



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

Departamento de
Exámenes Profesionales

**RESPUESTA POSTCOSECHA DEL NOPAL
(*Opuntia ficus indica*) SOMETIDO A
DIFERENTES OPERACIONES
BASICAS**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A N

**MARTHA PATRICIA ANGELES MARTINEZ
MARTHA YASMINE LAGUNA ARANDA**

DIRECTOR DE TESIS
M. en C. Nidia Aragón Salgado



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE.

| | Página |
|---|--------|
| 1.- RESUMEN. | 1 |
| 2.- INTRODUCCION. | 3 |
| 3.- ANTECEDENTES GENERALES. | 5 |
| 3.1 Aspectos socioeconomicos. | 5 |
| 3.2 Justificación. | 9 |
| 4.- ANTECEDENTES TECNICO-CIENTIFICOS. | 14 |
| 4.1 Aspectos fisiologicos generales de frutos y hortalizas. | 14 |
| 4.2 Algunos cambios metabolicos en senescencia de hortalizas. | 18 |
| 4.3 Manejo postcosecha. | 24 |
| 4.3.1 Cosecha. | 25 |
| 4.3.2 Operaciones básicas. | 27 |
| 4.3.3 Operaciones especiales. | 34 |
| 4.3.4 Almacenamiento de frutas y hortalizas. | 37 |
| 4.3.4.1 Almacenamiento refrigerado. | 43 |
| 4.3.4.2 Almacenamiento en atmosferas controladas o modificadas. | 44 |
| 5.- OBJETIVOS. | 52 |
| 6.- METODOLOGIA. | 53 |
| 6.1 Secuencia metodológica. | 53 |
| 6.1.1 Definición de variables de respuesta y unidad experimental. | 54 |

| | |
|---|-----|
| 6.1.1.1 Variables paramétricas. | 55 |
| 6.1.1.2 Variables no paramétricas. | 57 |
| 6.1.2 Estimación de envases. | 58 |
| 6.1.3 Operaciones postcosecha aplicadas al nopal en el desarrollo experimental. | 59 |
| 6.1.4 Primera etapa experimental. | 62 |
| 6.1.5 Segunda etapa experimental. | 65 |
| 7.- RESULTADOS y DISCUSION. | 66 |
| 7.1 Determinación de la unidad experimental. | 68 |
| 7.2 Patrón respiratorio. | 68 |
| 7.3 Determinación de concentraciones críticas. | 70 |
| 7.4 Estimación de envases. | 75 |
| 7.5 Primera etapa experimental. | 90 |
| 7.5.1 Efecto de las operaciones de limpieza, envasado y temperatura en la vida de almacenamiento del nopal. | 90 |
| 7.5.2 Efecto del desespinado, envasado y temperatura en la pérdida fisiológica de peso. | 94 |
| 7.5.3 Efecto del desespinado, envasado y temperatura en la retención de vitamina C. | 104 |
| 7.5.4 Efecto del desespinado, envasado y temperatura en la retención de clorofila. | 114 |
| 7.5.5 Apariencia. | 122 |

| | |
|---|-----|
| 7.6 Segunda etapa experimental. | 129 |
| 7.6.1 Efecto de los tratamientos en la velocidad de respiracion. | 130 |
| 7.6.2 Efecto del desespinado y envase en el tiempo de almacenamiento del nopal. | 133 |
| 7.6.3 Efecto del envase y desespinado en el establecimiento de la atmosfera modificada. | 135 |
| 7.6.4 Apariencia en función del envase y desespinado. | 138 |
| 7.6.4.1 Oxidacion. | 139 |
| 7.6.4.2 Ataque por microorganismos. | 141 |
| 7.6.4.3 Daños por CO ₂ . | 145 |
| 7.6.4.4 Daños por frio. | 148 |
| 7.6.4.5 Textura. | 151 |
| 7.6.4.6 Calidad o apariencia. | 153 |
| 8.- CONCLUSIONES. | 159 |
| 9.- RECOMENDACIONES. | 161 |
| 10.-APENDICE. | 162 |
| 11.-BIBLIOGRAFIA. | 190 |

RESUMEN

1. RESUMEN.

En el desarrollo experimental del presente trabajo, el objeto de estudio es el nopal proveniente de la delegación Milpa Alta, D.F., cuya importancia radica entre otros aspectos en su elevada tasa anual de producción de alrededor de 200,000 toneladas, y los beneficios económicos que reporta al 70% de esta población. Sin embargo, los productores se ven limitados para comercializarlo en fresco debido a su alta perecibilidad. (1)

El propósito de la investigación fue prolongar su vida útil, con tal fin los nopales fueron sometidos a diferentes tratamientos postcosecha, considerando tanto las operaciones básicas que tradicionalmente se practican en la zona (2), así como algunas alternativas (3), destacando limpieza (desespinado), envasado (MAP) y almacenamiento refrigerado.

Para cumplirlo se hizo una estimación de los envases a utilizar y se plantearon dos etapas experimentales a través de las cuales se evaluaron dos diseños factoriales que en suma correspondieron a doce tratamientos. Para determinar el efecto de estos en la calidad, se emplearon las variables paramétricas: velocidad de respiración, monitoreo de CO_2 y O_2 , pérdida fisiológica de peso, retención de clorofila y vitamina C. Asimismo se incluyó la variable no paramétrica de apariencia, en la que se conceptualizó: oxidación, ataque por microorganismos, textura, daños por CO_2 y daños por frío; calificando las muestras de acuerdo a una escala descriptiva graduada. (4,5)

Los resultados obtenidos indican que el desespinado alternativo, la aplicación de ácido cítrico al 0.05%, el envasado en película de polietileno calibre 200 estableciendo una atmósfera modificada (MAP) y el almacenamiento a 4°C con humedad relativa del 90 al 95%, se logra cubrir una vida útil de 22 días en contraste con el periodo de solamente 5 días que permanece comerciable aplicando el manejo postcosecha tradicional del Centro de Acopio de Milpa Alta, lo que hace factible que los productores puedan prolongar el periodo de comercialización del nopal.

INTRODUCCION

2. INTRODUCCION.

Es conocido que en México diversos productos hortofrutícolas en estado fresco se pierden por diferentes causas durante el tiempo que transcurre entre cosecha y consumo. En particular esta situación se presenta con el nopal, principalmente en marzo, abril y mayo que son meses de mayor rendimiento, en donde los mercados acostumbrados se saturan no alcanzando a venderse toda la producción por lo que el precio de venta no es redituable, ocasionando que se utilice como abono. (42,47,49)

Por ello es creciente el interés de los productores de Milpa Alta, D.F., por desarrollar tecnologías que permitan prolongar la vida útil del nopal en fresco, para así poder penetrar a mercados del interior de la República y aún del extranjero (42,47), ya que actualmente con lo realizado en el Centro de Acobio de la zona se logra conservar solo por 5 días. (49)

Una alternativa para resolver este problema son los métodos de conservación de hortalizas, los cuales se basan en la cosecha oportuna y en la aplicación de operaciones postcosecha básicas y/o especiales que hacen posible su almacenamiento y comercialización por periodos mas prolongados.

Del manejo postcosecha del nopal, la operación de limpieza o desespinado resulta ser de gran trascendencia debido a los severos daños que causa en la capa epidérmica, resultando crítica porque disminuye su vida potencial. No obstante, tal efecto negativo se reduce si se evitan en lo posible las lesiones

disminuyendo su impacto si se usa algún antioxidante como coadyuvante de refrigeración; con este tipo de almacenamiento se presenta la ventaja de preservar características de calidad en cuanto a composición química y apariencia. Además, la vida potencial del producto puede incrementarse mediante la creación de una atmósfera modificada (MAP), que involucra aumentos en CO₂ y disminución de O₂ en la atmósfera circundante al mismo. (41)

En el presente trabajo se implementaron y evaluaron algunas operaciones básicas en especial limpieza (desespinado) y envasado así como el almacenamiento refrigerado permitiendo prolongar la vida de almacenamiento del nopal hasta 22 días. Al mismo tiempo se comparó con el manejo postcosecha que se aplica en el Centro de Acopio de Milpa Alta.

Los resultados proporcionarán a los productores una herramienta sencilla de utilizar que permitirá incrementar las posibilidades de distribuir en áreas más distantes su producción, que según datos estadísticos de 1988 fué de aproximadamente 200,000 toneladas, generando una importante derrama económica para esta zona considerada la de mayor producción de nopal a nivel Nacional. (42, 43)

**ANTECEDENTES
GENERALES**

3. ANTECEDENTES GENERALES.

3.1 Aspectos socioeconómicos.

En la República Mexicana las cactáceas ocupan cerca de 30 millones de hectáreas distribuidas en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Chihuahua, Tamaulipas, Durango y Aguascalientes. (12,80).

Así, uno de los géneros más representativos es Opuntia, del cual en el país se cuentan más de 100 especies, destacando Opuntia ficus indica como hortaliza. Algunas plantaciones comerciales de esta especie se localizan al sur del Distrito Federal en la delegación Milpa Alta, que abastece el 70% del mercado Nacional (12,80) contribuyendo con 202,800 toneladas (1986), tabla 3.1.

Por otra parte el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (13), reporta 148,839 toneladas para el mismo año y una producción de 188,832 toneladas para 1988, (tabla 3.3).

7

TABLA 3.1. Pueblos de la delegación Milpa Alta, superficie, producción y participación en el cultivo de nopal verdura (*Opuntia ficus indica*).

| FUEBLO | SUPERFICIE (Has) | PRODUCCION (Ton) | PARTICIPACION (%) |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Villa Milpa Alta | 2,200 | 132,000 | 85 |
| San Lorenzo Tlacoyucan | 600 | 36,000 | 18 |
| Sta. Ana Tlacotenco | 180 | 10,000 | 5 |
| San Juan Tepehuac | 100 | 6,000 | 3 |
| San Jeronimo Miacatlan | 100 | 6,000 | 3 |
| San Agustín Otrenco | 90 | 5,400 | 2.6 |
| San Pedro Atocpan | 50 | 3,000 | 1.5 |
| San Francisco Tecolpa | 48 | 2,880 | 1.4 |
| San Antonio Tecomitl | 12 | 750 | 0.35 |
| T O T A L | 3,380 | 202,800 | 100.00 |

FUENTE: SARH, Nov., 1986. (46).

Así, en la tabla 3.1 se observa que en el aporte total de nopal contribuyen los nueve pueblos que integran la delegación, destacando Villa Milpa Alta, con 85%. (46).

La superficie agrícola de la zona es de 10,235 Has. y los cultivos que predominan y constituyen la principal fuente de ingresos son:

1. Nopal, con una extensión de 3,380 Has. (46, 47, 48), basándose la relevancia del cultivo en su rentabilidad, pocas exigencias, rápido crecimiento y fácil adaptabilidad al tipo de suelo existente. De la superficie cultivada 98% se concentra en la parcela propiedad, cuya área promedio varía de 1 a 3 Has.

2. Maíz, que cuenta con una extensión de 4,134 Has., cultivado en terrenos comunales y de pequeños propietarios; asimismo

que ha ido perdiendo representatividad por el bajo precio de garantía que al competir con las ganancias que reditua el nopal, resulta poco atractivo; y

3. Avena, cultivada en una extensión de 1,510 Has., utilizada principalmente para la alimentación de ganado.

Existen otros cultivos como papa, frijol, zanahoria y coliflor que son secundarios por la pequeña superficie en relación con los primeros, algunos de ellos se presentan en la tabla 3.2.

TABLA 3.2. Principales productos agrícolas cultivados en la delegación Milpa Alta, 1986.

| CULTIVO | SUPERFICIE | | RENDIMIENTO | PRODUCCION OBTENIDA | PRODUCCION PRECIO MEDIO RURAL |
|---------|--------------------|---------------------|-------------|------------------------|-------------------------------------|
| | SEMBRADA (HAS.) | COSECHADA (HAS.) | | | |
| Maíz | 4,134 | 4,056 | 2,490 | 10,100 | 55,000 |
| Frijol | 175 | 175 | 994 | 174 | 250,000 |
| Nopal | 3,380 | 3,380 | 50,000 | 56,566 | 118,000 |
| Avena | 1,510 | 1,495 | 5,253 | 9,267 | 15,000 |
| Forraj. | | | | | |
| Haba | 110 | 110 | 1,590 | 175 | 85,000 |
| Papa | 40 | 40 | 12,025 | 511 | 45,000 |
| Veza | 105 | 105 | 2,733 | 287 | 18,400 |

FUENTE: SARH. Diagnostico preliminar "Zona productora del nopal", Delegación Milpa Alta, D.F. (1977).

Respecto a costos de producción y beneficios medios de los cultivos, son más remunerativos por unidad de superficie: nopal, maíz y papa, siendo el primero el que ha desplazado a los otros (1977). De tal forma que de 1984 a 1989 a la superficie para

cultivar nopal se sumaron 96 Has., sin embargo el aumento del volumen cosechado se atribuye más al rendimiento que a la extensión cultivada debido a su respuesta ante prácticas culturales (deshierbe, fertilización, etc.), mismos que han adquirido importancia con el tiempo reflejando incrementos del rendimiento en más del 100% (tabla 3.3).

TABLA 3.3. Superficies, volumen, rendimiento y valor de la producción de nopal en el D.F. durante el periodo 1984-1988.

| R R O | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 |
|--|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| Superficie de temporal sembrada (Has.) | 3,300 | 3,380 | 3,380 | 3,476 | 3,475 |
| Superficie de temporal cosechada (Has.) | 3,200 | 3,340 | 3,372 | 3,372 | 3,372 |
| Volumen de producción agrícola (Ton.) | 76,800 | 82,630 | 148,839 | 171,563 | 188,832 |
| Rendimiento (Ton/Has.) | 24.000 | 24.740 | 44.140 | 50.880 | 56.000 |
| Valor de la producción agrícola (miles de pesos) | 2,749,440 | 2,065,750 | 3,695,850 | 34,312,600 | 75,532,800 |

FUENTE: Anuario Estadístico, 1989. INEGI., 115.

Por otra parte, según informes de los productores, se presentan en el año tres épocas bien definidas durante las cuales existen fluctuaciones en producción repercutiendo en el precio de venta, obteniéndose mayores ingresos económicos por tonelada de nopal en el periodo de Octubre a Febrero considerado comúnmente de bajo rendimiento, comparado con los meses de sobreproducción que son los meses de Marzo, Abril y Mayo donde se manifiesta un abatimiento de precios y pérdidas de nopal (tabla 3.4).

TABLA 3.4. Fluctuaciones de producción y precios de nopal en Milpa Alta, D.F. (1989).

| ETAPA DE PRODUCCION | MESES | VOLUMEN (TON/MES) | PRECIO (\$/CIENTO) |
|---------------------|---|-------------------|--------------------|
| M á x i m a | Marzo, Abril, Mayo | 12 | 200 - 4,000 |
| M e d i a | Junio, Julio, Agosto Septiembre | 4 | 4,000 - 6,000 |
| B a j a | Octubre, Noviembre Diciembre, Enero Febrero | 2 | 6,000 -12,000 |

FUENTE: Información personal con los productores de la región.

Esta hortaliza es considerada la principal fuente de ingresos de la región debido a que 70% de la población económicamente activa se dedica a su cultivo. No obstante, la mayor parte tiene además de sus actividades agrícolas otras fuentes de ingreso (42.47%).

Cabe comentar que ésta zona es fuente generadora de empleo para personas provenientes de algunos estados de la República como Oaxaca, Puebla y Estado de México, entre otros. (47%).

3.2 Justificación.

En la cadena de comercialización uno de los factores limitantes a los que se enfrentan los productores es que carecen de infraestructura para la conservación en fresco o industrializado. (42.47%).

