



I.- INTRODUCCIÓN

Los "Nopalitos" es el nombre tradicional que tienen los cladodios del nopal (*Opuntia spp.*). Este cultivo ha representado para los mexicanos, uno de los elementos más relevantes y de mayor significado cultural, ya que se utiliza como alimento y forraje desde las culturas prehispánicas, y en la actualidad tiene usos medicinales, cosméticos y textiles (Stintzing, 2006; SAGARPA, 2007; Feugang, 2006). El género *Opuntia* es el más representativo de la familia de las Cactáceas, el cual incluye aproximadamente de 300 - 400 especies y un gran número de variedades; cerca de 100 especies son endémicas de México (Moussa, 2006). Las plantaciones comerciales de nopal verdura abarcaron en el 2005 en México, una superficie de 10 930 hectáreas, con una producción de 759 072 ton, ocupando el tercer lugar en volumen de producción de hortalizas. Las áreas de producción se localizan en 27 Estados de la República, siendo Milpa Alta, D.F., la zona productora más importante del país con el 41% de la producción (SIAP-SAGARPA, 2005).

En el mercado externo existe una demanda creciente de nopales, especialmente en los Estados Unidos y Canadá, en gran medida por la población de origen mexicano que vive en estos países y la presencia de comunidades latinas que buscan alimentos étnicos. También se consume en Japón y algunos países europeos como Italia y Turquía (Pimienta, 1993). La demanda en los mercados domésticos y de exportación puede crecer, ya que hoy en día el nopal ha cobrado una particular importancia como fuente de nutrientes y compuestos funcionales para conservar la salud. El nopal es rico en calcio, magnesio, proteínas, fósforo, sodio, vitaminas A y C, complejo B, fibras (lignina, celulosa, hemicelulosa) pectina y mucílago; sus propiedades medicinales se relacionan con el control de los siguientes padecimientos: diabetes (por su efecto hipoglucémico),



antiinflamatorios, antiviral, anticancerígenos, antioxidantes, antihipercolesterolémico, antihiperlipidémico (particularmente de triglicéridos) y en desórdenes gastrointestinales (Rodríguez-Félix, 2007; Stintzing, 2005). El nopal también se procesa industrialmente en productos como: nopalitos en escabeche, en salmuera, mermelada de nopal, polvo de nopal para uso medicinal y alimentos preparados envasados (Reza, 2005). La presentación más común y de amplia aceptación en el mercado nacional es tanto del producto desespinado-bordeado como en troceado y empacado en bolsas de polietileno; algunas veces almacenadas bajo refrigeración y otras a temperatura ambiente (Robles-Ozuna, 2007). La vida de anaquel del producto en esta presentación es muy corta, de un día a temperatura ambiente y 6 días a 5 °C, debido a reacciones críticas de deterioro, que ocurren de manera secuencial y muy acelerada: a) el rápido cambio de color verde natural a un verde oscuro y que es un producto de reacciones enzimáticas, de las cuales la enzima responsable es la polifenoloxidasasa b) el drenado de mucílago, y c) el rápido crecimiento de microorganismos (bacterias, hongos y levaduras) cuya actividad produce cambios en el color, textura, sabor y olor. Tanto el color como el drenado de mucílago y flacidez de los cladodios constituyen normalmente el criterio para la aceptación o rechazo por parte de los consumidores (Salinas-Hernández, 2006; Robles-Ozuna, 2007).



II.- ANTECEDENTES CIENTÍFICOS

La refrigeración es la tecnología más ampliamente utilizada para alargar la vida útil de los productos vegetales frescos; sin embargo se ha reportado que durante el almacenamiento de nopal verdura a 5°C, su susceptibilidad al daño por frío (DF), se manifiesta después de 15 días en forma de manchas oscuras y difusas en la superficie del cladodio, siendo el principal problema que limita su vida postcosecha (Cantwell, 1995; Nerd y col., 1997). A temperaturas superiores (10°C), la incidencia del DF después de 21 días es baja (6%) pero se reduce la calidad más rápidamente a esta temperatura generando una pérdida de peso que puede ser del 20% (Rodríguez-Félix, 1997; Rodríguez-Félix, 2007).

El desespinado y rebordeado que se realiza como acondicionamiento para la venta de los cladodios desencadena una serie de cambios fisiológicos que implican el consecuente aumento en la tasa de respiración y producción de etileno. El etileno producido por el tejido vegetal dañado induce la síntesis de enzimas asociadas a los procesos de senescencia del producto cortado, aunado a esto, el daño mecánico inducido a los tejidos, genera la liberación de enzimas y sustratos favoreciendo su contacto y por consiguiente se incrementan las reacciones que conducen a su rápido deterioro (Salinas-Hernández, 2006).

Otra tecnología que se ha utilizado para prolongar la vida útil y calidad de alimentos perecederos, es el de las atmósferas controladas y modificadas que se aplican como complemento a la refrigeración (Brecht, 2006).

El aire normal tiene una concentración de O₂ del 21% y la del CO₂ es cercana al 0.03%. Por definición, el término de atmósfera controlada (AC) y modificada (AM) denota la adición o remoción de gases de la atmósfera que rodea a frutas y hortalizas para producir una mezcla de composición diferente a la del aire. Son diversos los gases cuya concentración se varía tratando de conseguir efectos benéficos, pero los fundamentales en esta tecnología de conservación son el O₂ (a



concentraciones reducidas respecto al aire), el CO₂ (a concentraciones mayores a la del aire) y el N₂ (para compensación de presiones). La diferencia entre AC y AM radica en el grado de control, en la AC se utilizan equipos e instalaciones para un control preciso que garantiza el mantenimiento de la concentración constante de la mezcla de gases aplicados; mientras que en la AM las condiciones se establecen para una conservación transitoria de corto plazo; en este caso la atmósfera se va modificando gradualmente por la actividad respiratoria propia de los productos. (Wills y col., 1998).

El envasado en atmósfera modificada (EAM) consiste en colocar el producto en una charola premoldeada recubierta con una película plástica, cuya atmósfera es de composición distinta a la del aire (Kader, 2002). La pérdida de agua ocasionada por transpiración se reduce a un mínimo con el EAM debido a la alta humedad relativa que prevalece en el interior de estos envases dado que se aplica un sellado hermético o semihermético.

Efectos fisiológicos de las atmósferas controladas y modificadas.

El éxito del almacenamiento o envasado de los productos vegetales frescos en atmósferas modificadas, depende de varios factores, a saber, la especie, variedad, estado fisiológico (estado de madurez o desarrollo), concentraciones específicas de O₂ y CO₂, temperatura y tiempo de exposición en tales condiciones.

La aplicación de atmósferas (controladas o modificadas) a un producto vegetal de determinada variedad, con niveles de oxígeno por debajo o niveles de CO₂ por encima de sus límites de tolerancia, a una combinación de tiempo- temperatura dada, generará un estrés en los tejidos que se manifestará de diversas formas: maduración irregular, desarrollo de aromas y sabores anormales, degradación de tejidos o presentación de oscurecimientos en piel y pulpa, mayor susceptibilidad a enfermedades, etc. (Kader, 1989).



Lo anterior implica la importancia de conocer la influencia que los gases pueden tener en los procesos metabólicos fundamentales de los productos vegetales.

A continuación se describen los principales efectos fisiológicos reportados de las atmósferas conteniendo bajas concentraciones de oxígeno y enriquecidas con bióxido de carbono observadas en:

1. La actividad respiratoria
2. Producción y acción del etileno
3. Estado de desarrollo del producto vegetal

Actividad respiratoria.

La vida postcosecha de las frutas y hortalizas está directamente relacionada con la respiración. La respiración es el principal proceso fisiológico que regula la mayoría de las reacciones bioquímicas que se traducen en cambios de firmeza, color, sabor y aroma.

El efecto primario de utilización de AM's/AC's es la baja concentración de O₂, generando una reducción significativa de la tasa de respiración lo que explica los efectos benéficos de esta tecnología en la conservación de los productos vegetales frescos. Sin embargo, hay que considerar que cada producto tiene una tolerancia específica a los bajos niveles de oxígeno, de aquí se deriva el concepto de *nivel crítico de oxígeno*, el cual denota la concentración mínima a la que puede someterse un productos vegetal sin que la respiración aeróbica pase a anaeróbica, ya que si se induce esta última, se acumulan metabolitos fermentativos tóxicos para el tejido vegetal y surgen problemas indeseables como el pardeamiento y la necrosis de algunos tejidos (Kader, 1989; Wills, 1998).

La tolerancia a niveles limitados de O₂ a los que un producto puede llevar a cabo su actividad respiratoria aeróbica varían, así por ejemplo, productos como las nueces, pueden almacenarse en atmósferas completamente desprovistas de O₂, los cítricos no toleran concentraciones menores al 5% de O₂ (Kader, 1989; Wills,



1998). En general, para que haya un efecto significativo en la conservación por AC/AM, es recomendable una concentración menor al 8% en O₂ y como se puede apreciar en el cuadro 1, muchos productos vegetales toleran concentraciones que oscilan entre el 0 y 5% de O₂.

En cuanto al bióxido de carbono se ha reportado que es característico que en presencia de niveles del 5% de CO₂ se reduce significativamente la tasa de respiración en la mayoría de las frutas, con la excepción de los cítricos. Parece que el CO₂ afecta la descarboxilación de los ácidos orgánicos retardando estos procesos y por consiguiente, reduciendo la tasa de respiración.

En los cuadros 1 y 2 se presenta la tolerancia a la concentración al O₂ y CO₂ que exhiben algunos productos.

Cuadro 1. Mínima concentración de O₂ (%) para hortalizas y frutas

Mínima concentración de O ₂ tolerada (%)	Producto
0	Nueces
1	Ajo, cebolla, brócoli, champiñón y la mayoría de los productos procesados en fresco.
2	Calabaza, maíz dulce, melón cataloup, coliflor, col de Bruselas, lechuga, repollo, judía verde, apio fresa.
3	Alcachofa, pepino, pimiento tomate.
5	Espárrago, guisante, patata, boniato, cítricos.

(Kader, 1989).



Cuadro 2. Mínima concentración de CO₂ (%) para hortalizas y frutas

Mínima concentración de CO ₂ (%) tolerada	Producto
2	Lechuga, pera
3	Alcachofa, tomates
5	Manzanas, coliflor, pepino, uvas, naranjas, duraznos, caqui, piña, papa, chile
7	Platano, judía, kiwi
8	Papaya
10	Esparrago, col de bruselas, calabaza, limón, mango,
15	Aguacate, brocoli, lichi, ciruela, granada,
20	Melón, hongos
25	Mora, frambuesa, fresa
30	Chirimoya

(Kader, 1989).

Producción y acción del etileno

El etileno es una de las moléculas orgánicas más sencillas (CH₂=CH₂) con actividad a muy bajas concentraciones y potente regulador del crecimiento y desarrollo vegetal. El descubrimiento de la ruta biosintética del etileno ofreció implicaciones prácticas, ya que la enzima ACC sintetasa, que regula la velocidad a la que opera la ruta, puede ser inhibida con inhibidores típicos de enzimas que requieren fosfato de piridoxal como cofactor, pero además, las bajas concentraciones de O₂ inhiben a la ACC oxidasa en el paso final, con lo que se reduce también la producción de etileno (Yang, 1987; Fluhr, 1996).