En el diagrama 3.1, se presentan los canales de comercialización del nopal empleados para distribución y venta

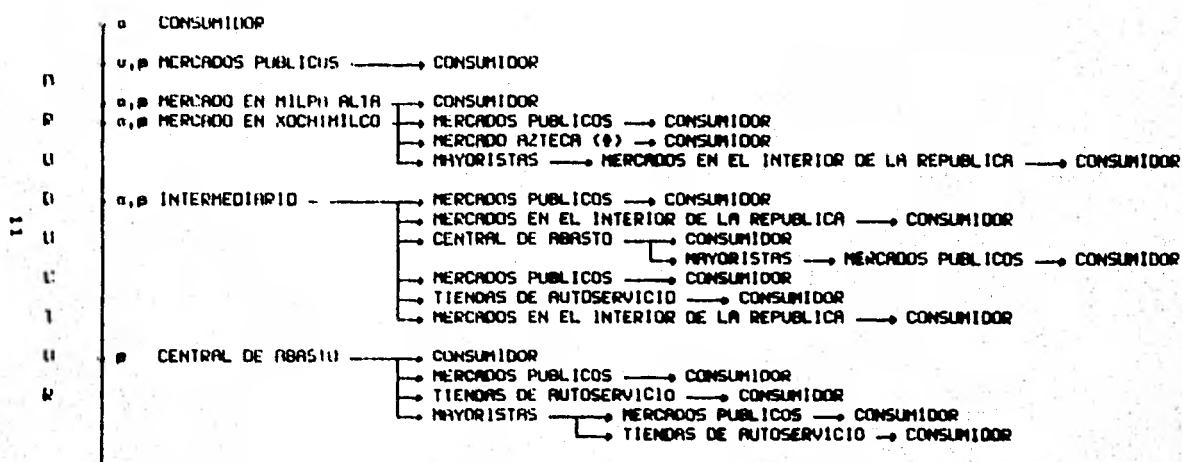
del nopal, donde se advierte que parte de la producción es comercializada directamente por pequeños y grandes productores en la Central de Abasto, Xochimilco y mercados públicos, a lo largo del año en la Ciudad de México.

Ciertos productores venden su cosecha en el mercado local de Villa Milpa Alta a pequeños y grandes intermediarios, debido al poco volumen que ofrecen o porque los precios pagados son similares a los existentes en la Central de Abasto; de tal forma surgen acaparadores quienes lo distribuyen en los estados de México, Tlaxcala, Puebla, Jalisco, Aguascalientes, Monterrey, Chihuahua e incluso Baja California. Cabe mencionar que en Semana Santa, por las costumbres religiosas aumenta tanto la demanda como el número de intermediarios.

En cuanto a la importancia de los mercados, aproximadamente 20% de la producción se vende en Milpa Alta y 70% en la Central de Abasto. Guadalajara y otros mercados circunvecinos a la delegación representan el 5% y el restante lo constituyen consumidores directos o acaparadores a pie de huerta.

Algunos estudios muestran que un mercado potencial podría ser Japón ya que desde 1980 importó nopal de Milpa Alta, aunque no se reporta cantidad.

DIAGRAMA 3.1 .Canales de comercialización del nopal verdura
(*Opuntia ficus Indica*) de Milpa Alta, D.F..



◊ Consiste en la venta directa al consumidor. Se efectúa en una venta que se extiende en el suelo y sobre ella el vendedor coloca los nopales además de otras verduras.

◦ Pequeños productores.

◐ Grandes productores.

FUENTE: El proceso de comercialización de nopal en Milpa Alta, Méx., (1985). U.A.M..

Ahora bien, existen condiciones que afectan la comercialización resaltando:

a) Oferta y demanda.- En época de máxima producción los mercados acostumbrados se saturan en virtud de la falta de organización de los productores y por uso inadecuado de canales de comercialización, originando que parte del nopal se utilice como abono verde porque no alcanza a ser vendida toda la cosecha y el precio no cubre la inversión. A diferencia en meses de bajo rendimiento, se presenta un aumento del precio de venta, haciendo al cultivo redituable. **ee.**

b) Comportamiento de la planta por efecto de factores climáticos de la región que reducen considerablemente los niveles de producción, como son: los cambios bruscos de temperatura en periodos cortos a lo largo del año, las heladas durante Otoño e Invierno causando quemaduras en el nopal, las lluvias de temporal que originan un engrosamiento anormal y menor crecimiento de los cladodios y la lluvia con granizo la cual provoca daños mecánicos superficiales.

c) Atributos de calidad (forma, tamaño, color, etc.), condicionados principalmente por las prácticas culturales aplicadas en la región y el poder adquisitivo de los productores.

d) Conflictos sociales derivados de problemas por tenencia de la tierra existentes en el sector Ejidal y Comunal, que si bien no afectan en lo fundamental a la producción nopalera si a la participación institucional limitando la obtención de

créditos. (22,47)

De lo anterior, los productores de Milpa Alta solicitan apoyo institucional para que a través de la investigación del manejo postcosecha del nopal aumenten sus alternativas de conservación y con ello comercialicen su producto en lugares más distantes a nivel Nacional e incluso exportarlo directamente.

**ANTECEDENTES
TECNICO-CIENTIFICOS**

4. ANTECEDENTES TECNICOS-CIENTIFICOS.

4.1 Aspectos fisiológicos generales de frutos y hortalizas.

Dada la complejidad fisiológica de los vegetales, solo se plantean brevemente algunos factores en general de frutas y hortalizas, puesto que no se cuenta con la información específica para el caso del nopal, con excepción de ciertos estudios orientados desde el punto de vista genético y de cultivo.

Los vegetales son organismos autótrofos; mientras están unidos a la planta, los aportes para su actividad metabólica se suministran con la savia que contiene agua y fotosintetatos como glucosa, sacarosa, aminoácidos y minerales, permitiéndole llevar a cabo reacciones necesarias para mantener la organización celular y transportar metabolitos, entre otros. (13)

El aporte de energía más importante se obtiene mediante respiración, aunque también existen otros mecanismos como fotosíntesis y fotorespiración que a su vez sirven para mantener la primera. (13)

En respiración se utiliza la energía química almacenada en tejidos, tales como polisacáridos, proteínas y lípidos..., siendo el sustrato normal la glucosa. Cuando es completamente oxidada, los productos finales son CO_2 , H_2O y ATP. La energía que no se conserva como ATP se libera como calor denominado "Calor de respiración". (14)

En dicho metabolismo catabólico de respiración se involucran cuatro secuencias principales (figura 4.1).

1. Degradación del material de almacenamiento, liberando sus principales sillares de construcción; los polisacáridos se descomponen en hexosas y pentosas, los lípidos en ácidos grasos, y las proteínas en aminoácidos. (22)

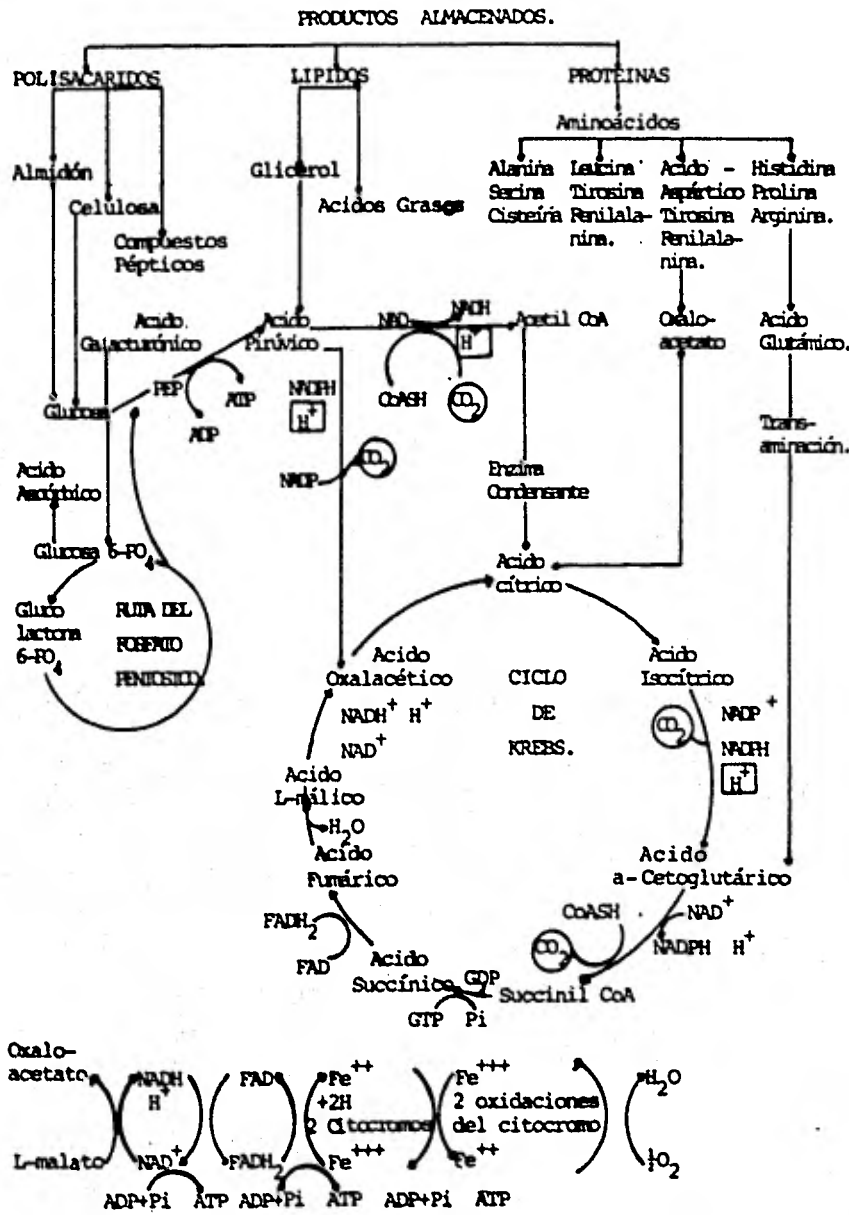
2. Los sustratos simples de la etapa anterior se degradan a unidades más sencillas de dos o tres átomos de carbono. En el caso particular de la glucosa, ésta se transforma en piruvato por glucólisis o vía de Embden-Meyerhof-Parnas (EMP), localizada en el citoplasma. (23)

3. Oxidación final del piruvato y otros elementos hasta CO_2 y H_2O , a través del ciclo de los ácidos tricarbónicos o ciclo de Krebs realizado en mitocondria. (23)

4. Transporte de electrones de cada sustrato combustible al oxígeno molecular, donde el ADP se fosforila para dar ATP; conocido como "fosforilación oxidativa". (23)

Existen otras rutas alternativas como el llamado "ciclo de las pentosas" llevado a cabo en citoplasma, que también puede participar en el metabolismo de carbohidratos pero en menor porcentaje.

FIGURA 4.1. Rutas metabólicas de la respiración.



Las rutas de respiración no son únicamente para producir energía, algunos compuestos importantes son sintetizados a partir de intermediarios glucolíticos y del Ciclo de Krebs, por ejemplo: glucosa 6-P sirve de sustrato para formación de ácido ascórbico; fosfoenolpiruvato se convierte en ácido clorogénico; acetyl CoA en fenoles o compuestos volátiles y la Succinil CoA en clorofila. (32, 33)

La respiración puede realizarse en presencia de Oxígeno (aeróbica) o en su ausencia (anaeróbica, algunas veces llamada fermentación).

Puesto que se consume oxígeno y se libera bióxido de carbono monitorear uno de ellos puede ser utilizado como índice de respiración de frutas y hortalizas. Si ésto se hace durante su desarrollo se obtiene un patrón respiratorio característico. (33). El análisis de estos gases indica el "Ritmo vital" aunque sería más apropiado llamarlo "Ritmo de muerte", ya que en forma figurativa los productos se consumirán asimismo a través de la respiración.

La actividad respiratoria se afecta por diversos factores, que pueden ser intrínsecos o extrínsecos. Entre los primeros se encuentran características de la planta como son: tipo de órgano, estado de desarrollo, composición química, tamaño del producto, cubiertas naturales; en los extrínsecos, se incluyen: temperatura, humedad relativa, etileno, O_2 y CO_2 , donde estos

tres últimos bien podrían ser productos del metabolismo. (32)

4.2 Algunos cambios metabólicos en senescencia de hortalizas.

Durante la ontogenia de frutas y hortalizas una etapa importante es cosecha, después de la cual aún persiste actividad fisiológica, pero como fotosintetatos y agua no son reemplazados, los productos tienden a perecer presentándose diversas alteraciones debido a reacciones catabólicas, iniciando con envejecimiento o senescencia y finalizando con la muerte del tejido.

Para aclarar los términos anteriores se considera como envejecimiento cualquier periodo que puede o no ir acompañado de cambios fisiológicos (33), o bien a la última parte del proceso de maduración, donde los cambios fisiológicos hacen al producto gradualmente vulnerable hacia la muerte. (34)

A diferencia, senescencia es proceso deteriorativo causante natural de muerte, marcado por cambios drásticos, aunque en hojas no está bien definido, e involucra variaciones graduales; y no siempre es posible separarla del proceso de crecimiento. (35)

De tal suerte, la senescencia en hortalizas es una respuesta a factores del ambiente (temperatura, O_2 , CO_2 , etc.) y a su adaptación a éstos. Los cambios que se manifiestan se encuentran en actividad respiratoria, transpiración, pigmentos y otros, los cuales se describen brevemente a continuación:

1. Respiración.

La actividad respiratoria generalmente tiende a disminuir,

sin embargo en algunos casos al principio se incrementa, como ocurre con el aumento climaterico en el caso de algunas frutas (25,23). Este comportamiento y su magnitud varían dependiendo del material y circunstancias. En algunos casos no se identifica tal incremento, debido a que el monitoreo de la velocidad de respiración no se hace con la frecuencia necesaria.

El coeficiente respiratorio (C.R. = ml. CO_2 producido/ml O_2 consumido) sirve para deducir la naturaleza del sustrato que se está utilizando, lo completo de la respiración y el grado en que el proceso es anaeróbico o aeróbico. En general si el C.R. es igual a 1 se están metabolizando azúcares; un C.R. mayor que 1, ácidos orgánicos y un C.R. menor a 1, puede deberse a que los sustratos son ácidos grasos o la oxidación no sea completa, o bien el CO_2 formado se está utilizando en procesos de síntesis (22,23).

2. Transpiración.

La transpiración se origina por existencia de gradientes en presión de vapor entre una atmósfera interna en los espacios intercelulares en altos niveles de saturación con relación a las condiciones externas. El vapor de agua es transportado en dirección de bajas concentraciones, inicialmente a través de poros naturales localizados en la superficie del producto. La velocidad del fenómeno depende de la diferencia de presión de vapor, temperatura y humedad relativa (2,26,23); es importante, ya que ocasiona una pérdida de peso conocida como "pérdida

fisiológica de peso", la cual debe ser considerada no solo por la merma en los productos, sino también porque causa marchitez, arrugamiento, enjutamiento y cambios de textura, en consecuencia la disminución del valor comercial. (36)

3. Cambios en pigmentos.

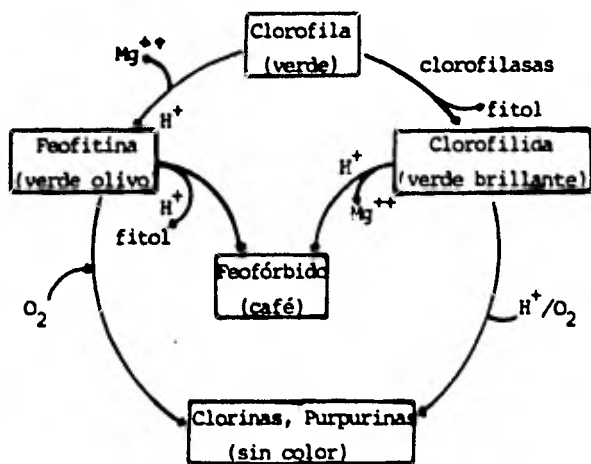
Los cambios mas aparentes son en color, lo cual puede deberse a procesos sintéticos, degradativos o ambos.

Se ha establecido que al inicio de la maduración el etileno actúa a nivel de RNA y DNA suspendiendo biosíntesis de clorofila. Aunado ello, se inicia la degradación de la molécula de clorofila ligada con descomposición de proteínas y posiblemente de lípidos. (37). Las principales rutas se esquematizan en la figura 4.2.

La clorofilasa cataliza hidrólisis de clorofila eliminando el grupo fitol de la molécula. La degradación de clorofila (pérdida de color verde) va asociada con síntesis o desenmascaramiento de colores que van del rojo al amarillo.

En el caso particular de los pigmentos en las hortalizas después de que las hojas alcanzan un tamaño completo, éstas no se someten a cambios evidentes sino hasta que su vida efectiva termina, entonces hay un abrupto y rápido deterioro de su contenido de clorofila evidenciándose cambio de color verde a amarillo. (38)

FIGURA 4.2. Algunas rutas de degradación de clorofila.



Fuente: Postharvest and introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables. Wills Lee, G.M., 1981. 123.

Por otra parte, el pH ejerce un efecto modificador importante. Los cloroplastos son sensibles a la acidez y puede ser que los protones liberados en oscuridad disminuyan el pH que rodea a los tilacoides y así favorezcan la acción enzimática. Además el CO₂ liberado podría adicionar acidez si los estomas están cerrados.

4. Proteólisis.

Al inicio de la maduración se presenta un aumento en síntesis de proteínas y disminución de éstas en senescencia, sugiriendo que los aminoácidos liberados por proteólisis son el

principal sustrato respiratorio; tal acción se relaciona con la pérdida de actividad fotosintética, debido a que ocurre algún tiempo después de estar en obscuridad. (23)

5. Cambios en ácidos nucleicos.

En las hortalizas en senescencia, se manifiesta disminución del RNA total y también del DNA. Aunque la síntesis del RNA continúa en cloroplastos, mitocondria, ribosomas y citoplasma aún cuando el aspecto sea de senescente. La pérdida del RNA puede deberse a la velocidad de síntesis o al incremento en la actividad de la RNAasa. El decremento del RNA está acompañado por la pérdida de ribosomas, proceso que aparentemente empieza cuando el crecimiento del producto ha cesado. (23)

6. Cambios en estructura fina.

Los primeros cambios microscópicos visibles en senescencia son a nivel de cloroplastos. En estos se reducen los depósitos de almidón característicos; los tilakoides pierden densidad y se forman gránulos osmofílicos cerca de ellos, los cuales provienen de los lípidos adyacentes. De manera similar, la mitocondria se contrae perdiendo su forma.

Las células de una misma hoja senescen a diferentes tiempos. Algunas membranas de los plastidios se degradan, mientras que en otros aún están presentes. Eventualmente el tonoplasto se altera y posteriormente el plasmalema. Si las vacuolas contienen hidrolasas éstas pueden atacar citoplasma, mismas que están normalmente unidas a las membranas en su parte interna,

probablemente desde ahí entran a la vacuola, otras provienen del retículo endoplasmico rugoso. Así, es evidente que tal debilitamiento y disolución de membranas produce cambios en permeabilidad de células y senescencia de tejidos, además de liberación de solutos. Según ciertos autores éstos cambios son resultado más que causa de senescencia. (32)

7. Cambios en la actividad enzimática.

Se exhibe un incremento en actividad de enzimas oxidativas e hidrolíticas como catalasa que se sugiere está presente en la producción de etileno. Enzimas que intervienen en la descomposición glucolítica y del ciclo de Krebs también aumentan su actividad. (32)

8. Cambios en los reguladores de crecimiento.

Se manifiesta disminución de auxinas, que son reguladores antagónicos al envejecimiento e impiden que los tejidos sean afectados por etileno; asimismo se tiene disminución de citoquininas retardando proteólisis y pérdida de clorofila en la obscuridad además de reducción en giberelinas que previenen degradación de clorofila y mantienen integridad mitocondrial. (33)

En contraste, hay aumento en ácido abscísico que tiene efecto opuesto a las hormonas anteriores, es decir, promueve senescencia, aunque no es la causa, si es un factor endógeno que promueve el proceso. (33). Por otro lado, existe elevación de etileno considerado como responsable directo del incremento en la velocidad de respiración, se conoce que promueve pérdida de

clorofila en frutos pero con pocas excepciones la mayoría de los investigadores han encontrado que tiene poco o nulo efecto en hojas en senescencia.

9. Cambios en compuestos pécticos.

La cohesión de células en tejidos disminuye, debido a que aumentan las pectinas solubles en agua y se reducen las fracciones insolubles, dando por resultado una fácil separación de células y en consecuencia ablandamiento del producto. Sin embargo, también puede presentarse una retención elevada de pectinas insolubles afectando la textura en forma contraria. (17)

4.3 Manejo postcosecha.

Para la conservación de frutas y hortalizas en fresco se requiere mantener los procesos vitales de estas y retardar en lo posible cambios de senescencia, de tal forma que dependiendo de las características fisiológicas específicas de cada producto y del destino de consumo, puedan ser sometidas a ciertas operaciones básicas o especiales, conformándose así el tratamiento postcosecha apropiado para prolongar al máximo la vida útil.

Como se menciona, un indicador de vida potencial de los vegetales es la velocidad de respiración, siendo índice de la medida del metabolismo. La velocidad respiratoria refleja rapidez del deterioro de calidad y valor nutritivo; si es elevada va asociada con una corta vida de almacenamiento. (18). (Tabla 4.1).

TABLA 4.1. Actividad respiratoria y periodo de almacenamiento de frutas y hortalizas a 15°C.

| PRODUCTO | ACTIVIDAD RESPIRATORIA (mg CO ₂ /Kg hr) | PERIODO DE ALMACENAMIENTO (semanas) |
|----------|---|--|
| Papa | 8 | 16 - 24 |
| Liaón | 20 | 12 - 20 |
| Manzana | 25 | 12 - 16 |
| Col | 32 | 4 - 8 |
| Lechuga | 200 | 1 - 3 |
| Plátano | 200 | 1 - 2 |

Por ello, en gran medida el manejo poscosecha se proyecta para reducir al mínimo la velocidad respiratoria. (37,34)

A continuación se plantean en general las operaciones básicas y/o especiales reportadas bibliográficamente para frutas y hortalizas, mencionando la forma en que tradicionalmente son aplicadas al nopal en el Centro de Acopio de Milpa Alta.

4.3.1 Cosecha.

La cosecha es prácticamente el inicio de la senescencia de las hortalizas, por tanto debe tratar de controlarse la pérdida de sus características cualitativas durante su manejo y comercialización.

Esta debe encontrarse sujeta a un índice de cosecha, el cual es específico en cada tipo de producto, basado en características que permiten definir con la mayor precisión posible el momento o estado fisiológico adecuado de recolección. (32), en función del

destino de venta del producto que puede ser local, para exportación o bien, procesamiento.

Una vez realizada la cosecha, hay que manejar el producto dentro de la huerta y concentrarlo en algún sitio hasta llevarlo al Centro de Acopio; durante estas acciones es en donde con mayor frecuencia se ocasionan los daños mecánicos. (32).

Los recipientes de cosecha tienen que hallarse limpios y adecuarse a las características físicas, químicas y fisiológicas del producto.

La cosecha puede ser manual, semimecánica y/o mecánica: en el primer caso, es llevada a cabo por personas que utilizan utensilios tales como cuchillos, escaleras, tijeras, pinzas, etc. Este método tiene la ventaja de ser selectivo en caso de que la maduración, color, tamaño, etc., no sean uniformes.

Para la cosecha semimecánica, se considera el uso de herramientas más sofisticadas como es el caso de plataformas, elevadores fijos o giratorios. Se recomienda para frutas y presenta la ventaja de ser útil cuando no se dispone de suficiente mano de obra. Sin embargo, requiere personal entrenado. (27, 28).

Finalmente, en la cosecha mecánica la mayor parte de la operación es realizada por máquinas a mayor velocidad, pero solo es exclusiva de cultivos con un estricto control de madurez y planeación en la selección y distribución de huertas, porque no es selectiva.

En el caso del nopal en Milpa Alta, la cosecha se realiza utilizando cuchillos y es transportada a los sitios de comercio en canastos o envasada en cilindros destapados por ambos extremos dentro de los cuales se acomodan aproximadamente 3000 unidades con un peso entre 300 y 350 kg., formando pacas denominadas bultos o amarres. (46, 47)

4.3.2 Operaciones básicas.

A fin de conservar la calidad de los vegetales y mejorar su apariencia después de realizada la cosecha, es necesario aplicar cierto tratamiento, en función de la especie, estado de madurez y destino, evitando exceso de manipulación. Tal acondicionamiento puede realizarse en un Centro de Acopio en donde el producto sea sometido a una secuencia de operaciones propias para su posterior transporte, venta y/o almacenamiento; denominándoseles en general Operaciones Postcosecha agrupadas en Operaciones Básicas y Operaciones Especiales. (32)

Dentro de las operaciones básicas se citan:

a) Recepción.

El manejo en el Centro de Acopio se inicia con la recepción de los diferentes productos que llegan en diversos recipientes incluyendo sacos, cestos, cajas, etc.. En forma paralela se realiza un control de ingreso y muestreo para verificar calidad. Al mismo tiempo se trata de evitar que el producto permanezca estancado por un lapso prolongado y sea sometido lo más pronto posible a las operaciones subsecuentes. El producto puede

recibirse por vaciado manual o bien mecánico, ya sea en seco o en corrientes de agua evitando daños mecánicos. (36)

En el caso particular del nopal, al Centro de Acopio de Milpa Alta llega ya sea en pacas, chiquihuites, mantas o costales, los cuales son colocados dentro del cuarto destinado para tal operación. Ocasionalmente los cladodios son vaciados sobre el suelo de donde posteriormente se recogen por desespina-dores.

b) Selección.

En esta operación se eliminan productos con defectos evidentes que no permiten su comercialización, entre otros los enfermos, atacados por insectos y aquellos que presentan daños mecánicos graves expresados como golpes, rasguños, cicatrices, abrasiones, etc.

La selección puede efectuarse manualmente con operarios que conozcan la especie, pudiendo utilizarse bandas transportadoras para la circulación de los vegetales. La eficiencia puede incrementarse con temperatura e iluminación apropiadas para visualizar bien todas las características.

Para el caso específico del nopal, la selección es realizada por los productores cuando cosechan, depositando en chiquihuites por separado los cladodios con malformaciones, cicatrices, picados por pájaros, etc. (37)

c) Limpieza.

Los consumidores exigen un producto limpio, con buen

aspecto, pero frecuentemente se ve afectado por contaminantes como tierra, ramas, hojas, insectos, hongos, residuos de insecticidas e incluso fungicidas; por lo tanto, es necesario aplicar la operación de limpieza, practicándose en seco o en húmedo. (32)

La limpieza seca es útil en productos suaves y delicados, tendientes a adsorber agua, porque resultaría contraproducente lavarlos ya que pueden sufrir deterioro por la mayor incidencia de microorganismos. (32). En ella se emplean cepillos giratorios, corrientes de aire o paños para frotar.

En limpieza húmeda, los materiales productores de espuma, detergentes y sustancias limpiadoras son base de componentes del lavado; algunos contienen desinfectantes o fungicidas. (32). Sin embargo, el lavado prolongado de frutos que adsorben agua con facilidad, la incapacidad de evitar material enfermo, la lenta reposición de agua limpia y empleo de agua sin desinfectantes pueden hacer nulas las ventajas del lavado, por tanto son necesarias variaciones en los métodos empleados dependiendo de la naturaleza de los vegetales. (32). Entre éstos se encuentran:

- Reajo o inmersión. Aplicado para productos que no pueden cepillarse porque perderían su aspecto brillante y en aquellos que no resisten trato más drástico. (32)

- Aspersión. Recomendable para vegetales pequeños redondos o cilíndricos y con cierta resistencia mecánica. (32)

- Flotación. Se utiliza en el lavado de hojas y se

fundamenta en diferencias de densidad de impurezas que se desean eliminar. (30)

- Cepillado húmedo. Su empleo es en ciertos frutos con superficie áspera, con residuos incrustados de insectos. En el lavado se utilizan cepillos suaves pero con dureza suficiente para limpiar sin dañar. (32)

Después de limpieza húmeda se efectúa el secado para remover el exceso de agua superficial de los vegetales, facilitándose con secadores de cepillos giratorios por transportadores de rodillos con esponja. Para evitar deshidratación se trabaja con velocidades bajas en los cepillos y un mínimo de calor.

Particularmente, la limpieza del nopal consiste en el desespinado, con un cuchillo se eliminan las espinas de ambas caras y recorta el canto (33), teniendo por objetivo facilitar su manejo práctico y aumentar la aceptación.

d) Clasificación.

La clasificación de frutas y hortalizas se hace porque muestran variaciones en atributos de calidad, debido a factores genéticos, ambientales y agronómicos. Esta se lleva a cabo considerando algunos aspectos más importantes contemplados en las Normas de Calidad; los grados de las mismas se basan en sanidad, tamaño, peso, color, forma, madurez, ausencia de materias extrañas, enfermedades, así como daños mecánicos y por insectos. Cualquiera que sea la clasificación el producto debe reunir las calificaciones mínimas establecidas y reconocidas a nivel

regional, internacional u otro.

En términos generales, las tres categorías establecidas por un protocolo de calificación pueden ser las clases "extra", clase 1 y clase 2. La clase "extra" es de calidad superior poseyendo forma, color de la variedad y sin defectos internos que afecten textura y sabor inherentes. Se admite una tolerancia del 5% (en número o peso) de errores. Para la clase 1 el 10% aceptando frutos individuales con ligeros defectos de forma, color y de apariencia o cualidades de conservación. La clase 2 puede tener algunos defectos externos o internos siempre que sean adecuados para consumirse en fresco.

La clasificación se efectúa en forma manual o mecánica. Para la primera se dispone de bandas o rodillos giratorios con canales y de cartas cromáticas. En cuanto a la mecánica, existen equipos clasificadores por color, peso o tamaño. (32)

En el Centro de Acopio de Milpa Alta la clasificación del nopal se practica manualmente en base al tamaño examinando su longitud colocándolos sobre mesas, manejando lo que se denomina nopal chico (12-17 cm.), mediano (17-22 cm.) y grande (22-28 cm.), quedando sujeto a las siguientes operaciones. (33)

e) Envasado.

El envasado de frutas y hortalizas frescas es otra operación básica que consiste en introducir estos productos en películas plásticas, redes, cajas, etc., según sea su naturaleza.

En general, los envases se clasifican como primarios y

secundarios. Los primarios se ponen en contacto directo con el alimento, mientras que los secundarios son cajas o envolturas exteriores que pueden contener envases primarios y ambos pueden utilizarse para transporte.

El envasado puede realizarse dependiendo principalmente de los costos y de la perecibilidad del vegetal.

Las principales ventajas son: protección contra daños mecánicos y ataque de microorganismos, evitar contaminación con polvo y por manipulación así como prevenir el marchitamiento al reducir la pérdida de humedad. Por el contrario, un incorrecto envasado puede acelerar el crecimiento de microorganismos o causar daños fisiológicos. (20)

El envase tiene muchas más ventajas si se utiliza como coadyuvante de la refrigeración, ya que bajo estas condiciones se reducen las pérdidas de producto a menos de la mitad al prolongar su vida útil. (21)

Un "envase adecuado" puede definirse como "un sistema que protege a los productos perecederos del daño físico causado por el manejo o plagas, cambios de temperatura y humedad, o de la atmósfera misma, la cual contiene elementos que favorecen el deterioro del producto durante transporte y almacenamiento". (22)

Algunos envases utilizados para productos frescos también son aplicados a productos mínimamente procesados, lavados, encerados, cortados, blanqueados, etc..

Un sistema de envasado nombrado "revolución quieta" que ha

ganado gran popularidad en Estados Unidos y Europa en los últimos diez años, es el envasado en atmósferas modificadas (MAP) o en atmósferas controladas (CAP)". (23).

Se estima que del 25 a 40% de los productos hortofrutícolas frescos cosechados no llegan hasta el consumidor debido al deterioro ocasionado por microorganismos y al excesivo manejo que ocurre durante su distribución. Cuando éste porcentaje se calcula considerando la producción total puede comprenderse el porqué las MAP y CAP pueden ser muy efectivas para conservar la calidad del producto que llega al consumidor. (23).

Diversos investigadores han intentado desarrollar un modelo matemático de las interacciones entre la respiración del producto y la atmósfera dentro del envase a fin de diseñar una MAP con bases analíticas que incluya todas las variables más importantes entre las sugeridas por Kader se encuentran:

- 1.- Efecto de las concentraciones de CO_2 y O_2 en la velocidad respiratoria.
- 2.- Posibilidad de que el coeficiente respiratorio no sea igual a uno.
- 3.- Permeabilidad de la película plástica al CO_2 y al O_2 .
- 4.- Efecto de temperatura en la permeabilidad del envase.
- 5.- Área superficial y espacio de cabeza del envase.
- 6.- Resistencia del producto a la difusión de gases a través de él.
- 7.- Atmósfera óptima para conservar las características de

interés del producto.