Se ha reportado que la similitud estructural del CO₂ con la del C₂H₄ le permite al primero competir con los sitios de acción, por lo que al utilizar ACs/AMs con bajas concentraciones de O₂ y altas de CO₂, la producción y actividad del etileno se verá disminuida, con la consecuente reducción en la tasa de la maduración y senescencia de los productos vegetales (Kader, 1989).



Estado de desarrollo o madurez.

La madurez de los frutos y hortalizas es clave al momento de cosecharlos, debido a que representa uno de los factores decisivos para mantener su calidad y prolongar su período de conservación.

Kader y col. (1989) reportan que para algunos productos hortofrutícolas, la susceptibilidad al estrés por bajas concentraciones de O₂ y/o altas de CO₂, depende del estado de madurez o desarrollo. Así por ejemplo, las frutas maduras toleran mayores niveles de CO₂ que las que se encuentran en madurez fisiológica. En casos como el tomate, debe presentar un grado de maduración (grado de coloración 3) para almacenarlo en ACs/AMs con el fin de conferirle una vida de postcosecha relativamente larga; proporcionando frutos de mejor sabor y alcanzar sin inconvenientes la coloración final (Kader, 1977; .Gómez, 2002). Los productos mínimamente procesados al ofrecer menores barreras a la difusión de los gases, pueden tolerar mayores concentraciones de CO₂ y bajas de O₂.

En el caso de otros órganos vegetales como la papa (tubérculo), las ACs/AMs ofrecen pocos beneficios para prolongar su almacenamiento, debido a la compactación de los tejidos que ofrecen una alta barrera para la difusión del oxígeno hasta el centro. Para órganos vegetales hojosos, como las lechugas, el almacenamiento en ACs/AMs en estados juveniles de desarrollo tiene un efecto sobre la conservación de clorofila y reducción de la tasa de transpiración, así como la conservación de ácidos orgánicos (León, 2004; Gurbus, 1997).

Efectos de las AMs/ACs en la calidad

Las condiciones del EAM no afectan significativamente los niveles de azúcares y ácidos orgánicos finales alcanzados después del almacenamiento de frutas y hortalizas frescas. En cambio, el perfil de compuestos volátiles puede verse modificado substancialmente. La presencia etanol y acetaldehído a bajas concentraciones podría mejorar el aroma de la fruta fresca aunque concentraciones altas podrían inducir olores desagradables (Brecht, 2006).



Efectos de las AMs/ACs en la calidad

En general, esta tecnología permite extender la vida útil de los productos vegetales por más tiempo que con la refrigeración sola. Los principales efectos en la calidad incluyen:

- Una mayor retención de la clorofila en los productos vegetales verdes.
- Menor pérdida de firmeza y peso
- Retraso de la maduración y/o senescencia
- Menor incidencia de enfermedades y fisiopatías
- Mejor calidad sensorial

Entre los efectos no deseables se ha reportado:

- Menor concentración de compuestos aromáticos.
- Elevación en el contenido de ácidos orgánicos
- Desarrollo de sabores o aromas no deseables

(Brecht, 2006; Kader, 2003).

Conservación de Nopal Verdura (*Opuntia ficus indica*)

Las condiciones agroclimáticas han generado que las plantas hayan desarrollado evolutivamente diferentes mecanismos para realizar la fotosíntesis para lograr un uso eficiente del agua y fijación de CO₂. Las plantas C3 y C4 que representan a la mayoría de las especies vegetales, se caracterizan por realizar una fotosíntesis en el día y las plantas denominadas CAM (Crasulacean Acid Metabolism, por sus siglas en inglés), realizan una fotosíntesis dividida en dos fases, una en el día y otra en la noche. En el cuadro 3 se mencionan las principales características distintivas de las plantas C3, C4 y CAM.

El nopal es una planta CAM, que está adaptada para cultivarse en climas áridos y semi-áridos. Lo anterior es importante de considerar debido a que los cladodios durante la noche, abren los estomas para intercambiar moléculas de agua y CO₂,



provocando que la concentración total de ácidos se incremente, a la vez que disminuye la concentración de almidones y glucosa, y durante el día ocurre lo inverso, asimismo, la acidez alcanza altas concentraciones en las primeras horas de la mañana y la acidez es menor en los días soleados y cálidos durante la tarde. (Murillo-Amador, 2004)

Es importante tomar en cuenta las características fisiológicas de los cladodios ya que el metabolismo para la fijación de CO₂ puede verse afectado con las AM's que se apliquen en el envasado.

Cuadro 3. Tipos de fotosíntesis

	C3	C4	CAM
Hábitat	Climas templados y lluviosos (Avena)	Alta luminosidad y temperaturas altas (Maíz)	Ambientes áridos (Nopal)
Enzima clave para fijación de CO₂	Ribulosa-1,5-bifosfato (RUBP)	Fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC)	PEPC y RUBP
Ruta metabólica para fijación de CO₂	Ciclo de Calvin	Vía Hatch-Slack	C3 y C4
Estomas	Los estomas están abiertos en el día	Los estomas están abiertos en el día	Los estomas permanecen abiertos durante la noche y cerrados durante la mayor parte del día
Primer compuesto en donde se fija el CO₂	Fosfoglicerato (C3)	Oxalacetato (C4)	Oxalacetato (C4)
Agua transpirada por cada 1gr. de CO₂ fijado	400-500 ml	250-300 ml	50-100 ml

(Keeley, 2008; Cushman, 2001).

La vida de anaquel de los nopales se ve afectada por diferentes factores, entre los que se encuentran la forma de cosecha, el tipo de envase, la temperatura y humedad relativa de almacenamiento. La vida postcosecha de los cladodios es de



una semana a 20°C y una humedad relativa (HR) de 65-70%. Algunas especies como la *Nopalea cochemillefera* pueden mantener su calidad durante 12 días a 20°C con una HR de 85%. Los cladodios con daño físico en la base, causado por una cosecha inadecuada, deben comercializarse en un tiempo corto y no deben almacenarse o enviarse a mercados distantes ya que puede existir hasta un 53% de pérdidas por pudriciones de *Penicillium spp.*, *Asperillus spp.* y *Alternaria spp.* almacenados por un periodo de 10 días a 15.6-21.1°C con HR de 50-60%. (Cantwell y col. 1992; Nerd, 1997). La temperatura de almacenamiento también afecta el contenido de vitamina C de los nopalitos. Para las bajas temperaturas (5°C y 10°C) se ha reportado que retrasan la disminución en el contenido de ácido ascórbico (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997).

Los cladodios de *Opuntia sp.* envasados en bolsas de polietileno no selladas mantienen una calidad visual aceptable por dos semana a 10°C y una HR de 90-95% y los de *Nopalea cochinellifera* envasados individualmente en películas de policloruro de vinilo (PVC) se conservan en buenas condiciones por dos semanas a 12°C. Sin embargo, temperaturas inferiores a 12°C ocasionan daño por frío (DPF), los cuales se manifiestan como oscurecimiento o manchado de la superficie y ablandamiento del producto. De acuerdo Nerd y cols. (1997) y Rodríguez-Félix y col.(1997), la incidencia del daño por frío se presenta después de tres semanas a 10°C con una HR de 90% y en dos semanas a 5°C con un HR de 85-90.

Otros investigadores reportan que los cladodios de *Opuntia sp.*, envasados en bolsas de polietileno exhibieron síntomas de DPF después de tres semanas a 5°C y HR de 90-95%, mientras que los envasados en cajas de madera sin cubierta alguna, exhibieron daño después de 2 semanas a 5°C con una HR de 85-90% (Cantwell y col., 1992). Los nopalitos de *Nopalea cochenillifera* son más susceptibles al DPF que los de *Opuntia spp.*, ya que los síntomas se presentan en esta especie (sin cubierta) a los 7 días a 4°C, mientras que su envasado en bolsas de polietileno retrasa la aparición de los síntomas hasta los 11 días de almacenamiento. Adicionalmente Guevara y col. (2001), mostraron que el



almacenamiento de cladodios de *Opuntia ficus-indica* variedad Milpa Alta, en atmósferas modificadas pasivas con O₂ 8.6 % y CO₂ 6.9%, prolongó la vida de almacenamiento y mantuvo la calidad por 30 días a 5°C, disminuyendo la pérdida de peso, firmeza y los cambios en color. Posteriormente Guevara y col. (2003), concluyeron que la vida de almacenamiento del nopal verdura puede extenderse hasta por 32 días a 5°C mediante el empleo de atmósferas modificadas pasivas o semipasivas con una concentración inicial de CO₂ del 20 %, estableciendo este valor como el límite de tolerancia del producto al gas.

La acidez de los nopalitas de *Opuntia spp* y de *Nopalea cochenillifera*, cambia durante el almacenamiento y estos cambios están influenciados por la temperatura y el envasado. Durante el almacenamiento a baja temperatura, el contenido de acidez se mantiene o se incrementa. En cambio, durante el almacenamiento a temperaturas superiores (20°C), la acidez disminuye (Cantwell y col. 1992). Los resultados de estos autores, coinciden con estudios fisiológicos realizados en otras plantas CAM, que muestran que los ácidos orgánicos son los principales substratos de la respiración de estos tejidos al ser mantenidos a altas temperaturas (Szarek y Ting, 1974) y que las bajas temperaturas favorecen la descarboxilación de malato.

Los cladodios en presentación troceado se han logrado conservar por 15 días empleando atmósferas modificadas de 4.98% O₂ más 4.98% CO₂, en este estudio se concluyó que la atmósfera modificada influye en un cambio de color verde brillante a un verde olivo. La acidez del nopal tiende a disminuir a una temperatura de 3°C mientras a 6°C se mantiene. En cuanto a la firmeza del cladodio se encontró una disminución de ésta, debido a la pérdida de humedad. Para la cantidad de ácido málico, tiende a variar según el tipo de atmósfera. (Corrales, 2003).

En el presente grupo de trabajo se han realizados estudios previos en los que la calidad del cladodio entero desespinado de la var. Milpa Alta y envasado en bolsas semipermeables con atmósfera de N₂ y almacenado a 7°C, se ha



conservado por 20 días lográndose mantener una calidad fresca aunque con lesiones traza en la superficie (Robles-Rodriguez, 2008).

Debido a las variaciones propias de la variedad del producto vegetal tratado y al interés por incrementar el consumo en el mercado doméstico y el internacional, garantizando la conservación de la calidad y propiedades nutricionales y funcionales del nopal, en la presente investigación se pretende determinar las mejores condiciones de aplicación de AMs para este propósito en Nopal de la var. Milpa Alta.

III.- OBJETIVO GENERAL.

Determinar el efecto de atmósferas modificadas en N₂, O₂ y CO₂ en la calidad de nopal desespinado var. Milpa Alta durante su almacenamiento a 4 ± 1 °C.

IV.- OBJETIVO ESPECIFICOS.

- Evaluar el efecto de 3 concentraciones de O₂ inicial (2, 5 y 8%) y N₂ en la conservación de la calidad de nopal desespinado envasado en bolsas semi-permeables y almacenados a 4°C ± 1°C durante 25 días, comparadas contra una control (vacío).
- Evaluar el efecto de 2 concentraciones de CO₂ inicial (5 y 10%) y N₂ en la conservación de la calidad de nopal desespinado envasado en bolsas semi-permeables y almacenados a 4°C ± 1°C durante 25 días, comparadas contra una control (vacío).
- Evaluar el efecto de diferentes mezclas de O₂ y CO₂, y N₂ de acuerdo con las respuestas obtenidas en los objetivos específicos anteriores.



V.- HIPÓTESIS.

El envasado en atmósferas modificadas conservará la calidad del nopal var. Milpa Alta desespinado fresco, por más de 20 días.

VI.- METODOLOGÍA

Material biológico

Se utilizaron cladodios de 15-18 cm de largo de la var. Milpa Alta, cortados por la mañana. Los cladodios se seleccionaron y aleatorizaron, desechando aquellos con daños evidentes o longitud deseada fuera del rango. Posteriormente se lavaron con agua clorada (200 ppm), se escurrieron y se realizó el desespinado y rebordeado manualmente.





Materiales

Para la realización de vacío e inyección de la atmósfera modificada se utilizó una máquina envasadora al vacío/injectora de gas TURBOVAC 420ST.



El envasado de los cladodios se realizó en bolsas plásticas POLYSWEAT. BOLCO.



Las bolsas presentaron las siguientes características: una longitud de 34 cm y un ancho de 26.5cm, espesor promedio de 35 μm . Bolsas monocapa, elaboradas por poliolefinas y otros aditivos para permitir la permeabilidad al oxígeno, acetileno y bióxido de carbono. Con permeabilidad al oxígeno de 260 cc/100 m² 24hrs/atm a 23°C y 0%HR. Para el vapor de agua una permeabilidad de 6.58 g/100m²/24hrs a 37.8°C y 90%HR.



Cilindros de gases:

Para la aplicación de atmósferas modificadas, se adquirieron cilindros de gases individuales y mezclas elaborados por las empresas PRAXAIR e INFRA.

Los gases empleados individualmente se elaboraron a concentraciones iniciales de:

2% O₂; 5% O₂; 8% O₂. (PRAXAIR)

5% CO₂ y 10% CO₂. (PRAXAIR)

Las mezclas de gases empleados se elaboraron a concentraciones iniciales de:

2% O₂ + 10% CO₂ (PRAXAIR)

5% O₂ + 10% CO₂ (PRAXAIR)

5 % O₂ + 5 % CO₂ (INFRA)

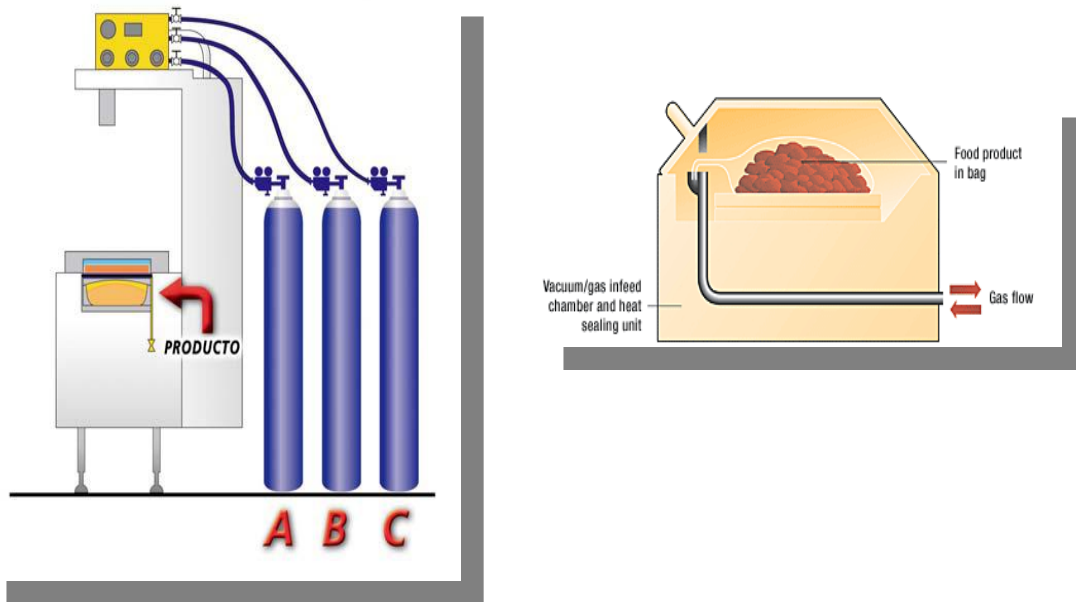
Nitrógeno (PRAXAIR)





Aplicación de las Atmósferas

La aplicación de las atmósferas se realizó mediante un vacío inicial y posteriormente la inyección del gas deseado y sellado utilizando la máquina envasadora.



Tratamientos y Condiciones de Almacenamiento.

Diseño experimental:

Evaluación de diferentes concentraciones de O₂

Factor: gases

Niveles: 5

Vacío (nopal envasado en la bolsa semipermeable y sellada al vacío)

N₂

2 %O₂

5% O₂

8% O₂

Diseño de tratamientos: 5 tratamientos, con tres repeticiones cada uno.

Unidad experimental: Bolsa con 3 cladodios desespinaados



Evaluación de diferentes concentraciones de CO₂

Factor: gases

Niveles: 4

Vacío (nopal envasado en la bolsa semipermeable y sellada al vacío)

N₂

5% CO₂

10% CO₂

Diseño de tratamientos: 5 tratamientos, con tres repeticiones cada uno.

Unidad experimental: Bolsa con 3 cladodios desespinaados

Evaluación de diferentes mezclas de O₂ y CO₂

Factor de estudio: mezclas de atmósferas modificadas

Niveles: 6

Vacío (nopal envasado en la bolsa semipermeable y sellada al vacío)

Aire (nopal envasado en la bolsa semipermeable y sellada)

N₂

2% O₂ + 10% CO₂

5% O₂ + 10% CO₂

5 % O₂ + 5 % CO₂

Diseño de tratamientos: 6 con 3 repeticiones cada uno.

La unidad experimental: Bolsa con 3 cladodios.

El diseño experimental fue de un factorial de 5x5, completamente al azar, para el experimento con O₂ individual, y de 4x5 para los experimentos con CO₂ y 6x5 para las mezclas.



Condiciones de Almacenamiento

Los cladodios se almacenaron a $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y se realizaron muestreos de cada tratamiento a los 0, 5, 10, 15, 20 y 25 días de almacenamiento.

Variables de respuesta:

Índice de daño.

Pérdida de peso.

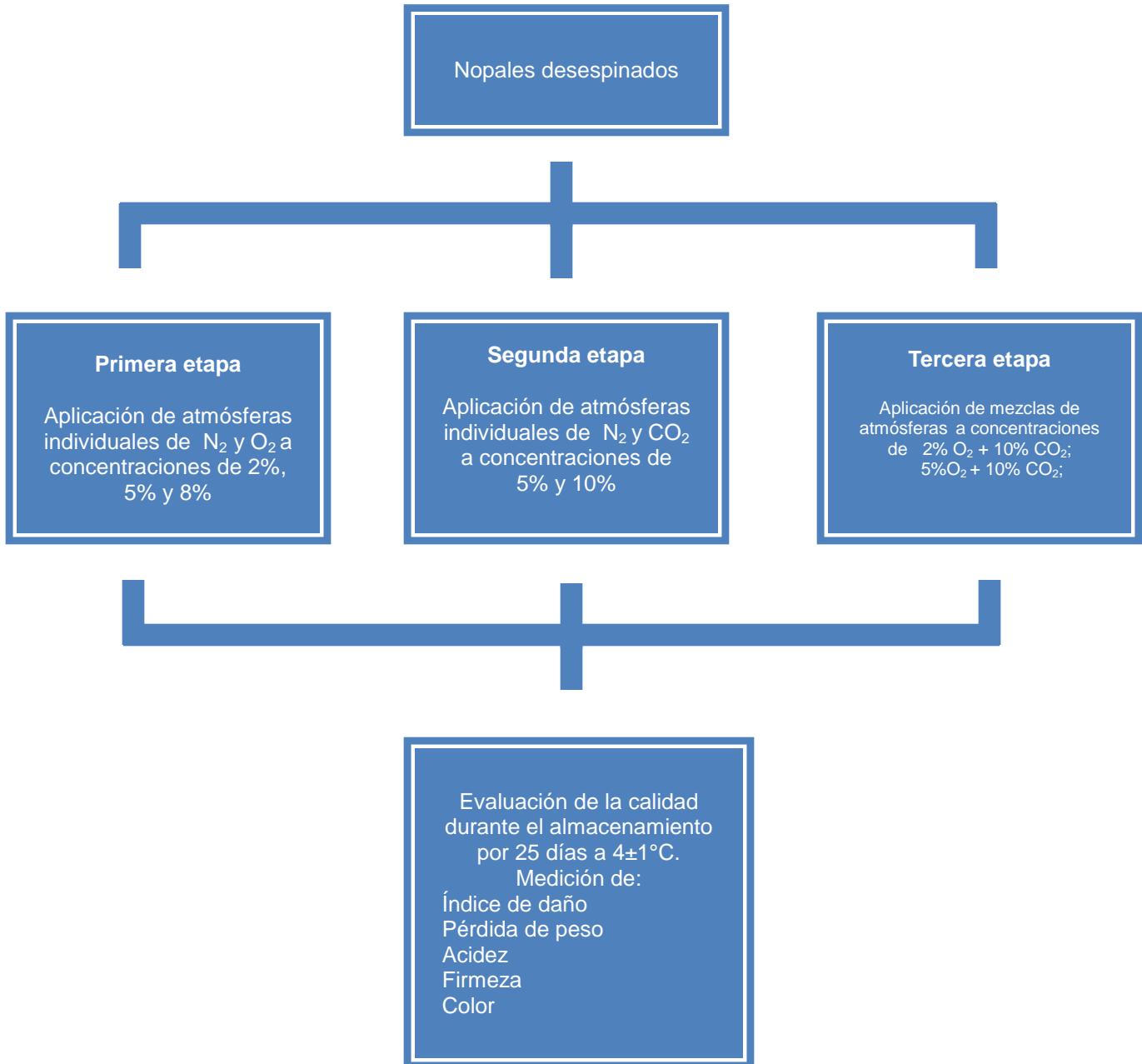
Acidez titulable.

Firmeza.

Color.