Además, para que el modelo sea de máxima utilidad debe reconocer cuando, ciertas concentraciones dañen al producto y si éstas pueden alcanzarse antes o durante el equilibrio. (22).

De acuerdo a la investigación bibliográfica realizada, puede decirse que hasta la fecha ningún modelo matemático para frutas y hortalizas en películas plásticas ha integrado todos éstos aspectos; sin embargo, pueden auxiliar para la adecuación de un envase.

En el envasado del nopal en Milpa Alta se ocupan películas plásticas de polietileno cerradas con ligas y dependiendo de su tamaño es el número de unidades introducidas.

4.3.3 Operaciones especiales.

Con respecto a las operaciones especiales, se describen las que son aplicadas frecuentemente a los productos hortofrutícolas.

a) Preenfriamiento.

Es una operación que permite eliminar calor de campo a fin de reducir la actividad metabólica lo más pronto después cosechar, como consecuencia mantener la calidad del producto prolongando el periodo de comercialización (32,32). Estos resultados pueden obtenerse mediante diversos métodos de preenfriamiento que actualmente se emplean a nivel comercial, destacando: el preenfriamiento con agua fría (hydrocooling), vacío (vacuum cooling), con aire frío (air cooling), y estratificación con hielo troceado (top and body icing).

Cada una de las modalidades mencionadas requiere de ciertas exigencias técnico-económicas las cuales tienen ventajas y desventajas que provocan determinados efectos en la calidad del producto, concomitantemente influyen en la conservación, transporte y comercialización de las diversas especies a las que se aplican.

b) Control de enfermedades.

Para esta operación se recomienda el uso de fungicidas en dosis racionales, resultando de gran utilidad para el control de microorganismos durante la comercialización de las frutas y hortalizas. Los fungicidas, que han de ser de inocuidad comprobada, pueden aplicarse en la superficie de los productos, sobre los cortes o heridas, impregnando los envases, añadiéndolos a sus recubrimientos protectores o gaseando los locales de almacenamiento. (20,31)

c) Aplicación de películas cubrientes.

Mediante películas aplicadas directamente sobre la superficie de los productos hortofrutícolas se puede aminorar la actividad respiratoria, contribuyendo a frenar la evolución fisiológica y al mismo tiempo reducir la pérdida de peso y el marchitamiento por una menor transpiración.

La superficie de los vegetales suele cubrirse con ceras que se utilizan con precaución a fin de evitar que los recubrimientos sean impermeables al intercambio gaseoso, ya que de lo contrario se produciría asfixia, que conlleva a fermentación y muerte de

los tejidos. (20)

El encerado tiene especial importancia si en la superficie de la fruta o verdura hay presentes pequeñas lesiones, ya que éstos pueden sellarse mejorando la apariencia general al proporcionar mayor brillo. Las ceras se pueden aplicar en espuma, por aspersión, inmersión o con cepillos. Con frecuencia se añaden a las fórmulas fungicidas o bactericidas para dar protección contra microorganismos. (22)

d) Aplicación de antioxidantes.

Los vegetales están constituidos por tejidos biológicamente activos y contienen un gran número de enzimas. Algunas de éstas inducen el oscurecimiento de tejidos cuando han sufrido daño físico, se exponen al aire y luz. Las enzimas involucradas pertenecen a las "fenolasas" cuyo nombre genérico agrupa a: polifenoloxidasas, oxidasas, fenolasas, tirosinasas o catecolasas. (23)

Los métodos comerciales más comunes para controlar oscurecimiento enzimático incluyen: tratamiento térmico, que cambia drásticamente textura de tejidos; uso de sulfitos, que han sido prohibidos por la "Food and Drug Administration" de E.U.A.; eliminación de oxígeno, proceso costoso porque se tendría que envasar al vacío y por último, aplicación de ácidos. (24, 25)

Existen diferentes ácidos comerciales málico, fosforico, cítrico y ascórbico. Los ácidos ascórbico y cítrico pueden inhibir enzimas por su capacidad reductora, la interacción

directa con la enzima o bien mediante un mecanismo mixto en el que influyen estos dos factores. Los buenos quelantes (por ejemplo el ácido cítrico) además de reducir el pH, tienen la propiedad de secuestrar iones cobre necesarios para el funcionamiento de fenolasas. (42)

Según datos reportados por la S.A.R.H. (1986) (43), para evitar el oscurecimiento enzimático en el nopal, los cladodios desespinaados se deben sumergir en una solución de ácido cítrico al 0.6% durante 3-4 minutos, que es la forma como se aplica el antioxidante en el Centro de Acopio de Milpa Alta. Posteriormente para eliminar el excedente de la solución, los nopales se colocan sobre cajas de madera durante aproximadamente 60 minutos.

4.3.4 Almacenamiento de frutas y hortalizas.

Como parte del manejo postcosecha de frutas y hortalizas lo que sigue a la aplicación de operaciones básicas y/o especiales es el almacenamiento.

Este se basa en el manejo de condiciones ambientales a fin de reducir cambios que van en detrimento de la calidad y también en que los productos hortofrutícolas pueden presentar un comportamiento muy variable durante el mismo. (44)

Diversos factores influyen en el almacenamiento y son responsables de las diferencias en los tiempos de permanencia haciéndose necesario un control regular y cuidadoso suado a un muestreo adecuado para determinar en forma particular cuando finalizares. (45)

Es importante enfatizar que para el caso del nopal en el Centro de Acopio de Milpa Alta, el almacenamiento no se lleva a cabo, ya que después de haberlo sometido a las operaciones postcosecha citadas se coloca en cajas de plástico estibándolas durante algunas horas a temperatura ambiente antes de enviarlas al mercado.

De acuerdo a lo especificado por Saucedo (39,40), el nopal puede almacenarse a 10°C pero no a temperaturas menores porque se desarrolla daños por frío. Para el manejo de problemas de frío existe en la literatura el "hardening" (término que no tiene traducción literaria al español, comúnmente se refiere al proceso que provee resistencia o tolerancia al enfriamiento a especies sensibles) (30), entre otros aspectos incluye el uso de coadyuvantes de refrigeración.

Los periodos de conservación por almacenamiento refrigerado dependen de las características propias del vegetal, tales como: actividad respiratoria, transpiración y estado de madurez; de su calidad, estado sanitario óptimo y valor nutritivo, admisibles comercialmente (28,23); como también, condiciones de las cámaras de refrigeración, las cuales se exponen brevemente a continuación:

a) Temperatura.- Es uno de los elementos más importantes para controlar la velocidad respiratoria.

Una baja temperatura inhibe, aunque en forma desigual, los diferentes procesos que intervienen en las reacciones

catabolicas, es:

- Disminuye la actividad respiratoria, la cual se duplica o triplica por cada 10°C ($Q_{10} = 2$ ó 3) inmediatamente arriba del punto de congelación hasta temperaturas que inducen daños por calor, entonces decrece hasta cesar en el llamado "punto térmico mortal". (1, 33)

- Afecta actividad enzimática retardando las reacciones responsables de cambios de calidad, por ejemplo: la rapidez con que se deshidratan o marchitan, suavizan, cambian de color, sabor, aroma, etc. (1, 1)

- Reduce las pérdidas de compuestos útiles (azúcares, vitaminas, etc.), y las derivadas de la transpiración (pérdida de peso). (1, 1)

- Altera la actividad microbiana. El frío no mata a los microorganismos solo inhibe su desarrollo, más debido a la reducción de la evolución del producto que en forma directa (1, 7). En el caso de algunas bacterias la influencia de la temperatura es tan grande que el valor del coeficiente de temperatura (Q_{10}) es del orden de 10. (1, 33)

- El frío en el caso de hongos inhibe germinación de esporas presentes en la superficie de los productos, pero cuando germina el hongo aclimatado a las bajas temperaturas, se desarrolla. (33)

En teoría entre más baja sea la temperatura en el almacenamiento de una fruta u hortaliza (sin alcanzar la congelación) mayor será su tiempo de conservación. No obstante,

algunas especies manifiestan el llamado daño por frío cuando se someten a temperaturas entre 0 y 10°C aproximadamente, tal fisiopatía además de reducir la calidad, acelera el deterioro. Puede no observarse mientras los productos permanecen a baja temperatura pero volverse evidente cuando se transfieren a condiciones ambientales.³⁰. Sin embargo, existen evidencias en cuanto a técnicas o métodos que atenúan o evitan, hasta cierto punto el daño por frío como son las atmósferas controladas, entre otros.

b) Humedad relativa.- Otro factor es el porcentaje de humedad relativa, definida como el cociente entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la que este contendría si se encontrara saturado a la misma temperatura y presión atmosférica.^{30,33}

La humedad del aire es un factor de gran trascendencia en la transpiración, cuánto más elevada sea, más reducidas serán las pérdidas de humedad hasta que estas serían nulas en un ambiente con 100% de humedad relativa, (saturación). Sin embargo, existen limitaciones ya que ambientes muy húmedos favorecen el desarrollo microbiano e incluso algunas fisiopatías. Se recomienda como buena práctica, con carácter general, humedad relativa del 85 al 90%.^{30,33}

Es importante resaltar que la humedad expresada como humedad relativa solo puede compararse con otra bajo las mismas condiciones de temperatura y presión, ya que a mayor temperatura

del aire aumenta su capacidad para evaporar agua y retener vapor del mismo, de tal forma que dos almacenes con igual humedad relativa, pero diferente temperatura, contendrán distintas cantidades de vapor de agua y por lo tanto provocarán desiguales pérdidas de humedad.

c) Circulación del aire.- Con este factor las condiciones internas de la cámara se homogenizan para conseguir constancia y uniformidad de temperatura y humedad relativa alrededor de los productos, evitando así puntos de aire estancado. (22,23)

Mientras mayor sea el volumen de aire circulado por minuto, más alta será la humedad debido a que la diferencia de temperatura entre el aire que entra en contacto con la superficie enfriante y el que la deja para circular por el cuarto disminuye y ello reduce la condensación del vapor sobre la superficie enfriante. Más no se debe confundir el volumen de aire circulado (m^3/min) con la velocidad (m/min), ya que mientras en un sistema cerrado al elevar el primero aumenta la humedad y por lo tanto, se reduce la transpiración y el marchitamiento, al incrementar la velocidad del aire a una humedad constante la transpiración y la desecación es mayor porque se favorece la difusión de vapor de agua del interior del producto al exterior. Sin embargo, altas velocidades de aire producen un enfriamiento agilo, al reducirse rápidamente la temperatura del producto se evita la excesiva pérdida de humedad. (22)

d) Renovación del aire.- En el caso de frutas y hortalizas

que liberan como parte de su metabolismo sustancias de naturaleza diversa, es necesario llevar a cabo esta operación. El aire que se introduzca deberá ser no contaminado, acondicionado si es posible para alcanzar temperatura y humedad relativa iguales a las de la cámara. Cuando no es necesaria la renovación intensa, se podrá efectuar abriendo periódicamente la puerta del almacén previniendo cambios sensibles de temperatura. (23)

e) Densidad de almacenamiento y estiba.- Como norma general se recomienda una densidad de 200 a 300 kg/m³ útil, que dependerá de la naturaleza del producto, así como de su embalaje.

Las estibas no deben hacerse nunca directamente sobre el suelo, sino sobre tarimas de madera (de preferencia normalizadas) que permitan buena circulación del aire.

En cámaras de almacenamiento, la carga se distribuye formando pasillos para la fácil manipulación y adecuada circulación del aire orientándolos en la dirección que siga la corriente del mismo. (24, 25)

Citados los factores de importancia en el almacenamiento de frutas y hortalizas, considerando su período de duración se tienen:

Almacenamiento a corto plazo.- Puede ser a condiciones ambientales o en bodegas, controlando ventilación y estibamiento. El lapso comprende días o hasta dos semanas.

Almacenamiento a mediano plazo.- Se realiza a temperaturas de refrigeración y humedad relativa controladas. El plazo va de 2

a 6 semanas, controlando que la temperatura no induzca daños fisiológicos.

Almacenamiento a largo plazo. - También es en refrigeración pero con coadyuvantes como son las atmósferas modificadas (AM) o controladas (AC) o el almacenamiento hipobárico. El tiempo se prolonga hasta 6 semanas o más. (31)

De acuerdo a las condiciones del almacenamiento se le identifica como de campo, a temperatura ambiente, hipobárico, refrigerado, de atmósfera controlada y/o modificada. Estos tres últimos implican variación en temperatura, CO₂ y O₂, entre otros factores. Algunos de ellos se abordan a continuación.

4.3.4.1 Almacenamiento refrigerado.

El principio que rige la refrigeración es la extracción de calor del cuerpo el cual está a temperatura mayor que la que lo rodea, puede ser extracción del calor sensible o de calor latente en el caso de congelación. El proceso permite conservar las características del producto en fresco por largos periodos, facilitando consumir algunos aun fuera de la temporada de producción. (32)

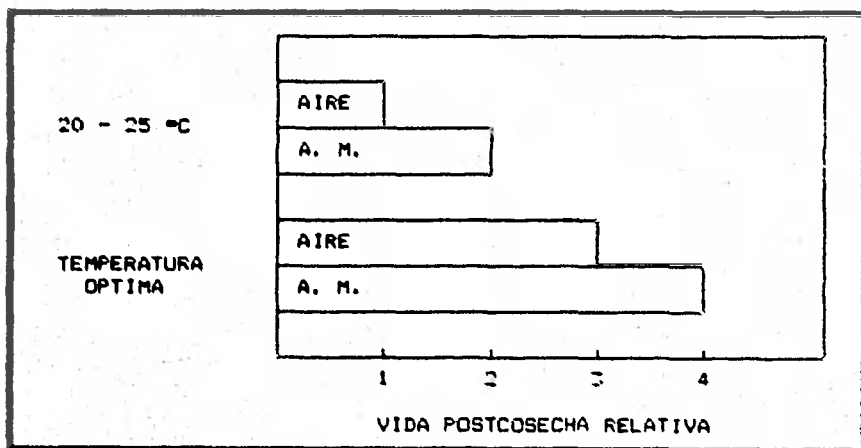
En el almacenamiento refrigerado, la temperatura debe tratar de mantenerse constante durante todo el tiempo, ya que para ciertas frutas y hortalizas, variaciones del orden de +/- 1°C, pueden tener graves consecuencias. Si no es posible en la práctica comercial reservar una cámara para cada especie y variedad, se proporcionará una misma para productos de especies

diferentes pero compatibles con temperatura y tiempo de conservación. (31,33)

4.3.4.2 Almacenamiento en atmósferas controladas o modificadas.

El envasado de productos frescos permite el desarrollo de una atmósfera modificada, llamada MAP (Modified Atmosphere Packaging), prolongando su conservación.

GRAFICA 4.1. Vida postcosecha relativa de productos frescos almacenados, envasados en aire o en sus atmósferas modificadas óptimas a temperatura ambiente de 20-25°C o a temperatura óptima (cerca de 0°C para productos sensibles al frío).



Técnicamente las A.C. o A.M., implican adición y/o remoción de gases resultando en una composición diferente a la del aire (78.08% N₂, 20.95% O₂, 0.03% CO₂); involucra aumentos en la concentración de CO₂, disminución de la concentración de O₂ y ajuste con N₂. La diferencia entre A.C. y A.M. está dada por el

grado de control de los niveles de gases (21). Si se mantiene un estricto dominio de éstos se conoce como atmósfera controlada, mientras que atmósfera modificada es un término usado para designar cualquier atmósfera artificial, aunque con frecuencia se emplea cuando hay poca o ninguna posibilidad de hacer ajustes en la composición del gas durante el almacenamiento. (22)

El empleo de las atmósferas modificadas deberá ser considerado como un complemento y aditivo de refrigeración. Los beneficios o riesgos potenciales dependen principalmente de la especie, variedad, estado fisiológico, composición atmosférica, temperatura y período de almacenamiento. Estas atmósferas pueden ser usadas para el transporte y almacenamiento temporal o prolongado de productos hortofrutícolas destinados al mercado en fresco o con fines de procesamiento. (23)

Generalmente, el efecto más importante de reducir O_2 y aumentar CO_2 en la atmósfera circundante a los frutos y hortalizas es la disminución de su velocidad respiratoria. Sin embargo, existen otros factores que deterioran al producto fresco y pueden afectarse directa o indirectamente por las atmósferas modificadas, como son:

1. Cambios metabólicos (asociados con el metabolismo respiratorio, biosíntesis y acción del etileno y composicionales).
2. Daños mecánicos.
3. Pérdida de agua por transpiración.

4. Desórdenes fisiológicos.

5. Ataque por microorganismos.

1. Cambios metabólicos.- La disminución del nivel de O_2 alrededor de un producto hortofrutícola reduce su velocidad de respiración en proporción a la concentración de gases, pero dependiendo de la especie se requiere como mínimo de 1-3 % O_2 para evitar que la respiración aeróbica cambie a anaeróbica. (17). Esta última también denominada fermentativa, es consecuencia de un nivel de oxígeno excesivamente bajo. El producto desarrolla sabores desagradables a medida que las sustancias, en particular alcoholes y acetaldehído, se acumulan en sus tejidos dañando y provocando la muerte del producto. (22).

Elevadas concentraciones de CO_2 también reducen la velocidad de respiración en frutas y hortalizas, pero arriba de un nivel del 20%, dependiendo de la especie y la concentración de O_2 , el CO_2 puede causar la respiración anaeróbica. (17).

Somer (22) sugiere que un aumento del CO_2 superior al 5% suprime notoriamente respiración y además el daño del producto va acorde al tiempo y temperatura de exposición.

Los efectos de la reducción de O_2 y elevación de CO_2 son aditivos (22, 24). Las atmósferas con poco oxígeno y mucho bióxido de carbono comúnmente usadas, contienen de 2-4 % de O_2 y entre el 5-7 % de CO_2 generando un efecto que no podría ser logrado simplemente con la modificación atmosférica de solo uno de ellos. Se requeriría probablemente de 1% o menos de oxígeno para lograr

la disminución similar del ritmo respiratorio. Respecto al CO_2 , sería necesaria una proporción del 15-20% o más para igualar el efecto combinado. (12).

La reducción de los niveles de oxígeno por abajo del 8%, disminuye la producción y sensibilidad de las frutas y hortalizas al etileno, ya que se ha demostrado que el oxígeno se requiere para su síntesis y acción. (13).

Por otro lado, elevadas concentraciones de CO_2 pueden reducir, promover o no tener efecto en la producción de etileno, dependiendo de la especie y la concentración. Se propone que el incremento de etileno por algunas especies durante y/o después de la exposición al CO_2 ocurre solo cuando la concentración de éste es suficientemente alta para causar daños fisiológicos en el tejido. No se sabe si tal aumento de etileno es debido a un cambio parcial a condiciones anaeróbicas u otros mecanismos. (14).

Con relación al efecto de las MAP en la expresión de los cambios composicionales que influyen en el color, textura, sabor y valor nutritivo, algunos pueden ser deseables, otros no resultando en perjuicio de la calidad. Una atmósfera modificada disminuye la velocidad de pérdida de clorofila (color verde) y biosíntesis de carotenoides (colores amarillo y naranja) en frutos y hortalizas. Se ha observado que una elevación de CO_2 inhibe producción de fenólicos y actividad de polifenol oxidasa en algunos productos, pero cuando se regresan al aire normal, continúa el oscurecimiento. (15).

Por lo que respecta a la textura, una A.M. retarda degradación de sustancias pécticas y consecuentemente el ablandamiento. En cuanto al aroma niveles elevados de CO_2 inhiben producción de volátiles; y al sabor, éste se ve influido por los cambios en carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas, aminoácidos, lípidos y compuestos fenólicos. El almacenamiento en A.C. reduce las pérdidas de acidez en frutas frescas, pero también se ha reportado en diversos vegetales el incremento de pH (disminución de acidez que sigue a la exposición a elevadas concentraciones de CO_2).

La influencia de las A.M. en el valor nutritivo se refleja en una mayor retención del contenido de ácido ascórbico comparado con frutas y hortalizas almacenadas en aire.

Las A.M. previenen enraizamientos, crecimientos, elongaciones, curvaturas y germinación (en raíces y tubérculos), los cuales son desórdenes que se acompañan por un incremento en rigidez y disminución de palatabilidad.

2. Daños mecánicos. - Diversos tipos de daños mecánicos como son las lesiones en la superficie, los impactos y las magulladuras son parte inherente del deterioro, ya que además de afectar apariencia, también aceleran la pérdida de agua, proporcionan puntos de entrada a microorganismos y estimulan producción de CO_2 y etileno. Una A.M. no afecta directamente en la incidencia de estos daños, pero si en forma indirecta al disminuir velocidades de respiración, producción de etileno,

etc., pueden ayudar a minimizar las pérdidas del producto. (17)

3. Pérdidas de agua por transpiración.- La pérdida de agua es una de las principales causas de deterioro, ya que además de causar mermas en peso, también resta calidad en apariencia, textura y valor nutritivo. Las MAP no influyen directamente pero contribuyen al mantenimiento de una adecuada humedad relativa dentro del envase, teniendo un menor déficit de humedad, comparado con el almacenamiento en aire. (14)

4. Desórdenes fisiológicos.- Como se citó anteriormente, los desórdenes fisiológicos resultan de la exposición a niveles inadecuados de temperatura, etileno, CO_2 y O_2 . Las A.M. pueden reducir, inducir o agravar tales desórdenes.

- Desórdenes atenuados por CO_2 : la elevación del nivel de CO_2 se ha asociado con la reducción de los daños por frío en algunos productos. Tal vez un apropiado control de temperatura sería la parte más importante de un buen manejo postcosecha. Sin embargo, los límites de tolerancia pueden ser rebasados ligeramente con las MAP. (17)

- Desórdenes agravados por A.M.: En algunos productos se ha observado que las AM agravan los síntomas de daño por frío si se almacenan a temperaturas bajas. (17)

- Desórdenes inducidos por A.M.: la exposición de frutas y hortalizas a niveles inferiores o superiores a los de tolerancia para O_2 y CO_2 , provocan diversos desórdenes fisiológicos (17). Es factible inducir daños aun con los niveles recomendados, si el

tiempo de almacenamiento se prolonga más de lo permitido (22). Las alteraciones incluyen maduración inadecuada de frutos climatéricos; oscurecimiento interno o externo; y picado. Sin embargo, el mecanismo de éstos daños aún no se conoce. (17)

5. Ataque por microorganismos. - En general, los vegetales cosechados presentan resistencia potencial considerable a patógenos durante la mayoría de su vida postcosecha. El comienzo de la maduración de frutas y la senescencia en cualquier especie, así como los daños mecánicos los hace más susceptibles de ser atacados. Las A.M. retardan senescencia y en consecuencia reducen tal susceptibilidad (17), es decir, actúan en forma indirecta. También es posible un efecto directo, puesto que los hongos respiran como las frutas y hortalizas, un descenso del oxígeno o aumento en el bióxido de carbono puede suprimir su crecimiento. (22)

La disminución en la actividad de hongos obtenida en una atmósfera de oxígeno al 2% es pequeña, con frecuencia no mayor del 15%, menos de como se desarrolla en una atmósfera normal (21% de O_2). Cuando el oxígeno se hace descender al 1% se logran reducciones importantes en el desarrollo de hongos, pero desafortunadamente ese nivel se considera demasiado bajo para ser seguro, porque puede favorecer fermentación.

La adición de 10 a 15% de bióxido de carbono a 5°C, afecta comúnmente tanto al producto como a los patógenos. Sin embargo, aún cuando los hongos se eliminan con niveles altos de CO_2 (por

ej. de 10 a 20%), muchos se desarrollan en forma precaria en su ausencia, porque ciertas enzimas se consideran involucradas en la fijación del bióxido carbonico dentro de las células fungosas.

El efecto combinado del O_2 y el CO_2 es aditivo para anular la respiración del hongo, ya que éste se vé poco afectado por acción individual de cada gas. (es).

OBJETIVOS

5. OBJETIVOS.

Objetivo general:

Implementar un manejo postcosecha a través de las operaciones básicas, en especial la limpieza (desespinado) y envasado así como el almacenamiento en refrigeración que permita prolongar la vida útil del nopal Opuntia ficus indica procedente de Milpa Alta, D.F..

Objetivos particulares:

1. Comparar el tratamiento postcosecha empleado en el Centro de Acopio de Milpa Alta D.F., con otro que presente modificaciones en las operaciones básicas de mayor trascendencia para su conservación en fresco.
2. Uso de un envase como coadyuvante del almacenamiento refrigerado que contribuya a incrementar la vida útil.
3. Evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento en el nopal sometido a diferentes tratamientos.

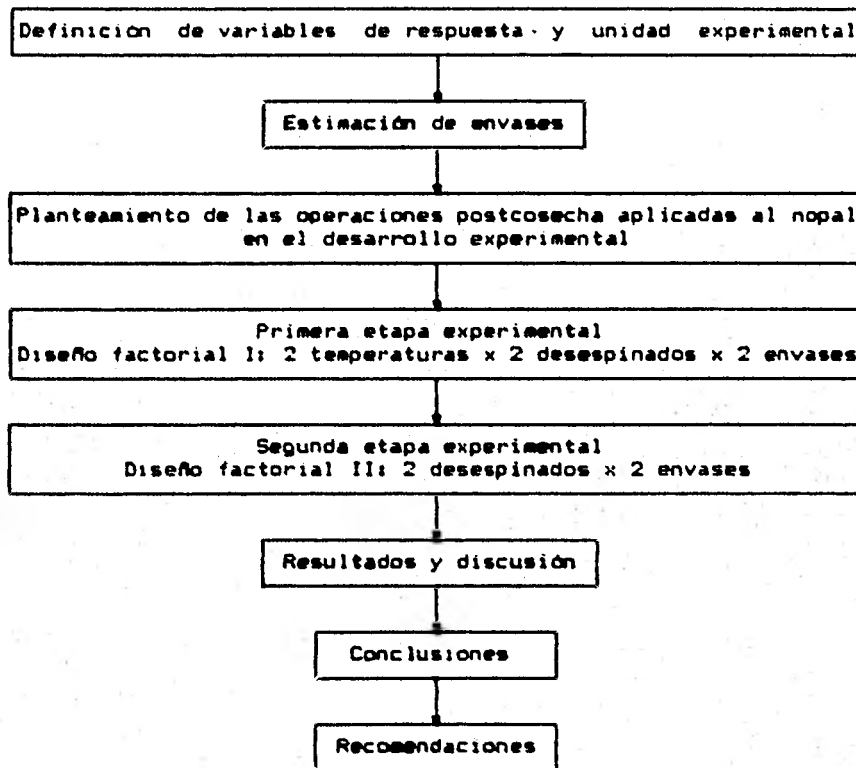
METODOLOGIA

6. METODOLOGIA.

6.1 Secuencia metodológica.

Para cubrir los objetivos planteados se propuso la secuencia metodológica descrita en el diagrama 6.1.

DIAGRAMA 6.1. Secuencia metodológica general.



6.1.1 Definición de variables de respuesta y unidad experimental.

Con el fin de cumplir los objetivos y planteamiento del diseño experimental, se consideraron aspectos fisiológicos señalados en el punto 4, designando algunas características del nopal a utilizar como variables de respuesta; evaluando experimentalmente el comportamiento que presentaban durante la evolución del producto hacia su muerte y la factibilidad de analizarlas, ya que de esto dependería que pudieran utilizarse como indicadores del efecto que tendría la aplicación de los tratamientos postcosecha.

En este experimento se ocuparon 96 nopales procedentes de la delegación Milpa Alta, que fueron desespinaados de manera tradicional, agrupándose en unidades de 3 nopales, de los cuales 16, se introdujeron en bolsas de polietileno (mismas que se utilizan en el Centro de Acopio de la región), y se cerraron con una liga; la diferencia se mantuvo expuesta al ambiente. Para calcular pérdida fisiológica de peso, se emplearon 3 unidades envasadas y 3 sin envasar, las restantes permitieron la determinación de clorofila, vitamina "C" y apariencia.

Las evaluaciones se llevaron a cabo diariamente durante el periodo de vida útil del nopal a temperatura ambiente (24-26 °C). Se efectuaron análisis tanto a muestras obtenidas de la unidad experimental con tres nopales como a partir de un nopal, con la finalidad de conocer el efecto que tenía su origen.

Las variables de respuesta y observaciones hechas para considerarlas se describen a continuación. Las técnicas de análisis se reportan en el apéndice correspondiente.

| VARIABLES DE RESPUESTA | |
|---|---|
| Paramétricas: | No paramétricas: |
| <ul style="list-style-type: none"> - Vitamina C. - Clorofila. - Pérdida fisiológica de peso. - Patrón respiratorio. - Consumo de O₂ y producción de CO₂. | <ul style="list-style-type: none"> - Apariencia. - Oxidación. - Ataque por microorganismos - Textura. - Daños por frío. - Daños por CO₂. |

6.1.1.1 Variables paramétricas.

a) Vitamina C: Al respecto, el valor nutritivo de un producto no necesariamente es determinante en la aceptación del consumidor. Sin embargo, la retención de nutrientes es un atributo de calidad que sirve para evaluar tratamientos de conservación de hortalizas (22). En términos de disminución del valor nutritivo por vitaminas, la pérdida de vitamina C es la de mayor importancia ya que se toma como referencia nutricional debido a que es conocida como la más lábil y por tanto si se encuentra presente después de aplicar algún tratamiento, las otras de igual manera estarán (21).

En base a lo anterior, se propuso determinar la retención de ácido ascórbico en el nopal por su alto contenido en comparación con el de otras vitaminas presentes (Apéndice A).

b) Clorofila: Hipotéticamente al envejecer el nopal se espera como tendencia la degradación de clorofila concomitante pérdida de color verde, por lo que una disminución indicará que el proceso de senescencia se está retardando y ello dependerá del tratamiento postcosecha.

c) Pérdida fisiológica de peso: Se define como la cantidad de agua perdida por transpiración depende de factores internos relacionados con la naturaleza, características de la especie (composición, tamaño y forma que determinan la superficie expuesta) y de factores del ambiente (humedad relativa, temperatura y movimiento del aire). Es mediante el control de estos últimos que se podrán reducir las pérdidas de peso, debidas a disminución de humedad, lo cual se relaciona a su vez con cambios de textura y apariencia del producto. (22)

d) Patrón respiratorio: La velocidad de respiración de los productos hortofrutícolas se relaciona con su vida potencial en forma inversa, de tal manera que a mayor velocidad de respiración menor tiempo de vida útil. (23). Conociendo su importancia para retardar el envejecimiento de los vegetales, se propuso determinar el patrón respiratorio del nopal.

e) Consumo de O_2 y producción de CO_2 : Son datos necesarios para conocer concentraciones críticas de estos gases, mismas que se consideran para la estimación de los envases. Tales niveles son críticos porque cuando se rebasan, el vegetal acelera su deterioro presentándose daños por intoxicación (oxidaciones,

picaduras, olores extraños, etc.).

6.1.1.2 Variables no paramétricas.

a) Calidad (apariciencia): En el caso del nopal no se han establecido normas reconocidas que aseguren que al comprador adquirir cierta calidad mínima estándar. Durante el desarrollo de la tesis se emplearon diferentes atributos para definirla en función de apariciencia, involucrando ataque por microorganismos, textura, daños por frío y/o por CO₂ (Apéndice J).

a.1) Oxidación: Con éste parámetro se calificó sensorialmente el aumento de la actividad enzimática, en especial de fenolasas, cuyas manifestaciones se denotan como manchas café rojizo en la epidermis eliminada por el desespinado.

a.2) Microorganismos: Con el efecto de la limpieza de los cladodios y su actividad metabólica, se incrementa la susceptibilidad al ataque por microorganismos. Esto es importante debido a las repercusiones en apariciencia, puesto que se presentan puntos y zonas negras acuosas en la superficie y en ocasiones otros síntomas.

a.3) Textura: Entre los aspectos indicadores de textura se encuentran cierto grado de turgencia y rigidez del producto.

Su textura suele variar por el grado de madurez y tratamiento postcosecha aplicado. Por lo tanto, puede considerarse como un índice de la frescura del nopal y de su estado fisiológico, ya que al envejecer y perder humedad se tornará más flácido.

a.4) Daños por frío: Otro aspecto que manifiesta el efecto de la refrigeración es ésta fisiopatía cuyos síntomas en general son: picado (zonas necróticas), hidrosis (depresiones acuosas), cambios de color, etc., los que enfatizan la importancia del almacenamiento a temperaturas específicas para cada producto. (33, 34)

a.5) Daño por CO₂: Para evaluar el efecto del envase en la calidad del nopal se determinan el CO₂ y O₂, puesto que pueden fluctuar hasta niveles dañinos expresándose en respiración anaeróbica; desarrollo de aromas por la acumulación de etanol y acetaldehído; oscurecimiento externo y/o interno, picado superficial, etc. (17, 24)

Para la evaluación de las variables no paramétricas se aplicaron los cuestionarios que aparecen en el Apéndice J.