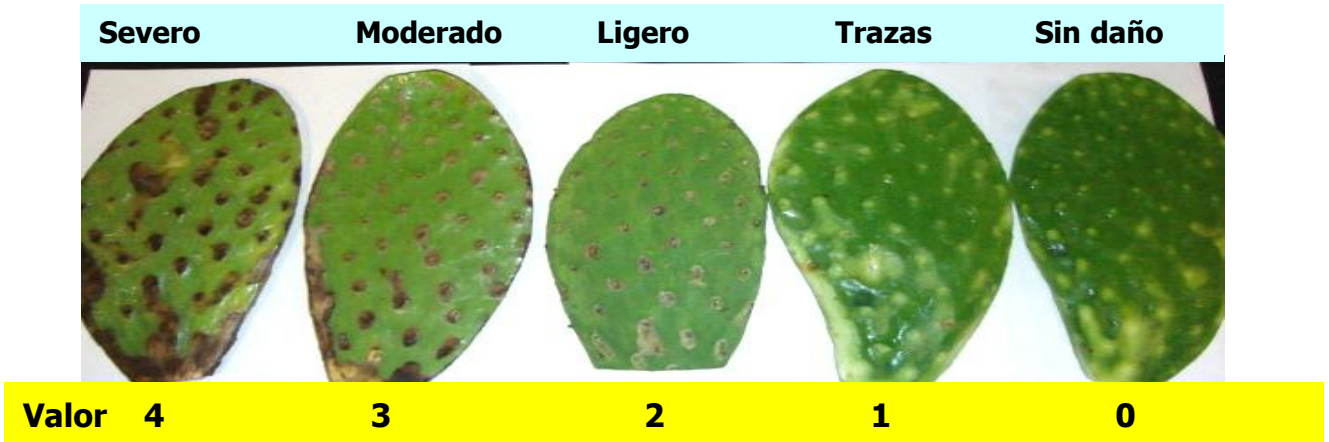
ACTIVIDADES REALIZADAS.





Índice de daño.

Se determinó sobre la superficie del nopal en cinco grados con base a una escala hedónica para el daño visual del nopal establecida con las siguientes categorías:



El índice de severidad se calculó mediante la ecuación descrita por Pérez y col., (1995).

$$\text{Índice de daño} = \frac{[xi(0) + xi(1) + xi(2) + xi(3) + xi(4)]}{N}$$

Donde:

xi= Número de nopales en cada grado de daño.

0,1, 2, 3 y 4 = grado de daño en la escala utilizada.

N= número total de nopales por unidad experimental.



Pérdida de peso (PP). Para esta variable se emplearon muestras específicas por triplicado de cada tratamiento.

Se registraron los cambios en peso con respecto al peso inicial durante el almacenamiento, utilizando una balanza granataria OHAUS con precisión de 0.1g.



Se calculó el porcentaje acumulativo de la pérdida de peso con la siguiente ecuación.

$$PPF = \frac{(P_1 - P_2)100}{P_1}$$

Donde:

P₁= Peso inicial

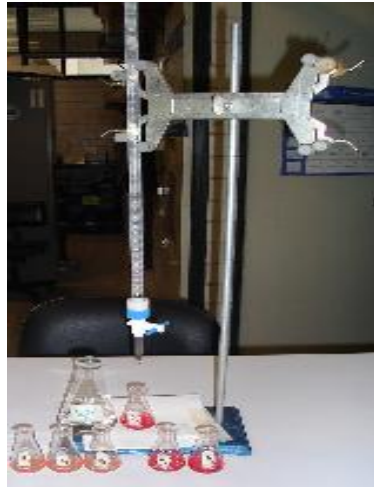
P₂= Peso final

Firmeza. Se determinó con un penetrómetro DIGITAL para productos vegetales. Escala 0-20 kilo (0-44libras/196.10 Newtons).





Acidez titulable. Se determinó en términos de la cantidad de ácido málico ($\text{mg } 100 \text{ mL}^{-1}$) presente en el jugo de cada muestra, siguiendo el método volumétrico reportado (AOAC, 1995).

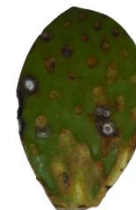


Color. Se determinó utilizando un colorímetro Hunter-Lab. Determinando la variables L^* (Luminosidad), a^* (rojo-verde), b^* (Amarillo-azul), para evaluar los cambios de coloración mediante la obtención de ΔE^* . Se tomó como L_1 , a_1 y b_1 cladodios frescos y se realizó el comparativo de L_2 , a_2 y b_2 con los cladodios muestreados durante el almacenamiento.

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$



Inicial
 $L^* = 45.28$
 $a^* = 13.19$
 $b^* = 30.58$



Día 25
almacenamiento
 $L^* = 37.73$
 $a^* = 7.7$
 $b^* = 28.28$
 $\Delta E = 9.6$



Análisis estadístico.

ANOVA utilizando el programa NCSS y para la comparación de medias, la prueba Tukey-Kramer.



VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las atmósferas con O₂ en el índice de daño

La aplicación de atmósferas con O₂ controlaron significativamente el índice de daño de los nopales en un 87.5%, determinándose un valor de índice de daño de 4 en los cladodios control (en aire y al vacío) contra 0.5 en los tratados con oxígeno como se aprecia en la gráfica 1a, lográndose 25 días de almacenamiento con estas características. Asimismo se puede observar que los nopales envasados al vacío únicamente, presentaron daño a partir de los 15 días de almacenados. No hubo diferencia significativa ($P > 0.05$) debido a las concentraciones de O₂ ensayadas. Sin embargo cualitativamente con la concentración de 2% de O₂ los cladodios exhibieron lesiones de daño en grado 1 localizadas predominantemente en la zona de la base, mientras que a las concentraciones de 5% y 8% las lesiones (también de un nivel de grado 1) se presentaron distribuidas en todo el cladodio.

Durante el desarrollo de esta etapa del estudio se encontró un efecto de la temporada de corte en la respuesta de los cladodios a las concentraciones de oxígeno, siendo el índice de daño menor en muestras de nopal cosechado en el invierno (diciembre-febrero).

Efecto de las atmósferas con CO₂ en el índice de daño

En los cladodios envasados en atmósferas con CO₂, no se presentó el índice de daño sino hasta los 25 días de almacenamiento; como puede observarse en la gráfica 1b, no se presentaron diferencias significativas debida a las concentraciones de CO₂ ensayadas siendo el índice de daño de 0.5-0.7.

Efecto de mezclas con O₂ y CO₂ en el índice de daño

De las mezclas de oxígeno-bióxido de carbono probadas como se aprecia en la gráfica 1c, la que contenía 2% O₂ + 10% CO₂ resultó mejor para la reducción del

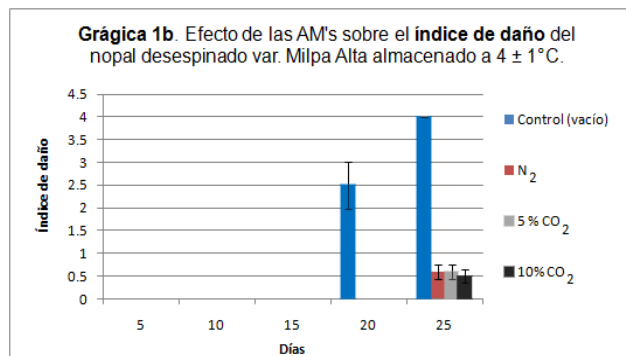
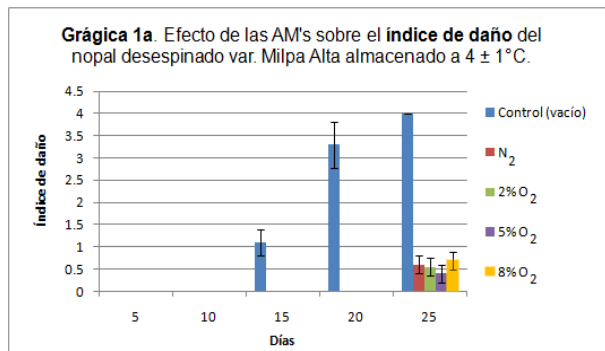


índice de daño en los nopales. Con la mezcla de 5% O₂ + 10% CO₂ se empezaron a observar lesiones en grado 2 a partir de los 15 días de almacenamiento e

incluso se presentó crecimiento de microorganismos. Las mezclas presentaron diferencia significativa de P<0.05 para mezclas con concentraciones de 2% O₂ + 10% CO₂; y mezclas con 5% O₂ + 5% CO₂ y de 5% O₂ + 10% CO₂.

Efecto de las atmósferas con N₂ en el índice de daño

En general el envasado de nopales en atmósferas con N₂ conservó la calidad de los nopales ya que el índice de daño exhibido por los cladodios fue similar a las atmósferas individuales, como se puede apreciar en las graficas 1a y 1b. Por otro lado, cabe destacar que con este tratamiento ha habido consistencia en la respuesta pues antes de los 25 días no se observan daños en los cladodios.



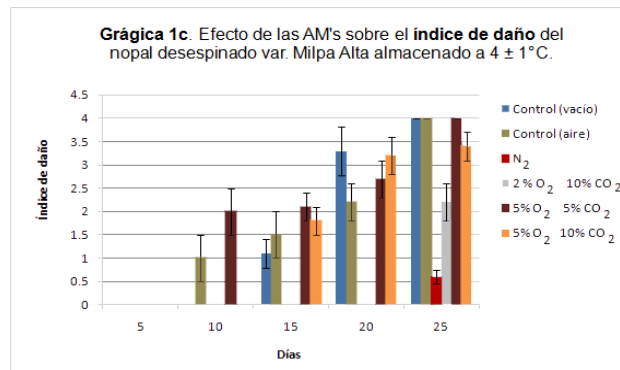


Tabla 1. Índice de daño en Nopal desespinado en EAMs

Tratamiento	Días almacenamiento				
	5	10	15	20	25
Aire	0	1a	1.5a	2.2 a	4c
Vacío	0	0	1.1a	3.3c	4c
2% O ₂	0	0	0	0	0.5a
5% O ₂	0	0	0	0	0.4a
8% O ₂	0	0	0	0	0.7a
5% CO ₂	0	0	0	0	0.6a
10% CO ₂	0	0	0	0	0.5a
2% O ₂ 10% CO ₂	0	0	0	0	2.2b
5% O ₂ 5% CO ₂	0	2b	2.1b	2.7b	4 c
5% O ₂ 10% CO ₂	0	0	1.8b	3.2c	3.4c
N ₂	0	0	0	0	0.6a

Medias con letra distinta en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05)

El índice de daño es la apreciación del oscurecimiento o manchado observado sobre la superficie de los cladodios; de acuerdo con lo reportado, este síntoma se atribuye a una actividad enzimática, provocada por la oxidación de compuestos fenólicos y se considera la causa más importante de la pérdida de calidad, ya que afecta su apariencia, en ocasiones malos olores y disminuye su valor nutrimental. También se ha sugerido que es un síntoma típico de daño por frío. La susceptibilidad al oscurecimiento se ha demostrado que depende de la variedad, lo cual se ha estudiado en diferentes variedades de cladodios. (Aguilar-Sánchez, 2007).

Las variaciones en las condiciones ambientales pueden llegar a imponer serias restricciones para el crecimiento y desarrollo de los vegetales y, por lo tanto, provocar sobre ellos situaciones de estrés. Muchos de los desórdenes fisiológicos



postcosecha que se observan en los productos almacenados, son causados o aumentan debido a cambios bruscos en factores culturales o ambientales. Estos desórdenes fisiológicos a veces son visibles en el momento de la cosecha, aunque es más frecuente que se expresen luego de un proceso de conservación en frío. Siendo uno de los principales problemas durante el almacenamiento refrigerado de frutas y hortalizas la aparición de una conocida genéricamente con el nombre de “daño por frío” (DPF). Existe un amplio rango de síntomas evidenciados en diferentes vegetales ante el DPF dependiendo éstos del cultivar, de la temperatura y tiempo de exposición al frío, del grado de madurez o desarrollo, de las características climáticas de la zona de cultivo y de las temperaturas anteriores a la cosecha (Kader, 2003).

Efecto de las atmósferas con O₂ en la pérdida de peso

En la gráfica 2a se presenta el comportamiento exhibido por los cladodios tratados con EAMs con diferentes concentraciones de O₂ sobre la pérdida de peso; como era de esperarse, se observó un efecto significativo ($P < 0.01$) respecto al control (vacío), en la reducción de la pérdida de peso en un 64.22% acumulado a los 25 días de almacenamiento. No se encontraron diferencias significativas entre concentraciones. De hecho el efecto en el control de este parámetro es más bien un efecto debido al confinamiento del producto en el envase que una contribución del tratamiento de la atmósfera en sí (Kader, 2003).

Efecto de las atmósferas con CO₂ en la pérdida de peso

En este caso, como se aprecia en la gráfica 2b, el efecto general es similar al anterior, sin embargo fue notorio que con los tratamientos de CO₂, los nopales tuvieron mayor pérdida de peso (aproximadamente un 30% más) en comparación a las atmósferas individuales con O₂ y N₂.

Efecto de las atmósferas con N₂ en la pérdida de peso

La atmósfera con N₂ y la atmósfera al 2% O₂ fueron los tratamientos en los que se presentó menor pérdida de peso (0.6 y 0.4%, respectivamente).

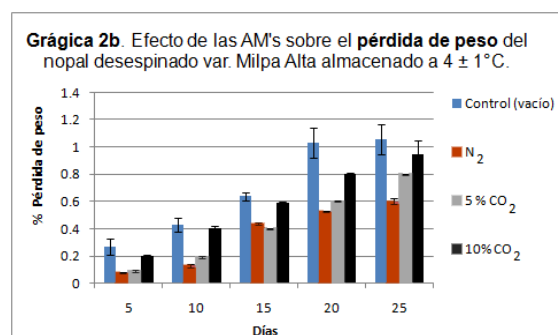
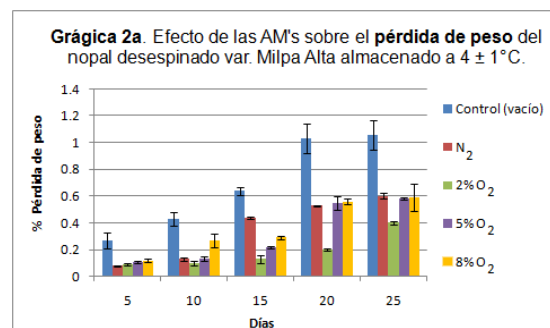


Efecto de mezclas con O₂ y CO₂ en la pérdida de peso

Los nopales envasados en las mezclas atmosféricas como se evalúa en la gráfica 2c, presentaron diferentes respuestas para la pérdida de peso, encontrándose que con la mezcla de 2% O₂ + 10% CO₂ la pérdida de peso fue similar a la exhibida con las atmósferas de O₂ y N₂, mientras que con mezcla de 5% O₂ + 10% CO₂ la pérdida de peso de los cladodios fue similar a los tratamientos control.

La pérdida de peso está relacionada con la actividad respiratoria y la transpiración, las cuales regulan el estado hídrico de los tejidos. La pérdida de agua a través de los estomas y lenticelas localizadas en la cutícula de los productos vegetales, determina la calidad y vida de anaquel de estos productos perecederos (Muy-Rangel, 2004).

Como se mencionó anteriormente, la reducida permeabilidad del nopal al O₂, CO₂ y vapor de agua es consecuencia del confinamiento del envase ya que se mantiene una alta HR que disminuye el déficit de presión de vapor entre el tejido del producto y la atmósfera inmediata que lo rodea; además al disminuir la concentración de oxígeno y aumentar la del bióxido de carbono, se reduce la tasa del metabolismo y consecuentemente aumenta su vida postcosecha.



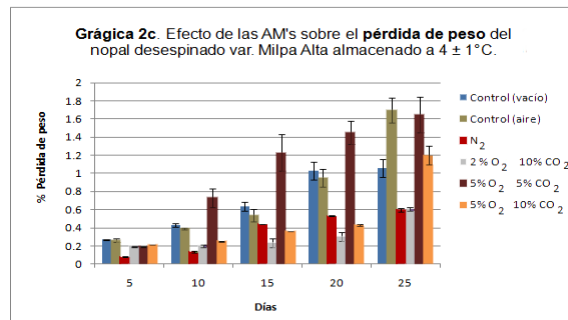


Tabla 2. % de Pérdida de peso en nopal desespinado en EAMs

Tratamiento	Días almacenamiento				
	5	10	15	20	25
Aire	0.26b	0.39a	0.54b	0.95c	1.7d
Vacío	0.27b	0.43a	0.64b	1.03c	1.06b
2% O₂	0.093a	0.1a	0.13a	0.2a	0.44a
5% O₂	0.11a	0.13a	0.22a	0.55b	0.58a
8% O₂	0.12a	0.27a	0.29a	0.56b	0.59a
5% CO₂	0.09a	0.19a	0.40a	0.6b	0.8b
10% CO₂	0.2b	0.4a	0.59b	0.8c	0.95b
2% O₂ 10% CO₂	0.19b	0.2a	0.23a	0.3a	0.61a
5% O₂ 5% CO₂	0.19b	0.73b	1.23b	1.43a	1.61c
5% O₂ 10% CO₂	0.2b	0.25a	0.36a	0.43b	1.2d
N₂	0.08a	0.13a	0.44a	0.53b	0.6a

Medias con distinta letra en la misma columna, son diferentes significativamente ($P < 0.05$)

Efecto de las atmósferas con O₂ en la acidez

Como se ilustra en la gráfica 3a los cladodios tuvieron una tendencia general a la disminución de la acidez de 1.53% a 0.42%. Sin embargo, las atmósferas con O₂ presentaron mayor cantidad de ácido málico (0.42%) en comparación al tratamiento control (vacío) (0.2%).

Efecto de las atmósferas con CO₂ en la acidez

Las figuras 3b muestran el efecto de las atmósferas con CO₂, en donde se presentó la misma tendencia de disminución de ácido málico, pero presentaron la mayor retención de ácido málico (0.6%) de las atmósferas empleadas.

Efecto de las atmósferas con N₂ en la acidez

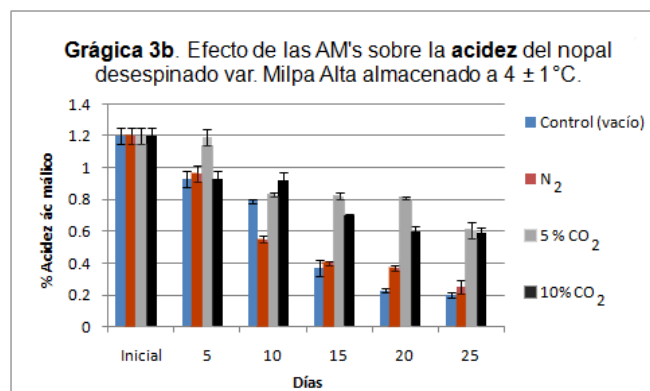
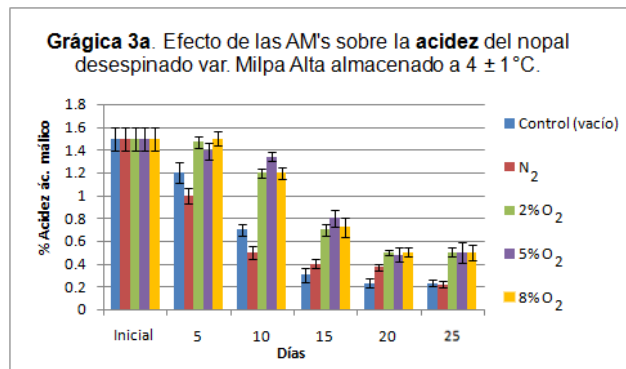
Los cladodios con atmósferas de N₂ presentaron cantidades de ácido málico similares a los tratamientos control y en menor cantidad (0.25%) a las atmósferas individuales con O₂ y CO₂.



Efecto de las mezclas de O₂ y CO₂ en la acidez

Los nopales en EAM's con las mezclas oxígeno-bióxido de carbono, como se aprecia en la gráfica 3c, presentaron diferentes respuestas para la retención de ácido málico, con la mezcla al 2% O₂ + 10% CO₂ los cladodios exhibieron similares cantidades de acidez (0.6%) comparadas con las determinadas en los nopales tratados con la atmósfera individual de 5% CO₂. La mezcla con 5% O₂ + 10% CO₂ mostró cantidades de ácido málico similares a las de atmósferas individuales con O₂ y N₂.

Razo-Martínez y Sánchez-Hernández (2002) mencionan que la acidez de los nopales es uno de los atributos sensoriales más importantes que influye en la aceptabilidad del producto por los consumidores, prefiriéndose un contenido de acidez bajo al momento de su consumo, considerando como de aceptación moderada los valores de acidez de 0.41% y altos de 0.76%.



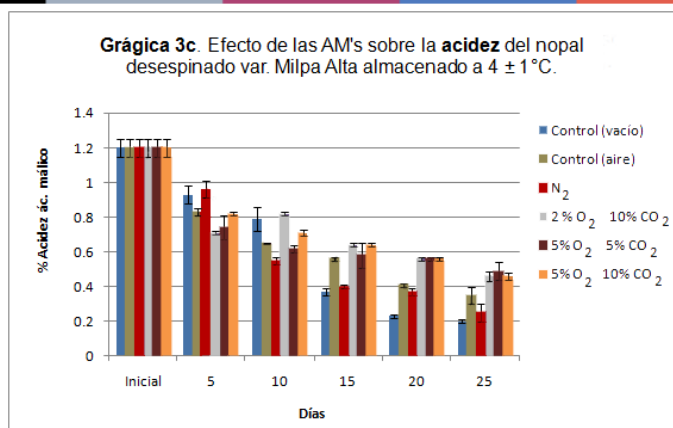


Tabla 3. Acidez (mg ác. Málico/100g) de nopal desespinado y EAMs

Tratamiento	Días almacenamiento					
	Inicial	5	10	15	20	25
Aire	1.2a	0.83b	0.65e	0.56c	0.41d	0.35e
Vacío	1.2a	0.9b	0.79c	0.37d	0.23f	0.20f
2% O ₂	1.53a	1.3a	1.2a	0.74a	0.45d	0.42d
5% O ₂	1.53a	1.4a	1.3a	0.80a	0.43d	0.44c
8% O ₂	1.53a	1.3a	1.19a	0.79a	0.42d	0.41d
5% CO ₂	1.2a	1.1a	0.83b	0.82a	0.81a	0.61a
10% CO ₂	1.2a	0.9b	0.92b	0.78a	0.63b	0.59 a
2% O ₂ 10% CO ₂	1.2a	0.70c	0.64e	0.64b	0.61b	0.61a
5% O ₂ 5% CO ₂	1.2a	0.74c	0.62e	0.58c	0.56c	0.49b
5% O ₂ 10% CO ₂	1.2a	0.82b	0.71d	0.64b	0.56c	0.46c
N ₂	1.2a	0.96b	0.55f	0.4d	0.37e	0.25d

Medias con distinta letra en la misma columna, son diferentes significativamente (P<0.05)

Efecto de las atmósferas con O₂ en la firmeza

Los nopales tratados con las atmósferas a diferentes concentraciones de O₂, como se muestra en la gráfica 4a, conservaron su firmeza en un 18% más en comparación a los tratamientos control. No se observó diferencia significativa entre las concentraciones individuales de O₂.