6.1.2 Estimación de envases.

A temperatura ambiente y de refrigeración se registró el patrón respiratorio del nopal. Asimismo para reconocer las concentraciones críticas de O₂ y CO₂, se monitoreo el consumo y producción de los mismos.

Para ello se montaron cámaras de respiración herméticas, utilizando frascos de 4 litros, tapa de metal recubierta de corcho internamente y con orificio en el que se colocó un tubo de cobre conectado a una manguera y válvula para tomar muestra gaseosa. La tapa fué sellada por el exterior aplicando silicón.

Considerando que el volumen de aire necesario para el

análisis era de 100 ml, se requirieron 8 cámaras cubriendo los análisis por lo menos durante 8 días efectuados diariamente, por cuadruplicado a partir de 2 de ellas (2 muestras de cada una, extrayendo como máximo 4).

Las concentraciones críticas obtenidas en refrigeración, se tomaron como base para la adecuación del envase de polietileno que permitiera mantener una atmósfera para conservar al producto.

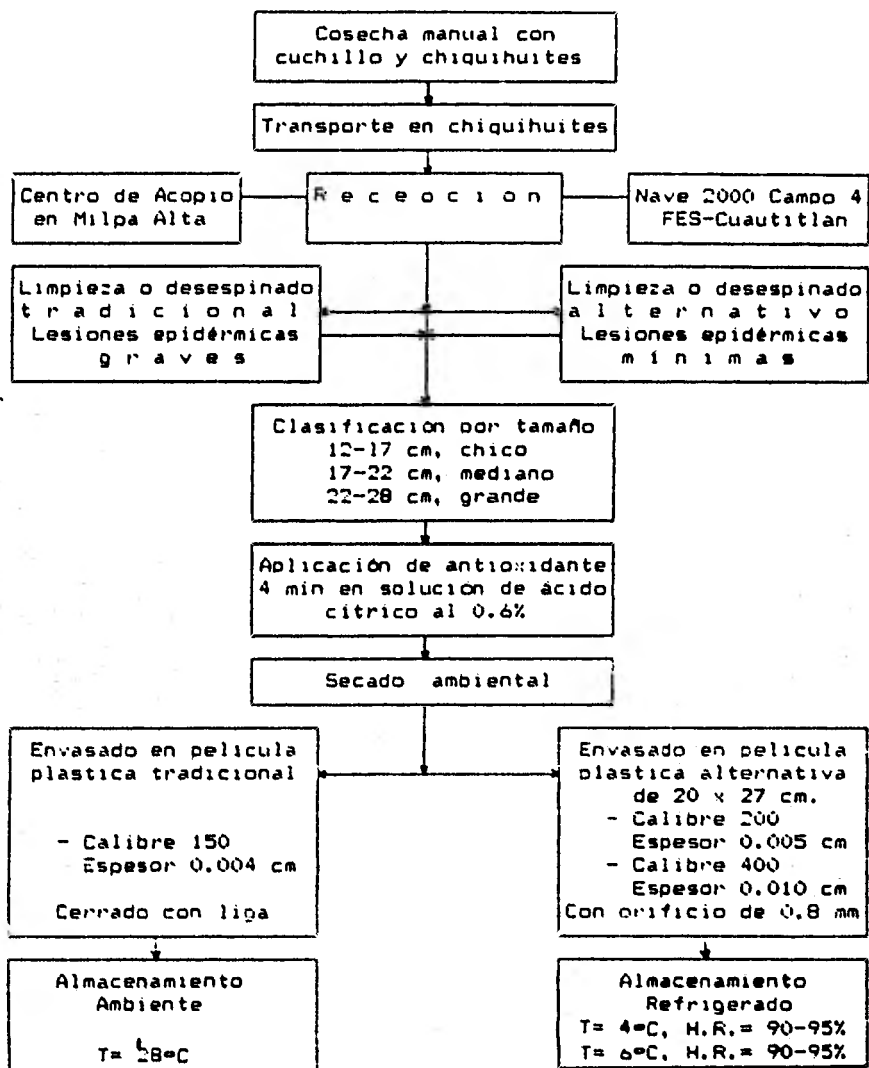
6.1.3 Operaciones postcosecha aplicadas al nopal en el desarrollo experimental.

En el diagrama 6.2 se contempla tanto al manejo que tradicionalmente se realiza en el Centro de Acopio de Milpa Alta (referido en el punto 4.3), como las alternativas descritas a continuación:

a) Cosecha y transporte.

Se obtuvieron nopales de por lo menos 6 huertas representativas de la zona productora seleccionando aquellos cladodios que no presentaron defectos evidentes y de tamaño lo más homogéneo posible. La cosecha se realizó con cuchillo, a partir de las 6:00 horas con la finalidad de evitar la deshidratación excesiva, así como el incremento en velocidad respiratoria que podría tener lugar debido a fluctuaciones de temperatura en el ambiente. Los cladodios se depositaron en chiquihuites cubriéndose con mantas para protegerlos contra los efectos del sol y viento, para luego ser transportados en camioneta a las instalaciones de la FES-Cuautitlán (Nave 2000 en Campo 4).

DIAGRAMA 6.2. Secuencia metodológica aplicada.



b) Recepción.

Al llegar el material a Campo 4 (Hava 2000), se procedió a quitar las mantas que lo protegían y los chiquinuites se colocaron cerca del lugar destinado a limpieza (desespinado).

c) Limpieza o desespinado.

Se practicó el desespinado al eliminar con cuchillo solo las espinas lesionando lo menos posible la epidermis en ambas caras y canto del nopal, así se aminoraron considerablemente los daños superficiales; a esto se le denominó, "desespinado alternativo".

d) Clasificación.

Se realizó la clasificación manual por tamaño para obtener mayor uniformidad en las unidades experimentales en cuanto a su edad fisiológica; relacionada directamente con las dimensiones del nopal; solo se trabajó con los tamaños: mediano (17-22 cm) y grande (22-28 cm). Cabe comentar que este tipo de clasificación es el único que se realiza comercialmente en la zona productora.

e) Aplicación de antioxidante.

En esta operación el producto se sumergió en una solución de ácido cítrico al 0.5% durante 3-4 minutos; posteriormente los nopales se colocaron sobre mesas cubiertas con papel absorbente para remover el exceso de agua, además se circuló aire mediante el uso de ventiladores colocados en los extremos de las mesas.

f) Envasado.

Los nopales se envasaron en películas plásticas de polietileno (15 x 20 cm) de diferentes espesores (calibres 150.

200 y 400), selladas por calor.

g) Almacenamiento.

El nopal se almacenó en cámaras de refrigeración a $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y a $6^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de 90 a 95%. Cuando la población comerciable de alguno de los tratamientos fue menor al 85%, se dió por terminada su vida útil.

6.1.4 Primera etapa experimental.

Del tratamiento postcosecha aplicado al nopal en Milpa Alta, se observó que los factores de mayor trascendencia en su vida útil son el desespinado, el envasado y la temperatura de almacenamiento. De tal forma que para conocer si estas operaciones así como su interacción influían en las variables de respuesta se hizo un diseño factorial de 2 temperaturas x 2 envases x 2 desespinaos, resultando 8 tratamientos por aplicar (tabla 6.1).

TABLA 6.1. Tratamientos aplicados al nopal en la primera fase experimental.

| Temperatura = 4 °C | | | | Temperatura = 6 °C | | | |
|-------------------------|-----|-------------------------|-----|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| 150 | 200 | 150 | 200 | 150 | 200 | 150 | 200 |

Claves: A E B F C G D H

Ademas de los tratamientos referidos, se almacenaron los siguientes testigos a 28°C, temperatura ambiente igual a la del Centro de Acopio de Milpa Alta.

Testigo Q : Desespinado tradicional, sin envase.
Testigo R : Desespinado alternativo, sin envase.
Testigo I : Desespinado tradicional, envase calibre 200.
Testigo J : Desespinado alternativo, envase calibre 200.
Testigo I' : Desespinado tradicional, envase calibre 150.
Testigo J' : Desespinado alternativo, envase calibre 150.

En esta primera corrida experimental, se evaluaron dos espesores de envase, el calibre 150, utilizado en el Centro de Acopio de la zona y el calibre 200 aplicado en general para frutas y hortalizas. (22)

El efecto de los tratamientos postcosecha de ésta etapa fué evaluado a través de la retención de ácido ascórbico, degradación de clorofila, pérdida fisiológica de peso (PPF) y apariencia.

Previo al almacenamiento del nopal, 9 panelistas recibieron entrenamiento para hacer objetiva la evaluación de las variables no paramétricas mediante el método de calificación (23), en una escala descriptiva graduada del 1 al 7, donde el 1 se consideró como excelente y reflejaba una típica apariencia fresca; 2, muy bueno; 3, bueno; 4, regular; 5, malo; 6, muy malo y 7 pésimo. Los cuatro primeros niveles se apreciaron con calidad aceptable. En el apéndice J se presentan las características específicas de apariencia correspondientes a los valores de la escala citada, anexando el cuestionario aplicado.

Las variables de respuesta fueron evaluadas con dos unidades experimentales cada tercer día y analizados estadísticamente los datos recabados.

Al mismo tiempo, durante el almacenamiento se llevó a cabo una revisión periódica de la calidad del total de la población.

Para calcular la materia prima a utilizar durante el experimento, se retomaron los resultados obtenidos en el punto 6.1.1.

Considerando el efecto de la temperatura, el envase y tipo de desespinado propuestos, se planteó hipotéticamente alcanzar una vida potencial de 25 días.

En la tabla 6.2, se indica el cálculo de materia prima utilizada para el diseño factorial I. En él se incluyó un 10% más de nopal como margen de seguridad para que después de efectuar selección y clasificación se tuviera cantidad necesaria para experimentar; almacenando el excedente y así evitar espacios vacíos en las cámaras.

TABLA 6.2. Cálculo de nopal necesario para la experimentación del diseño factorial I.

| VARIABLES | CÁLCULO | TOTAL NOPAL | U.E. |
|-----------------------------------|---|----------------|------|
| Clorofila, vitamina C | $3n \times 2r - 8t \times 21d^{**}$ | 1008 | 336 |
| Pérdida fisiológica de peso (PFP) | $3n \times 2r \times 8t^*$ | 48 | 16 |
| Testigos | $3n \times 2r \times 4t \times 5d^{**}$ | 120 | 40 |
| S U B T O T A L | | 1176 | 352 |
| 10% margen de seguridad | | 118 | 35 |
| T O T A L | | 1394 | 387 |

NOTA:

- . n = nopal, r = repeticiones, t = tratamientos, d = días.
- . Se utilizaron las mismas muestras para los análisis químicos y pruebas sensoriales.
- . * Se emplearon las mismas U.E. durante todo el experimento.
- . ** El número de días corresponde a las evaluaciones que se realizaron.

El material para cada tratamiento se enumeró e introdujo en cámaras de refrigeración distribuyéndolo homogéneamente para tener condiciones uniformes en el ambiente. Durante el periodo de almacenamiento, se monitoreó, supervisó la temperatura y la humedad relativa, con variaciones de 11°C y 90-95%, respectivamente.

La tabla de números aleatorios (ae), sirvió para el muestreo de las unidades experimentales al realizar los análisis.

6.1.5 Segunda etapa experimental.

El diseño factorial II consistió de 2 envases x 2 desespínados, que representaron 4 tratamientos (tabla 6.3). Este

experimento incluyo la pelicula plastica estimada como más idonea así como la que resulto favorable en la primera fase. En ambos envases se almaceno nopal desespinado tradicional y alternativamente.

TABLA 6.3. Tratamientos aplicados al nopal en la segunda fase experimental.

| Temperatura = 4 °C | | | |
|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| 200 | 400 | 200 | 400 |

Clave : L N K M

Los testigos a temperatura ambiente (28°C) fueron:

Testigo P : Desespinado tradicional, envase calibre 400.
 Testigo Q : Desespinado alternativo, envase calibre 400.
 Testigo P' : Desespinado tradicional, envase calibre 200.
 Testigo Q' : Desespinado alternativo, envase calibre 200.

Durante el periodo de vida útil se monitoreo a diario el cambio de las concentraciones de CO₂ y O₂ en el espacio de cabeza dentro del envase y las velocidades de respiracion para cada tratamiento.

Asimismo, fueron evaluados en forma individual los parametros incluidos en apariencia.

Las variables de respuesta y el cálculo de materia prima se

indica en la tabla 6.4.

TABLA 6.4. Cálculo de nopal necesario para la experimentación del diseño factorial II.

| VARIABLES | CALCULO | TOTAL NOPAL | U.E. |
|--|------------------------|----------------|------|
| Apariencia, respiración Consumo de O ₂ | 3n x 2 U.E. x 4t x 21d | 1008 | 336 |
| Producción de CO ₂ . Testigos | 3n x 2 U.E. x 2t x 5d | 60 | 20 |
| S U B T O T A L | | 1068 | 356 |
| 10% margen de seguridad | | 107 | 36 |
| T O T A L | | 1175 | 392 |

NOTA:

n= nopal, U.E.= unidad experimental, t= tratamientos, d= días

**RESULTADOS
Y
DISCUSION**

7. RESULTADOS Y DISCUSION.

7.1 Determinación de la unidad experimental.

Como resultado al determinar la unidad experimental, la similitud entre datos originados por muestras a partir de uno o tres nopales mostro que era indistinto trabajar con cualquiera de ellas, optando utilizar la de tres cladodios porque presentó como ventaja obtener la muestra para realizar todos los analisis a partir de un envase.

7.2 Patrón respiratorio.

Al someter el nopal con espinas a la determinación de velocidad de respiración se obtuvo el patrón respiratorio, observando su máxima actividad aproximadamente 4.5 horas después de cosechado, con liberación de 45.7 mg CO₂/Kg hr.

En nopal desespinado, la aceleración del ritmo respiratorio fué notorio, elevandose hasta 75.1 mg CO₂/Kg hr, esto es aproximadamente 74% más de actividad; lo que se explica por las múltiples lesiones originadas en la operación (tabla 7.1).

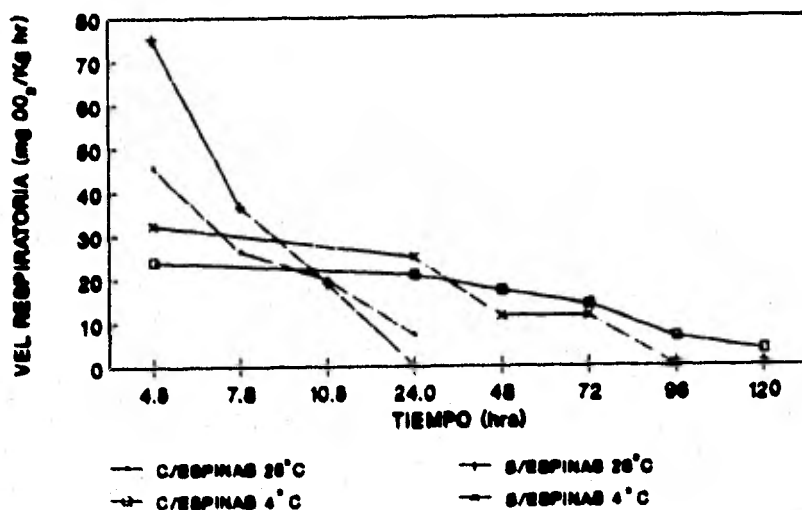
TABLA 7.1. Velocidad de respiración (mg CO₂/kg hr) a temperatura ambiente (28°C).

| TIEMPO* (hrs) | NOPAL CON ESPINAS | NOPAL SIN ESPINAS |
|------------------|----------------------|----------------------|
| 4.5 | 45.7 | 75.1 |
| 7.5 | 26.3 | 26.5 |
| 10.5 | 19.9 | 19.2 |
| 24.0 | 7.2 | 0.0 |

NOTA: * Transcurrido después de la cosecha.

Posteriormente, siguiendo un patrón de tipo no climaterico se presento una rapida disminucion de la velocidad hasta llegar a las 24 hrs. a valores de 7.0 mg CO₂/Kg hr para producto con espinas y no detectables para el desespinado (gráfica 7.1).

GRAFICA 7.1. Efecto de la temperatura en la velocidad de respiración del nopal con espinas y desespinado.



Con nopal refrigerado a 4°C, la velocidad de respiración disminuyó para los cladodios con espinas de 45.7 a 24 mg CO₂/ Kg hr y para los desespinaados de 75.1 a 32.3, en consecuencia la vida útil se prolongó de sólo un día hasta 4 y 5, respectivamente (tabla 7.2). El efecto de la baja temperatura en el metabolismo es evidente al reducirse velocidad de respiración alrededor de 50% (gráfica 7.1).

De acuerdo a la clasificación de Kader (10), basada en índices de respiración, el nopal quedaría incluido en productos con tasa alta de respiración (de 20 a 40 mg CO₂/Kg hr).

TABLA 7.2. Velocidad de respiración del nopal (mg CO₂/Kg hr) a temperatura de 4°C.

| TIEMPO (hrs) | NOPAL CON ESPINAS | NOPAL SIN ESPINAS |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| 4.5 | 24.0 | 32.3 |
| 24.0 | 21.0 | 25.0 |
| 48.0 | 17.4 | 17.1 |
| 72.0 | 14.1 | 11.5 |
| 96.0 | 6.5 | No detectable |
| 120.0 | 3.5 | No detectable |

7.3 Determinación de las concentraciones críticas.

Para determinar el efecto de la modificación atmosférica en la apariencia del producto y así conocer las concentraciones críticas, se midió el consumo de O₂ y la producción de CO₂ tanto a temperatura ambiente como de refrigeración almacenando en cámaras herméticas nopal desespinaado.

TABLA 7.3. Efecto de las concentraciones de O_2 y CO_2 en la apariencia del nopal desespinado, en cámaras herméticas a $28^\circ C$.

| TIEMPO* (hrs) | % CO_2 | % O_2 | APARIENCIA GENERAL |
|------------------|----------|---------|--------------------|
| 0 | 0.03 | 21.0 | Excelente |
| 24 | 12.90 | 8.7 | Buena |
| 48 | 15.20 | 6.4 | Mala |
| 72 | 16.4 | 5.6 | Muy mala |

NOTA: * Transcurrido después del almacenamiento.

A condiciones ambiente la hortaliza tuvo su mayor actividad metabólica en las primeras 24 hrs., cambiando la concentración de CO_2 de 0.03 a 12.9 % y el O_2 de 21 a 8.7 %, modificándose solo en dos unidades hasta las 48 horas y en una a las 72 (tabla 7.3). Tal comportamiento concuerda con los resultados del patrón respiratorio donde se registró la máxima velocidad de respiración en las horas iniciales de la cosecha, así en el caso del nopal almacenado en cámaras herméticas resultó en una rápida acumulación de CO_2 y escasez de O_2 .

Refiriéndose a la apariencia, al exceder el 12% de CO_2 y disminuir a menos de 8% el O_2 el deterioro fué evidente ya que la fermentación se hizo notoria como respuesta de la exposición del producto a niveles de CO_2 y O_2 inadecuados, como sucede con otras especies cuando rebasan sus concentraciones limitantes.

En refrigeración a $4^\circ C$ el detrimento de calidad se retardó, favoreciendo su vida útil, incrementándose de dos a siete días. Por otra parte, mientras a temperatura ambiente las

concentraciones dafinas se alcanzaron a las 24 hrs. a 4°C se acumularon después de 168 hrs (tabla 7.4).

TABLA 7.4. Efecto de las concentraciones de CO₂ y O₂ en la apariencia del nopal desespinado, en cámaras herméticas a 4°C.

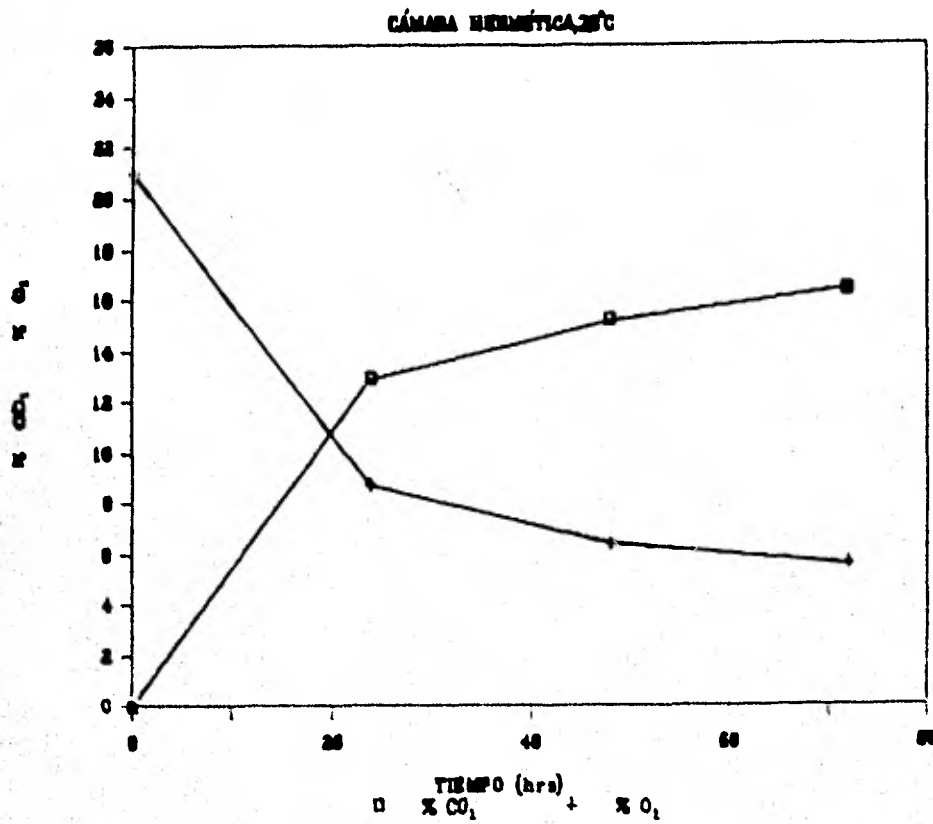
| TIEMPO (hrs) | % CO ₂ | % O ₂ | APARIENCIA GENERAL |
|-----------------|-------------------|------------------|--------------------|
| 0 | 0.0 | 21.0 | Excelente |
| 24 | 2.6 | 17.8 | Excelente |
| 48 | 5.0 | 15.1 | Excelente |
| 72 | 7.0 | 14.0 | Excelente |
| 96 | 8.4 | 12.2 | Excelente |
| 120 | 9.8 | 10.9 | Excelente |
| 144 | 10.9 | 10.0 | Excelente |
| 168 | 11.7 | 9.3 | Buena |
| 192 | 13.0 | 8.7 | Mala |

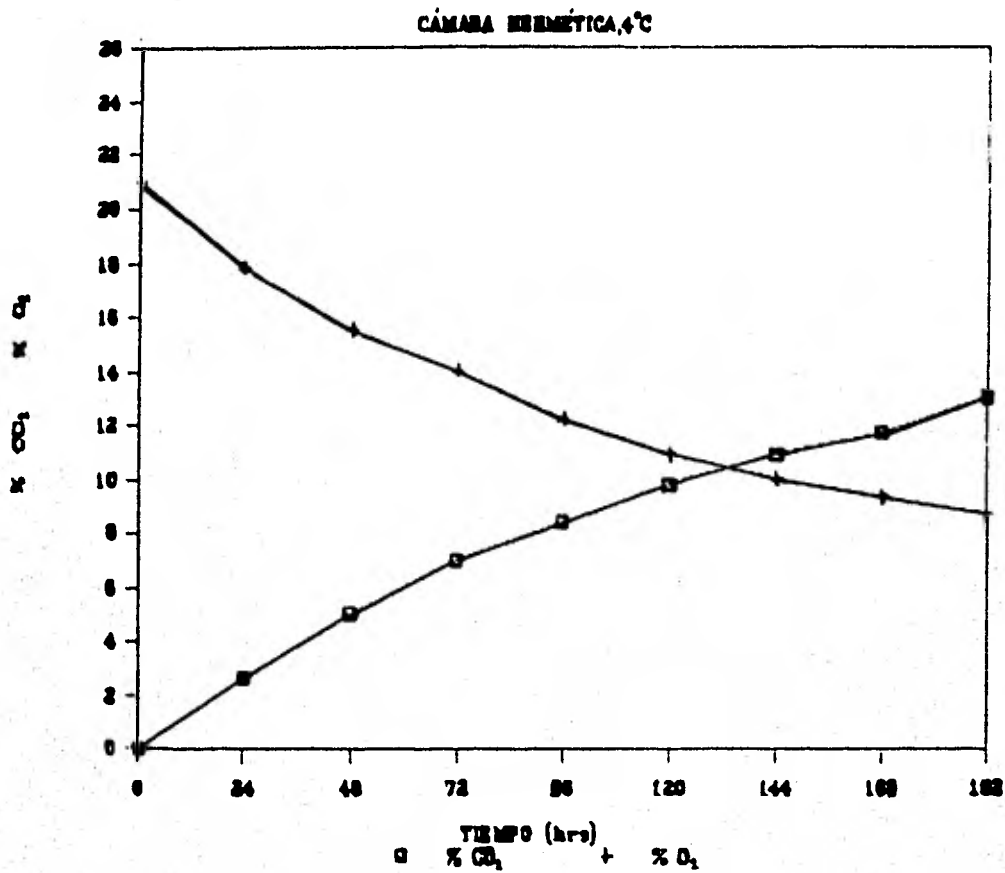
Vida útil: 7 días.

En la gráfica 7.2 los resultados sugieren que el producto mantuvo un coeficiente respiratorio de uno (C.R.=1) a lo largo de su vida útil, lo que corresponde a carbohidratos como sustrato de respiración, siendo esto factible por el alto contenido en el nopal (6%) comparado con sus otros constituyentes. Los cambios de concentración de ambos gases pueden describirse en dos etapas, con distinta pendiente de 21 a 11% y 11 a 9% para el O₂ y de 0.03% a 10% y 10 a 13% para el CO₂; siendo la primera parte de mayor pendiente en ambos gases. Tal comportamiento puede atribuirse a que cuando se alcanzan concentraciones cercanas a 11% de O₂ y 10% de CO₂, la actividad respiratoria decrece por efecto de la atmósfera modificada y que la vida útil del producto

estaba finalizando.

GRAFICA 7.2. Efecto de la temperatura en las concentraciones de CO_2 y O_2 durante la modificación de la atmosfera.





Al aproximar las concentraciones críticas, uno de los elementos considerados fué la aparición del producto. Con niveles cercanos al 12% CO₂ y 9% de O₂, no se manifestaron los síntomas de la fermentación. Aunque, tales niveles no sea estrictamente los críticos es posible que favoreciera la

respiración anaeróbica, ya que poco tiempo después de acumularlas, el nopal se deterioró rápidamente, por lo que considerarlos para la estimación de los envases hubiese sido arriesgado.

Para mantener niveles de calidad aceptables sin correr riesgo de intoxicación fue necesario considerar que las atmósferas dentro del envase pueden fluctuar ligeramente y en la práctica una atmósfera "óptima" debería ser aquella que no esté cercana a condiciones que dañen al producto (14,15). Por lo antes citado se propusieron concentraciones de 10% de CO_2 y 11% de O_2 como la atmósfera idónea para la conservación del nopal bajo el manejo postcosecha planteado, porque además alrededor de estos niveles se manifestó la mayor reducción de la velocidad de respiración conservando su apariencia fresca.

6.1.2 Estimación de envases.

Debido a la dificultad de contemplar todos los aspectos señalados en el punto 4.3 para la selección o adecuación de un envase, únicamente se estimaron diferentes espesores de películas de polietileno con el propósito de conocer que calibre favorecería la disminución en O_2 e incremento en CO_2 hasta niveles idóneos para la conservación del nopal. El desglose de cálculos se presenta a continuación.

Se calculó la velocidad media respiratoria nel CO_2 (R_{CO_2}) y O_2 (R_{O_2}) con base en los siguientes datos:

Concentración crítica de CO₂ = 10%

Concentración crítica de O₂ = 11%

Volumen cámaras herméticas = 4 lts.

Masa de producto = 0.300 Kg.

Tiempo necesario para alcanzar

las concentraciones = 120 hrs (5 días)

Temperatura = 4°C

$$R_{CO_2} = 4.0 \text{ lt} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ lt}} \times \frac{0.10}{0.3 \text{ Kg}} \times \frac{1}{120 \text{ hrs}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}}$$

$$R_{CO_2} = 3.09 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}^3}{\text{Kg seg}}$$

$$R_{O_2} = 4.0 \text{ lt} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ lt}} \times \frac{0.11}{0.3 \text{ Kg}} \times \frac{1}{120 \text{ hrs}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}}$$

$$R_{O_2} = 3.40 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}^3}{\text{Kg seg}}$$

Para generar una atmósfera apropiada que pueda evolucionar pasivamente dentro de un envase sellado como resultado del consumo de O₂ y la producción de CO₂, lo ideal sería que la permeabilidad de la película fuera adecuada a las características del vegetal.

Aunque existen muchas películas plásticas disponibles, relativamente pocas han sido utilizadas en productos frescos y son aún menos las que tienen permeabilidades al CO₂ y O₂ que las hagan aptas para las MAF. De éstas, el polietileno de baja

densidad y el polivinil clorado son las más usadas en el envasado de frutas y hortalizas. Existen otras pero poseen permeabilidades sumamente bajas y son recomendadas solo para productos con reducida velocidad de respiración (24). Experimentalmente las películas evaluadas fueron de polietileno de baja densidad.

Por otra parte en sentido estricto, la velocidad de respiración del nopal dentro del envase debería tratarse como un proceso de transferencia de masa en régimen inestable, al calcular el espesor de película idóneo para generar la MAP deseada.

Sin embargo, dado lo difícil y laborioso de tales cálculos aunado a que sería necesaria más información experimental para efectuarlos, se procedió a hacer solo estimaciones. Asumiendo que el nopal ya se encontraba dentro del envase adecuado y que cuando se alcanzaran las concentraciones deseadas el flux debido a respiración sería igual al flux por la permeabilidad, alcanzándose entonces el equilibrio, se aplicó para los cálculos la ecuación (1) de transferencia de masa por difusión de gases a través de sólidos relacionados por la primera ley de Fick:

$$N_a = \frac{P (P_1 - P_2)}{M A_1 A_2 (Z_2 - Z_1)} \dots (1)$$

Donde:

N_a = Flux del gas (gmol/seg.cm²)
 P = Permeabilidad de la película (cm³ cm . cm² seg atm)
 M

$\frac{P}{A_1} - \frac{P}{A_2}$ = Diferencia de presiones (atm)

$\frac{P}{A_1}$ = Presion parcial del gas en el exterior del envase (atm)

$\frac{P}{A_2}$ = Presion parcial del gas en el interior del envase (atm)

$Z_2 - Z_1$ = Espesor de la pelicula

22414 = Volumen que ocupa 1 gmo! de gas en condiciones estandar

Despejando $(Z_2 - Z_1)$:

$$(Z_2 - Z_1) = \frac{P \left(\frac{P}{A_1} - \frac{P}{A_2} \right)}{22414 \cdot \frac{P}{M}} \quad \dots (2)$$

Despejando ΔP :

$$\Delta P = \frac{(Z_2 - Z_1) (22414) Na}{P \cdot M} \quad \dots (3)$$

Para conocer el espesor de la pelicula requerida se fijo la superficie necesaria para envasar la unidad experimental (300-350 gr. de nopal dependiendo del tamaño), resultando necesario alrededor de 1080 cm² (envases de 2 lados :: 20 cm ancho x 27 cm de largo, comercialmente disponibles en diferentes calibres o espesores).