Efecto de las atmósferas con CO₂ en la firmeza

Con las atmósferas enriquecidas en CO₂ (gráfica 4b), los nopales presentaron la mayor retención de firmeza en 90%, en comparación a las atmósferas individuales con O₂, donde retuvieron en promedio el 50% de su firmeza. No se presentó diferencia significativa entre concentraciones de CO₂.



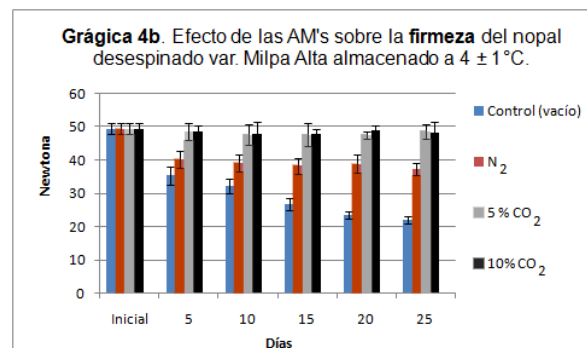
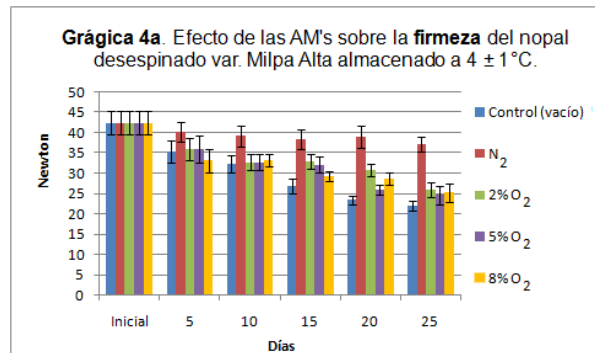
Efecto de las atmósferas con N₂ en la firmeza

Las atmósferas con N₂ mostraron mantener la firmeza con similares características a las atmósferas con CO₂. Sin embargo los cladodios presentaban ligero drenado de mucilago.

Efecto de mezclas con O₂ y CO₂ en la firmeza

Las mezclas tuvieron la menor retención de firmeza de las atmósferas evaluadas y los tratamientos control. Algunos cladodios presentaban drenado de mucilago a los 25 días de almacenamiento.

Los productos mínimamente procesados pierden la firmeza en un corto tiempo durante el almacenamiento a bajas temperaturas. Este comportamiento se atribuye a los cambios acelerados inducidos por el daño mecánico causado a las células del tejido durante el cortado y pelado, entre los que se encuentran: la liberación de enzimas pectinolíticas y proteolíticas desde las células dañadas al interior de los tejidos, la transformación de protopectina a pectina soluble en agua, adelgazamiento de las paredes celulares, y al movimiento de los iones de la pared celular (Quevedo-Preciado y col., 2005).



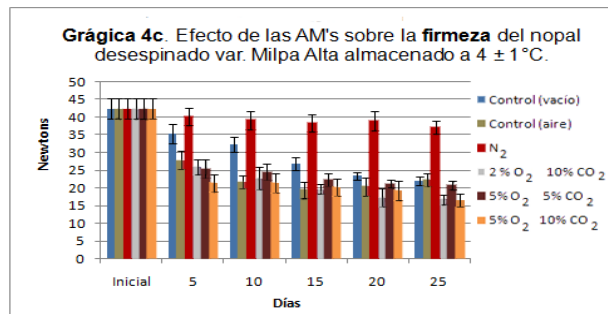


Tabla 4. Firmeza (Newtons) de nopales desespinaados y en EAMs

Medias con distinta letra en la misma columna, son diferentes significativamente ($P < 0.05$)

Tratamiento	Días de almacenamiento					
	Inicial	5	10	15	20	25
Aire	42.33	27.86b	21.72d	19.42d	20.35d	22.18d
Vacío	42.33	35.4a	32.27c	26.82c	23.45d	21.98d
2% O ₂	42.33	35.89a	32.63c	32.86c	30.65c	25.98c
5% O ₂	42.33	36.01a	32.63c	31.97c	25.96c	24.65c
8% O ₂	42.33	33.12a	33.15c	29.26c	28.72c	25.21c
5% CO ₂	49.33	48.50a	47.59a	47.60a	47.34a	48.44a
10% CO ₂	49.33	48.36a	47.94a	47.95a	48.98a	48.14a
2% O ₂ 10% CO ₂	42.33	25.91b	22.68d	19.61d	17.3d	16.7d
5% O ₂ 5% CO ₂	42.33	25.46b	24.52d	22.32d	21.16d	20.83d
5% O ₂ 10% CO ₂	42.33	21.33b	21.36d	20.17d	19.15d	16.62d
N ₂	42.33	40.07a	39.19b	38.24b	38.89b	37.16b

Efecto de las atmósferas con O₂ en el color

El cambio del color característico del nopal medido como una diferencia entre el color inicial (nopal fresco) y el determinado al momento de la evaluación durante el almacenamiento (ΔE), resultó ser un parámetro de calidad en donde el efecto de las atmósferas se tuvo en la respuesta de cambio de color del tejido. Así, la utilización de atmósferas con O₂ tuvo efecto sólo en zonas específicas donde se realizaba el desespinado, puesto que en estas zonas se observó un cambio de un color verde a un color café; con la concentración de 5% de O₂ se detectó un mayor cambio de color (ΔE 8.05) en los cladodios a los 25 días de almacenamiento, lo cual se debió al obscurecimiento alrededor y sobre las lesiones del desespinado que se tornaron a un color café. Véase tabla 7.



Efecto de las atmósferas con CO₂ en el color

En las atmósferas con CO₂ los cambios de color determinados en los cladodios presentaron repuestas diferentes entre concentraciones, en la concentración con 10% CO₂ tuvo un ΔE 3.1 debido principalmente como se muestra en la tabla 8, a que no presentó lesiones sobre la superficie del tejido y la concentración de 5% CO₂ presentó un ΔE 5.61 debido a que presentó tonalidades amarillas generalizadas sobre el tejido.

Efecto de las atmósferas con N₂ en el color

Con las atmósferas de N₂ como se muestra en la tabla 8, los nopales presentaron un ΔE 8, debido principalmente a que presentó lesiones trazas sobre la superficie del tejido y cambió a un verde más claro, en comparación al inicial.

Efecto de mezclas con O₂ y CO₂ en el color

Las mezclas no mostraron efectos benéficos para conservar el color de los nopales durante el almacenamiento.

Las mezclas con 2% O₂ + 10% CO₂, 5% O₂ + 5 % CO₂, 5% O₂ + 10% CO₂, presentó un ΔE 9.35, ΔE 7.2 y ΔE 12.9 respectivamente debido principalmente como se muestra en la tabla 9 presentaron zonas de obscurecimiento sobre la superficie del tejido.

Tabla 5. Color (ΔE) de nopales desespinaos y en EAMs

Tratamiento	ΔE
Aire	5.2
Vacio	4.7
2% O ₂	7.2
5% O ₂	8.05
8% O ₂	6.71
5% CO ₂	5.61
10% CO ₂	3.1
2% O ₂ 10% CO ₂	9.35
5% O ₂ 5% CO ₂	7.2
5% O ₂ 10% CO ₂	12.95
N ₂	8.1

La degradación de clorofila es el cambio más común que ocurre durante el procesamiento o senescencia de los vegetales verdes. La degradación de este pigmento involucra inicialmente la remoción de la cadena de fitol de la clorofila por la enzima clorofilasa, resultando en la formación de clorofilina (verde brillante), la



cual se transforma en feofitina (verde olivo) o al feofórbido (café) al oxidarse completamente. La pérdida de clorofila causa un cambio en el color de verde brillante a verde olivo en los alimentos procesados y a una amplia variedad de colores (amarillo, café, naranja) en tejidos senescentes (Heaton y Marangoni, 1996).

Guevara y col., (2003) observaron menores cambios en el contenido de clorofila y en la actividad de clorofilasa en cladodios de nopal almacenados por 35 días a 5°C bajo condiciones de atmósferas modificadas con 20% de CO₂. Estos autores indicaron que existe una clara relación entre la degradación de clorofila y la actividad de clorofilasa en los cladodios, ya que las condiciones que mostraron la mayor degradación de clorofila tuvieron la mayor actividad de clorofilasa. Sin embargo, el producto de esta reacción es clorofilida, la cual aún posee un color verde y para que el color verde desaparezca es necesario que la clorofilida sea degradada a compuestos incoloros de bajo peso molecular (Heaton y Marangoni, 1996). Martins y Silva (2002) indicaron que los porcentajes de degradación de clorofila en vegetales verdes deben ser del 45% para presentar un efecto en el cambio de color del tejido.



Tabla 6. Características físicas y químicas de cladodios control




Tratamiento	Índice de daño	Pérdida de peso	Acidez (% ác. málico)	Firmeza (Newtons)	Color ΔE
Nopal fresco 	0	0	1.2	49.33	0
Aire 	4	1.7	0.35	22.18	5.7
Vacío 	4	1.06	0.2	21.98	4.7



Tabla 7. Características físicas y químicas de cladodios con atmósferas de O₂.





Tratamiento	Índice de daño	Pérdida de peso	Acidez (% ác. málico)	Firmeza (Newtons)	Color ΔE
Nopal fresco 	0	0	1.2	49.33	0
O ₂ 2% 	0.55	0.44	0.42	25.98	7.2
O ₂ 5% 	0.4	0.58	0.44	24.65	8.05
O ₂ 8% 	0.7	0.59	0.41	25.21	6.71



Tabla 8. Características físicas y químicas de cladodios con atmósferas de CO₂ y N₂.





Tratamiento	Índice de daño	Pérdida de peso	Acidez (% ác. málico)	Firmeza (Newtons)	Color ΔE
Nopal fresco 	0	0	1.2	49.33	0
CO ₂ 5% 	0.6	0.8	0.61	48.44	5.61
CO ₂ 10% 	0.5	0.95	0.59	48.14	3.1
N ₂ 	0.6	0.6	0.25	37.16	8.1



Tabla 9. Características físicas y químicas de cladodios con mezclas de O₂ y CO₂.











Tratamiento	Índice de daño	Pérdida de peso (%)	Acidez % ác. málico	Firmeza Newtons	Color ΔE
Nopal fresco 	0	0	1.2	49.33	0
2% O ₂ + 10% CO ₂ 	2.2	0.61	0.61	16.7	9.3
5% O ₂ + 5% CO ₂ 	4	1.6	0.49	20.83	7.3
5% O ₂ + 10% CO ₂ 	4	1.2	0.46	16.62	12.95



Tabla 10. Aspecto de los mejores tratamientos almacenados con atmósferas individuales y mezclas

Tratamiento	Índice de daño	Pérdida de peso (%)	Acidez % ác. málico	Firmeza Newtons
Nopal fresco 	0	0	1.2	49.33
10% CO ₂ 	0	0.8	0.6	48.98
5% CO ₂ 	0	0.6	0.8	47.34
2% O ₂ 	0	0.2	0.45	30.65
N ₂ 	0	0.53	0.37	38.89
2% O ₂ 10% CO ₂ 	0	0.3	0.61	17.3



VIII.- CONCLUSIONES

- 1) Con la presente investigación se logró determinar que la conservación de nopal desespinado de la var. Milpa Alta se puede prolongar por 20-22 días en atmósferas modificadas en O₂, CO₂ y N₂; en los tres casos funcionaron las concentraciones ensayadas, encontrándose no que hay diferencia significativa entre tipo de gas y concentraciones para índice da daño, pero para las variables de pérdida de peso, acidez, firmeza y color existe diferencia significativa.
- 2) De las mezclas probadas, la mezcla con 2% O₂ + 10% CO₂ conservó la calidad del nopal por 20 días sin lesiones físicas, mientras que en las concentraciones de 5% O₂ + 5% CO₂ y la de 5% O₂ + 10% CO₂ se empezaron a registrar daños en los cladodios a partir de los 10 y 15 días de almacenamiento, respectivamente. Por lo que se consideraron no adecuadas para este producto.
- 3) Los tratamientos que mejor conservan la calidad del nopal a 22 días de almacenamiento son: las concentraciones individuales de CO₂; 2% O₂ y N₂.



IX BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilar-Sánchez Laura Ma. Teresa Martínez-Damián, Alejandro F. Barrientos-Priego, Norman (2007). Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. Journal of the Professional Association for Cactus Development. Vol. 9. pag.165:184.
- Brecht Jeffrey K. (2006). Controlled atmosphere modified atmosphere and modified atmosphere packaging for vegetables. Stewart postharvest solutions. international journal for reviews in postharvest biology and technology. Vol 5. 5, 6pp.
- Cantwell, M. (1995). Post-harvest management of fruits and vegetable stems. En: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. G. Barbera, P. Inglese E. Pimienta-Barrios (Eds.). FAO Plant Production and Protection Paper 132. pp. 120-136.
- Cantwell, M. (1995). Fresh-cut product biology requirements. perishables handling newsletter, University of California, Davis, v.81, p.4-6.
- Cantwell, M.; Suslow. T. (1999). Fresh-cut fruits and vegetables: aspects of physiology, preparation and handling that affect quality. In: Annual workshop fresh-cut products: Maintaining quality and safety, 5, Davis: University of California, 1999. Section 4b, p.1-22.
- Cantwell, M., Rodríguez-Félix, A., Robles-Contreras, F. (1992). Postharvest physiology of prickly pear cactus stems. Scientia Horticulturae 50:1-9.
- Cushman John C. (2001). Crassulacean acid metabolism a plastic photosynthetic adaptation to arid environments. Plant Physiology. Vol. 127, pp. 1439–1448
- Corrales-García, J., Flores-Valdéz C. (2003). Nopalitos y tunas, producción, comercialización, poscosecha e industrialización. Universidad Autónoma de Chapingo, Edo. de Mex. Pp. 4-5, 7-14, 19-20, 25, 28, 117, 144-152, 164, 167-209, 220.
- Chitarra, M. I. F., Chitarra, B., (2005). Pós-colheita de frutos e hortaliças - fisiologia e manuseio. 2. Editora UFLA, Lavras-MG, Brazil.
- Exama, A., Arul, J., Lencki R.W., Lee, L.Z. and Toupin, C. (1993). Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. Journal of Food Science. 58:1365-1370.
- Feugang JM, Konarski P, Zou D, Stintzing FC, Zou C. (2006). Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. Front Biosci. Sep 1;11:2574-89.



- Fluhr R, Mattoo AK (1996) Ethylene biosynthesis and perception. *Critical Rev Plant Sci* 15: 479:523
- Guevara, J. C., Yahia, E. M., Brito de la Fuente, E., Biserka, S. P. (2003 a). Effects of elevated concentrations of CO₂ in modified atmospheres packaging on the quality of prickly pear cactus stems (*Opuntia spp.*). *Postharvest Biology and Technology*, 29: 167- 176.
- Guevara, J. C., Yahia, E. M. y Cedeño L. (2003 b). Modeling of O₂, CO₂ and H₂O vapor in modified atmosphere packaged prickly pear cactus stems (*Opuntia spp.*). *Acta Horticulturae*, 604: 671-675.
- Giménez, M., Olarte C., Sanz S., Lomas C., Echávarri J.F. y Ayala F. (2003). Influence of packaging films on the sensory and microbiological evolution of minimally processed borage (*Borrago officinalis*). *Journal of Food Science* 68:1051– 1058.
- Graciano Verdugo Zoraida Abril, Elizabeth Peralta y Herlinda Soto-Valdez. (2006). Permeabilidad y vida útil de los alimentos. *AlimentPack*. Julio- Agosto: 15-19.
- Gómez P.A. y Camelo A.F.L. (2002). Calidad postcosecha de tomate almacenado en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira* 20, 38:43.
- Guarda, A. y M.J. Galotto. (2000). Aspectos teóricos de la permeabilidad en envases plásticos para alimentos. Soto-Valdez (Ed.). *Memorias del II Congreso Internacional de Envases para Alimentos RISEA- 2000*. Hermosillo, Sonora. p. 74-78.
- Gurbuz Gunes Chang y Lee (1997). Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. *Journal of Food Science* Volume 62 Issue 3, Pages 572 - 575
- Heaton, J.W., Marangoni, A.G. (1996). Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. *Trends in Food Science & Technology* 7:8-15.
- Kader, A.A. (2003). A perspective on postharvest horticulture (1978-2003). *HortScience* 38:1004-1008.
- Kader, A. A. (2002). Modified atmospheres during transport and storage. In: Kader, A.A. Editor. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California, Davis. USA.
- Kader, A. A. (1989). Biochemical and physiological bases for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technol.*, 40(5): 99-100 and 102-104.



- Kader, A.A., M.A. Stevens, M. Albright-Holton, L.L. Morris and M. Algazi. (1977). Effect of fruit when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes ripened. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102(6)724-731.
- Keeley Jon E. (2008). CAM photosynthesis in submerged aquatic plants. *The Botanical Review.* Volume 64, Number 2. 124-158.
- León, A. Frezza, D. & Chiesa, A. (2004). Edad a cosecha y calidad en postcosecha de lechuga mantecosa mínimamente procesada. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 3 (1-2).
- Martín Belloso, O y Oms Oliu, G. (2005). Efecto de la atmósfera modificada en las características físico-químicas y nutricionales de la fruta fresca cortada. *Symposium: Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados.* La Habana, Cuba.
- Martínez-Damián Teresa, Laura Aguilar-Sánchez, Alejandro F. Barrientos-Priego, Norman Aguilar-Gallegos, and Clemente Gallegos-Vásquez. (2007). Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. *Journal of the Professional Association for Cactus Development.* (9)166-184.
- Martínez-Ferrer, M., Harper, C., Pérez-Muñoz, F. (2002). Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *Journal of Food Science.* 67(9): 3365-3371.
- Martins, R.C., Silva, C.L.M. (2002). Modelling colour and chlorophyll losses of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *International Journal of Refrigeration* 25:966-974.
- Moßhammer Markus R. , Florian C. Stintzing, and Reinhold Carle. (2006). Cactus pear fruits (*Opuntia spp.*): A review of processing technologies and current uses. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* (8):1-25.
- Moussa T. E. S. K. E-Samahy, E. A. Abd E-Hady and R. A. Habiba. (2006). Chemical and rheological characteristics of orange-yellow cactus-pear pulp from Egypt. *Journal of the Professional Association for Cactus Development.* (8)39-51.
- Murillo-Amador Bernardo; Arnoldo Flores-Hernández; Ignacio Orona-Castillo; Ricardo David Valdez-Cepeda (2004). Producción y calidad de nopalito en la región de la Comarca Lagunera de México y su relación con el precio en el mercado nacional. *J. PACD.* Vol. 6. 23-35.
- Muy-Rangel D. Siller-Cepeda, Díaz-Pérez; Valdéz-Torres. (2004). Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de pepino de mesa. *Revista Fitotécnica Mexicana.* Vol



(27) 2, 157-165.

- Nerd, A., Dumotier, M., Mizrahi, Y. (1997). Properties and postharvest behavior of the vegetable cactus *Nopalea cochenillifera*. Postharvest Biology and Technology. Vol. 10, 135-143.
- Odrizola-Serrano, Isabel · Oms-Oliu, Gemma · Soliva-Fortuny, Robert · Martín-Belloso, Olga (2009). Effect of high-oxygen atmospheres on the antioxidant potential of fresh-cut tomatoes. Journal of agricultural and food chemistry
- Pimienta E. (1993). El nopal (*Opuntia* spp.): Una alternativa ecológica productiva para las zonas áridas y semiáridas. Vol. 44,339-350.
- Quevedo-Preciado K. Villegas-Ochoa; Gonzle Ríos A. Rodríguez-Felix A. (2005). Calidad de nopal verdura mínimamente procesado, efecto de temperatura e inhibidores del oscurecimiento. Revista Fitotecnica Mexicana. Vol. (28). 3 261-270.
- Razo-Martínez, Y. y M. Sánchez-Hernández. (2002). Acidez de 10 variantes de nopalito (*Opuntia* spp.) y su efecto en las propiedades químicas y sensoriales. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 104 p.
- Reza N. S., Flores E. A. L, Alonso N. M y Ramírez B. P. (2005). Evaluación de textura, color y aceptación del nopalito variedad Milpa Alta escaldado, a diferentes tiempos de inmersión en solución de NaCl y CaCl₂, y empacado a vacío. VII Congreso Nacional de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Guanajuato, Gto.
- Robles-Rodríguez Ma. Barbara; Rodríguez-Huezo Eva; Colina-Irezabal Ma. Luisa; Pelayo-Zaldivar Clara; Bosque-Molina Elsa. (2008). Efecto del envasado al vacío y en atmósfera de N₂ de nopal desespinado (*Opuntia ficus indica*) var. Milpa Alta. V Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica.
- Robles-Ozuna L.E., F.M. Goycolea, M.I. Silveira y L.C. Montoya. (2007). Uso del quitosano durante el escaldado del nopal (*Opuntia ficus indica*) y efecto sobre su calidad. Revista Mexicana de Ingeniería Química (6)2:193-201.
- Rodríguez-Félix, Armida, Villegas-Ochoa, Mónica A., Fortiz-Hernández, Judith. (2007). Efecto de cubiertas comestibles en la calidad de nopal verdura (*Opuntia* sp.) durante el almacenamiento refrigerado. J. PACD. (9)22-42.
- Rodríguez-Félix, A. (2002). Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. Proc. 4th International congress on cactus pear and cochineal. A. Nefzaoui and P. Inglese (eds). Oct. 22-28. Hammamet, Tunisia. Acta Horticulturae 581:191-199.



- Rodríguez-Félix., A., Villegas-Ochoa, M.A. (1997). Quality of cactus stems (*Opuntia ficus indica*) during low-temperature storage. Journal of the Professional Association for Cactus Development 2:142-152.
- Rodríguez-Giró, M. (1998). Envasado de alimentos bajo atmósfera protectora. Técnica E.A.P. Alimentación, Equipos y Tecnología. 5:87-92.
- Salinas-Hernández RM, GA González-Aguilar, M.E. Pirovani, F. Ulín-Montejo. (2007). Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. Revista Universidad y Ciencia. 23 (2):183-196.
- SAGARPA. (2007). Ficha Técnica el Nopal 02-2007. En: <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/df/fichatecnopal.pdf>. Julio, 2008.
- SIAP-SAGARPA. (2005). Anuario estadístico de la producción agrícola 2005.
- Soliva-Fortuny, R.C., Grigelmo-Miguel, N., Odriozola-Serrano, I., Gorinstein, S., Martín-Belloso, O. (2001). Browning evaluation of ready to eat apples as affected by modified atmosphere packaging. J Agric Food Chem 49(8):3685–90.
- Stintzing Florian C. Markus R. Moßhammer, and Reinhold Carle (2006). Cactus pear fruits (*Opuntia spp.*): A review of processing technologies and current uses. Journal of the Professional Association for Cactus Development (8)1-25.
- Stintzing FC, Carle R. (2005). Cactus stems (*Opuntia spp.*): a review on their chemistry, technology, and uses. Mol Nutr Food Res. Feb;49(2):175-94.
- Suslow Trevor V. y Ron Voss, (2008). Potato: (Immature early crop). Department of Vegetable Crops, University of California, Davis, CA 95616.
- Szarek Stan r. y Irwin p. Ting (1974). Respiration and gas exchange in stem tissue of *Opuntia basilarist*. Plant Physiol. Vol. 54.
- Wills Ron, Barry M., Graham D., Joyce D. (1998). Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals 4a ed. University of New South Wales Press Ltd.
- Yahia E.M. , J.C. Guevara, L.M.M. Tijskens, L. Cedeño (2005). The effect of relative humidity on modified atmosphere packaging gas exchange. ISHS Acta Horticulturae 674: III International Symposium on Applications of Modelling as an Innovative Technology in the Agri-Food Chain.
- Yang S.F. (1987). Regulation of biosynthesis and action of ethylene. Acta Hortic. 201:53-59.



- Zacarías L. and Alférez F. (2007). Regulation by carbon dioxide of wound-induced ethylene biosynthesis in the peel of citrus. *Fruit. Food Science and Technology International*; 13; 497.
- Zagory, D.(1995). Principles and practices of modified atmosphere packaging of horticultural commodities. In: J.M. Farbert and K.L. Dodds, Eds. *Principles of Modified Atmosphere and sous vide product packaging*. Lancaster, P. A.: Technomic. 175-206.
- Zarazúa-Escobar J. A.; Ma. T. Martínez-Damián; Ma. T. Colinas-León; Barrientos-Priego A. F.; J. J. Aguilar-Melchor. (2005). Frigoconservación y atmósferas modificadas en frutos de aguacate mínimamente procesado. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(1): 143-148.



X.- ANEXOS

Análisis de ANOVA para la variable de índice de daño de los nopales almacenados a 10 días

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	1.250	1	1.250	11.667	.011
	Intra-grupos	.750	7	.107		
	Total	2.000	8			
Control vacío	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
2% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
5% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
8% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	1.250	1	1.250	11.667	.011
	Intra-grupos	.750	7	.107		
	Total	2.000	8			
5%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
Nitrógeno	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			



Análisis de ANOVA para la variable de índice de daño de los nopales almacenados a 15 días

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	2.222	1	2.222	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	2.222	8			
Control vacío	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
2% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
5% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
8% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	1.250	1	1.250	11.667	.011
	Intra-grupos	.750	7	.107		
	Total	2.000	8			
5%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
Nitrógeno	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			



Análisis de ANOVA para la variable de índice de daño de los nopales almacenados a 20 días

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.222	1	.222	1.167	.316
	Intra-grupos	1.333	7	.190		
	Total	1.556	8			
Control vacío	Inter-grupos	.500	1	.500	2.333	.170
	Intra-grupos	1.500	7	.214		
	Total	2.000	8			
2% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
5% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
8% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.222	1	.222	1.167	.316
	Intra-grupos	1.333	7	.190		
	Total	1.556	8			
5%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.222	1	.222	1.167	.316
	Intra-grupos	1.333	7	.190		
	Total	1.556	8			
Nitrógeno	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			



Análisis de ANOVA para la variable de índice de daño de los nopales almacenados a 25 días

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
Control vacío	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
2% O ₂	Inter-grupos	2.222	1	2.222	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	2.222	8			
5% O ₂	Inter-grupos	1.422	1	1.422	12.444	.010
	Intra-grupos	.800	7	.114		
	Total	2.222	8			
8% O ₂	Inter-grupos	.556	1	.556	3.889	.089
	Intra-grupos	1.000	7	.143		
	Total	1.556	8			
5% CO ₂	Inter-grupos	1.250	1	1.250	11.667	.011
	Intra-grupos	.750	7	.107		
	Total	2.000	8			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	2.222	1	2.222	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	2.222	8			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.556	1	.556	3.889	.089
	Intra-grupos	1.000	7	.143		
	Total	1.556	8			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	7	.000		
	Total	.000	8			
5%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.356	1	.356	2.074	.193
	Intra-grupos	1.200	7	.171		
	Total	1.556	8			
Nitrógeno	Inter-grupos	.139	1	.139	1.296	.292
	Intra-grupos	.750	7	.107		
	Total	.889	8			



Análisis de ANOVA para la variable de pérdida de peso de los nopales almacenados a 5 días

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.002	1	.002	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.002	2			
Control vacío	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
2% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			
8% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	3.000	.333
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.000	1.000
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			



Análisis de ANOVA para la variable de pérdida de peso de los nopales almacenados a 10 días

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
Control vacío	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
8 % O ₂	Inter-grupos	.001	1	.001	.097	.808
	Intra-grupos	.008	1	.008		
	Total	.009	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.002	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.001	1	.001	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.027	1	.027	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.027	2			
5%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.000	1.000
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.005	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			



Análisis de ANOVA para la variable de pérdida de peso de los nopales almacenados a 15 días

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.007	1	.007	.333	.667
	Intra-grupos	.020	1	.020		
	Total	.027	2			
Control vacío	Inter-grupos	.002	1	.002	8.333	.212
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.002	2			
2% O ₂	Inter-grupos	.002	1	.002	40.333	.099
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.002	2			
5% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	8.333	.212
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
8% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.061	.846
	Intra-grupos	.002	1	.002		
	Total	.003	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.007	1	.007	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.007	2			
5%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	1.333	.454
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.000	1	.000	8.333	.212
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			



Análisis de ANOVA para la variable de pérdida de peso de los nopales almacenados a 20 días

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.042	1	.042	8.333	.212
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.047	2			
Control vacío	Inter-grupos	.007	1	.007	.333	.667
	Intra-grupos	.020	1	.020		
	Total	.027	2			
2% O ₂	Inter-grupos	.001	1	.001	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			
5% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.000	1.000
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.005	2			
8% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.002	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	3.000	.333
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.007	1	.007	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.007	2			
5%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.007	1	.007	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.007	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			



Análisis de ANOVA para la variable de pérdida de peso de los nopales almacenados a 25 días

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.007	1	.007	1.333	.454
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.012	2			
Control vacío	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
2% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			
5% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.037	.879
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
8% O ₂	Inter-grupos	.001	1	.001	1.815	.407
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	.000	1.000
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.005	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.002	1	.002	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.002	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
5%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			



Análisis de ANOVA para la variable de acidez de los nopales almacenados a 5 días.

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.002	2			
Control vacío	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
2% O ₂	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
5% O ₂	Inter-grupos	.007	1	.007	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.007	2			
8% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	1.333	.454
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.003	1	.003	.333	.667
	Intra-grupos	.008	1	.008		
	Total	.011	2			
5%O ₂ 10 % CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	1.333	.454
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.007	1	.007	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.007	2			



Análisis de ANOVA para la variable de acidez de los nopales almacenados a 10 días.

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.000	1	.000	3.000	.333
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
Control vacío	Inter-grupos	.000	1	.000	.083	.821
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.001	2			
2% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.018	.916
	Intra-grupos	.008	1	.008		
	Total	.009	2			
5% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
8% O ₂	Inter-grupos	.002	1	.002	12.000	.179
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.003	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.001	1	.001	1.815	.407
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	.148	.766
	Intra-grupos	.002	1	.002		
	Total	.002	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	3.000	.333
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.004	1	.004	5.333	.260
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.005	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			



Análisis de ANOVA para la variable de acidez de los nopales almacenados a 15 días.

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.002	1	.002	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.002	2			
Control vacío	Inter-grupos	.007	1	.007	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.007	2			
2% O ₂	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
5% O ₂	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			
8% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.037	.879
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.007	1	.007	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.007	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.011	1	.011	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.011	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	8.333	.212
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.002	1	.002	.333	.667
	Intra-grupos	.005	1	.005		
	Total	.007	2			



Análisis de ANOVA para la variable de acidez de los nopales almacenados a 20 días.

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
Control vacío	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			
2% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			
5% O ₂	Inter-grupos	.001	1	.001	.750	.546
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.001	2			
8% O ₂	Inter-grupos	.001	1	.001	1.815	.407
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.002	1	.002	40.333	.099
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.002	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	8.333	.212
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.001	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	3.000	.333
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.000	1	.000	.013	.927
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.001	2			



Análisis de ANOVA para la variable de acidez de los nopales almacenados a 25 días.

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.004	1	.004	3.000	.333
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.005	2			
Control vacío	Inter-grupos	.000	1	.000	.000	1.000
	Intra-grupos	.020	1	.020		
	Total	.020	2			
2% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	3.000	.333
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
8% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.004	1	.004	3.000	.333
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.005	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.002	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.000	1	.000	.000	1.000
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			



Análisis de ANOVA para la variable de acidez de los nopales almacenados a 25 días.

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aire	Inter-grupos	.004	1	.004	3.000	.333
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.005	2			
Control vacío	Inter-grupos	.000	1	.000	.000	1.000
	Intra-grupos	.020	1	.020		
	Total	.020	2			
2% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	3.000	.333
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
8% O ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
CO ₂ 10%	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
2%O ₂ 10% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.	.
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.004	1	.004	3.000	.333
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.005	2			
5%O ₂ 5% CO ₂	Inter-grupos	.000	1	.000	.333	.667
	Intra-grupos	.001	1	.001		
	Total	.002	2			
Nitrógeno	Inter-grupos	.000	1	.000	.000	1.000
	Intra-grupos	.000	1	.000		
	Total	.000	2			



Análisis de ANOVA para la variable la firmeza de los nopales almacenados a 5 días.



POSGRADO: ESPECIALIDAD EN BIOTECNOLOGÍA.

“Evaluación de la calidad del nopal (*Opuntia ficus indica*) variedad Milpa Alta desespinado, envasado en atmósferas modificadas”.

Idónea comunicación

Presenta:
MVZ Carlos D. Morales Gabriel

Comité Tutorial

Dra. Elsa Bosquez Molina

Dra. Eva Rodríguez Huevo

Lectora

Dra. Silvia Bautista Baños

México, D. F., Noviembre 2009.