Retomando las velocidades medias de respiración, cuando se alcance el equilibrio deberá salir el CO₂ que libera el producto 3.09 x 10⁻³ cm³/kg seg, y entrar tanto O₂ como se consume 3.40 x 10⁻³ cm³/kg seg.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Transformando el flux a unidades gmol:

$$n = \frac{P V}{R T} \quad \dots (4)$$

$$n_{CO_2} = \frac{(0.77 \text{ atm}) (3.09 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{Kg seg}) (1 \text{ lt})}{(0.082 \text{ lt atm}/^\circ\text{K gmol}) (273.15+4)^\circ\text{K} (1000 \text{ cm}^3)}$$

$$n_{CO_2} = 1.05 \times 10^{-7} \frac{\text{g mol}}{\text{Kg seg}}$$

$$N = \frac{1.05 \times 10^{-7} \text{ g mol}}{\text{Kg seg}} \times \frac{0.350 \text{ Kg}}{1080 \text{ cm}^3} = 3.40 \times 10^{-11} \frac{\text{g-mol}}{\text{seg cm}^3}$$

$$n_{O_2} = \frac{(0.77 \text{ atm}) (3.40 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{Kg seg}) (1 \text{ lt})}{(0.082 \text{ lt atm}/^\circ\text{K gmol}) (273.15+4)^\circ\text{K} (1000 \text{ cm}^3)}$$

$$n_{O_2} = 1.15 \times 10^{-7} \frac{\text{g mol}}{\text{Kg seg}}$$

$$N = \frac{1.15 \times 10^{-7} \text{ g mol}}{\text{Kg seg}} \times \frac{0.350 \text{ Kg}}{1080 \text{ cm}^3} = 3.73 \times 10^{-11} \frac{\text{g mol}}{\text{seg cm}^3}$$

La permeabilidad para gases simples como el O_2 y el CO_2 es independiente de la concentración y por tanto de la presión. En cuanto al efecto de la temperatura (T en $^\circ\text{K}$), el valor del logaritmo natural de la permeabilidad ($\ln P_w$) es aproximadamente una función lineal del inverso de ésta ($1/T$), lo que conllevaría a la corrección correspondiente, sin embargo, los datos disponibles están reportados a 25°C y para hacer el ajuste a 4°C es necesario al menos otro valor a diferente temperatura.

por lo que se decidió trabajar con valores reportados de la caracterización de las películas plásticas llevada a cabo por los fabricantes (Celloprint), (Apéndice K).

Permeabilidad @ 25°C, polietileno.

$$P_{CO_2} = 1.23 \times 10^{-7} \frac{cm^3 cm}{cm^2 atm seg}$$

$$P_{O_2} = 2.28 \times 10^{-8} \frac{cm^3 cm}{cm^2 atm seg}$$

Considerando que $y = \frac{P_i}{P_T}$, la Presión parcial en el interior del envase:

$$P_{CO_2} = (0.11)(0.77 atm) = 0.077 atm$$

$$P_{O_2} = (0.11)(0.77 atm) = 0.085 atm$$

Presión parcial en el exterior:

$$P_{CO_2} = (0.0003)(0.77) = 0.0002 atm$$

$$P_{O_2} = (0.21)(0.77) = 0.162 atm$$

Diferencias de presión deseadas:

$$\Delta P_{CO_2} = (0.077 - 0.0002) atm = 0.0768 atm$$

$$\Delta P_{O_2} = (0.162 - 0.085) atm = 0.0770 atm$$

Sustituyendo en la ecuación (2):

$$\Delta z_{CO_2} = \frac{(1.23 \times 10^{-7} cm^3 cm / cm^2 atm seg)(0.0768 atm)}{(3.40 \times 10^{-11} g mol / seg cm^2)(22414 cm^3)} = 0.0124 cm.$$

$$\Delta z_{O_2} = \frac{(2.28 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ cm/cm}^2 \text{ atm seg})(0.0770 \text{ atm})}{(3.73 \times 10^{-11} \text{ g mol/seg cm}^2)(22414 \text{ cm}^3)} = 0.0021 \text{ cm.}$$

Notese que el espesor necesario para obtener el nivel de CO_2 propuesto es seis veces más grande que el requerido para el O_2 .

Con la ecuación (3) y manteniendo el espesor para el CO_2 , se puede conocer que concentración de O_2 se tendría en su interior y viceversa.

$$\Delta P_{O_2} = \frac{(0.0124)(22414)(3.40 \times 10^{-11})}{(2.28 \times 10^{-8})} = 0.4145$$

$$\Delta P_{CO_2} = \frac{(0.0021)(22414)(3.73 \times 10^{-11})}{(1.23 \times 10^{-7})} = 0.0143$$

$$\Delta P_{O_2} = P_{O_2 \text{ ext}} - P_{O_2 \text{ int}} = 0.162 - P_{O_2 \text{ int}}$$

$$P_{O_2 \text{ int}} = 0.162 - \Delta P_{O_2} = 0.162 - 0.4145 = -0.2525$$

$$\Delta P_{CO_2} = P_{CO_2 \text{ int}} - P_{CO_2 \text{ ext}} = P_{CO_2 \text{ int}} - 0.0002$$

$$P_{CO_2 \text{ int}} = 0.0143 - 0.0002 = 0.0141$$

Concentraciones de O_2 y CO_2 que se tendrían en el interior del envase según el espesor:

| SUPERFICIE | ESPESOR | [CO ₂] | [O ₂] |
|----------------------|-----------|----------------------|---------------------|
| 1080 cm ² | 0.0124 cm | 0.077 atm* (11%) | -0.2525 atm |
| | 0.0021 cm | 0.0141 atm (1.8%) | 0.085 atm* (11%) |

* Concentraciones deseadas.

En el cuadro se advierte que un espesor de 0.0124 cm ayudaría a conservar un 11% de CO₂ (0.077 atm). Sin embargo, el oxígeno se agotaría provocando respiración anaeróbica.

Por otra parte, el espesor de 0.0021 cm permitiría 11% de oxígeno (0.085 atm) pero con 1.8% de CO₂ (0.0141 atm), aunque la concentración de oxígeno es adecuada, la de CO₂ no lo es.

A fin de controlar la atmósfera en el interior del envase y los desórdenes o daños debidos a excesos de CO₂, pobreza de O₂ y H.R. muy altas, existe como alternativa utilizar orificios como sistema de ventilación en los envases. Bajo estas condiciones, es necesario calcular el flux de CO₂ y O₂ a través de la película y además el flux de ambos que pasan por difusión a través del orificio en un gas estacionario (en este caso contradifusión de CO₂ y O₂).

El flux de gas en aire debido a un orificio está dado por la ecuación (5)₁₅₇:

$$N_a(\theta) = \frac{D_{ab} P_t (P_{a_1} - P_{a_2}) A}{R T A_2 P_{atm}} \dots (5)$$

Donde:

$N_a(t)$ = flux del gas en aire por un orificio (gmol/seg cm^2)

P_t = presión total (atm)

P = presión externa (atm)

a_1

P = presión interna (atm)

a_2

R = constante de los gases (gmol $^{\circ}K/atm\ cm^3$)

T = temperatura ($^{\circ}K$)

ΔZ = espesor de la película (cm)

A = área total del orificio

D = difusividad del gas en aire (cm^2/seg)

ab

$$P_{\text{ex}} = P_{a_1} - P_{a_2} / \ln P_{a_1}/P_{a_2}$$

Donde:

$$P_{a_1} = P - P_{\text{externa}}$$

$$P_{a_2} = P - P_{\text{interna}}$$

Se ha reportado que orificios de 1.6mm de diámetro son suficientes para prevenir la respiración anaeróbica, por lo que se tomaron como base para la estimación. El cálculo se hizo para películas de diferente grosor, considerando los que se encuentran comercialmente disponibles.

Cálculos de flux a través de la película plástica.

Utilizando la ecuación (1), los grosores indicados y un área de 1080 cm^2 , se obtiene:

$$N_a(n) = N_a \cdot A \quad \text{ó} \quad N_a(n) = \frac{P (P_{a_1} - P_{a_2}) A}{M (Z_2 - Z_1)} \quad \dots(6)$$

Envases. - calibre comercial y grosor:

- I. 200, 0.0051 cm
- II. 300, 0.0076 cm
- III. 400, 0.0102 cm
- IV. 500, 0.0126 cm
- V. 600, 0.0152 cm

Sustituyendo:

$$Na_{D_2} \text{ (I)} = \frac{(2.28 \times 10^{-8})(0.0770)(1080)}{(22414)(0.0051)} = 1.66 \times 10^{-8} \text{ gmol/seg.}$$

$$Na_{CO_2} \text{ (I)} = \frac{(1.23 \times 10^{-7})(0.0768)(1080)}{(22414)(0.0051)} = 8.92 \times 10^{-8} \text{ gmol/seg.}$$

Del mismo modo para los siguientes espesores:

$$Na_{D_2} \text{ (II)} = 1.11 \times 10^{-8} \text{ gmol/seg.}$$

$$Na_{CO_2} \text{ (II)} = 6.00 \times 10^{-8} \text{ gmol/seg.}$$

$$Na_{D_2} \text{ (III)} = 8.29 \times 10^{-9} \text{ gmol/seg.}$$

$$Na_{CO_2} \text{ (III)} = 4.46 \times 10^{-8} \text{ gmol/seg.}$$

$$Na_{D_2} \text{ (IV)} = 6.71 \times 10^{-9} \text{ gmol/seg.}$$

$$Na_{CO_2} \text{ (IV)} = 3.61 \times 10^{-8} \text{ gmol/seg.}$$

$$Na_{D_2} \text{ (V)} = 5.56 \times 10^{-9} \text{ gmol/seg.}$$

$$N_a (V) = 2.99 \times 10^{-6} \text{ gmol/seg.}$$

CO₂

Calculos del flux a través del orificio.

Para utilizar la ecuación (5) se necesitan calcular las difusividades de cada gas. Considerando los valores reportados bibliográficamente y que la difusividad varía con la temperatura como $T^{3/2}$ e inversamente con la presión (P) (atm), se tiene:

$$D_{ab} (O_2)_{\text{parry, 1960}} = 0.178 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$D_{ab} (CO_2)_{\text{parry, 1960}} = 0.138 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$D_{O_2} = 0.178 \text{ cm}^2/\text{seg} \quad \frac{277.15^{1.5}}{273.15} \cdot \frac{1}{0.77} = 0.236$$

$$D_{CO_2} = 0.138 \text{ cm}^2/\text{seg} \quad \frac{277.15^{1.5}}{273.15} \cdot \frac{1}{0.77} = 0.183$$

Para el O₂ : P = 0.770
 $P_{a1} = 0.770 - 0.162 = 0.608$
 $P_{a2} = 0.770 - 0.085 = 0.685$
 $P_{am} = \frac{0.685 - 0.608}{\ln 0.685/0.608} = 0.646 \text{ atm}$

Para el CO₂: P = 0.770
 $P_{a1} = 0.7700 - 0.0002 = 0.7698$
 $P_{a2} = 0.7700 - 0.0770 = 0.6930$
 $P_{am} = \frac{0.7698 - 0.6930}{\ln 0.7698/0.6930} = 0.7307 \text{ atm}$

Area del orificio: $A = \pi r^2$, por lo tanto $A = \pi (0.8)^2 = 0.0201 \text{ cm}^2$

$$\text{Na}(\theta) \text{ (I)} = \frac{(0.236)(0.77)(0.162 - 0.085)(0.0201)}{(82.057)(277.15)(0.7307)(0.0051)} = 3.75 \times 10^{-6} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

O_2

$$\text{Na}(\theta) \text{ (I)} = \frac{(0.183)(0.77)(0.077 - 0.0002)(0.0201)}{(82.057)(277.15)(0.7307)(0.0051)} = 2.57 \times 10^{-6} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

CO_2

Realizando la misma secuencia con los otros espesores, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{Na}(\theta) \text{ (II)} = 2.52 \times 10^{-6} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

O_2

$$\text{Na}(\theta) \text{ (II)} = 1.72 \times 10^{-6} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

CO_2

$$\text{Na}(\theta) \text{ (III)} = 1.88 \times 10^{-6} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

O_2

$$\text{Na}(\theta) \text{ (III)} = 1.28 \times 10^{-6} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

CO_2

$$\text{Na}(\theta) \text{ (IV)} = 1.51 \times 10^{-6} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

O_2

$$\text{Na}(\theta) \text{ (IV)} = 1.04 \times 10^{-6} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

CO_2

$$\text{Na}(\theta) \text{ (V)} = 1.26 \times 10^{-6} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

O_2

$$\text{Na}(\theta) \text{ (V)} = 8.61 \times 10^{-7} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

CO_2

Flux por respiración:

$$N = 1.05 \times 10^{-7} \frac{\text{gmol}}{\text{kg seg}} \cdot 0.350 \text{ kg} = 3.68 \times 10^{-8} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

CO_2

$$N = 1.15 \times 10^{-7} \frac{\text{gmol}}{\text{kg seg}} \cdot 0.350 \text{ kg} = 4.03 \times 10^{-8} \frac{\text{gmol}}{\text{seg}}$$

O_2

Debido a que el flux por respiración resulta ser mucho más pequeño que el flux que pasa a través de los orificios, se propuso disminuir el diámetro del orificio (1.6 mm) a la mitad obteniéndose los siguientes:

$$N(\theta) \text{ (I)} = 9.34 \times 10^{-7} \\ O_2$$

$$N(\theta) \text{ (I)} = 6.38 \times 10^{-7} \\ CO_2$$

$$N(\theta) \text{ (II)} = 6.27 \times 10^{-7} \\ O_2$$

$$N(\theta) \text{ (II)} = 4.28 \times 10^{-7} \\ CO_2$$

$$N(\theta) \text{ (III)} = 4.67 \times 10^{-7} \\ O_2$$

$$N(\theta) \text{ (III)} = 3.19 \times 10^{-7} \\ CO_2$$

$$N(\theta) \text{ (IV)} = 3.77 \times 10^{-7} \\ O_2$$

$$N(\theta) \text{ (IV)} = 2.58 \times 10^{-7} \\ CO_2$$

$$N(\theta) \text{ (V)} = 3.13 \times 10^{-7} \\ O_2$$

$$N(\theta) \text{ (V)} = 2.14 \times 10^{-7} \\ CO_2$$

Para una película adecuada se debe cumplir que:

$$N_{a_1} + N_{a_2} = N_{a \text{ respiración}}$$

Donde:

$$N_{a_1} = \text{flux por difusión}$$

$$N_{a_2} = \text{flux por orificio}$$

Por lo que a las condiciones de:

$$A \ N_{a_{CO_2}} = N_{a \text{ resp.}} - N_{a_2} = \text{acumulación de } CO_2$$

$$B \ N_{a_{O_2}} = N_{a \text{ resp.}} - N_{a_1} = \text{deficiencia de } O_2$$

De tal forma que: $N_{a_1} = N_{a_2} - A$ para una película adecuada debe ser lo más pequeña posible.

Al observar lo concentrado en la tabla 7.5, se establece que

la MAP deseada resultaría favorecida al incrementarse el espesor de la película sólo que con la ayuda de orificios, ya que la suma del flux por difusión más el de orificio se aproxima más al por respiración; por lo tanto, la película con mayor grosor sería la más conveniente. Sin embargo, los calibres 500 y 600 no están disponibles comercialmente por lo que se optó por experimentar con el envase calibre 400.

Con base a lo anterior se consideró que la película idónea para conservar el nopal sería la de calibre comercial 400, 0.010 cm de espesor, de 20 x 27 cm y con orificio de 0.8 mm de diámetro, la cual se evaluó en la segunda etapa experimental, ya que en la primera se contemplaron los envases calibre 500, utilizado en el Centro de Acopio de Milpa Alta y el 200, empleado en general para frutas y hortalizas, retomando el más favorable de éstos para contrastarlo con el envase estudiado.

TABLA 7.5. Calculo del flux de CO₂ y O₂ en peliculas de polietileno de diferentes espesores.

| ESPOSOR cm. | CHLMBRE | GASES | PERMEABILIDAD cm ³ cm/cm ² atm seg | FLUX DE DIFUSION M ₀₂ gmol/seg | FLUX DE RESPIRACION M ₀₂ M ₀₂ gmol/seg | g He gmol/seg | FLUX POR ORIFICIO M ₀₂ CO ₂ gmol/seg | g He gmol/seg |
|----------------|---------|-----------------|---|---|--|--------------------------|--|--------------------------|
| 0.0051 | 200 | CO ₂ | 1.23 x 10 ⁻¹ | 6.92 x 10 ⁻⁶ | 3.66 x 10 ⁻⁶ | -5.24 x 10 ⁻³ | 6.36 x 10 ⁻³ | 6.90 x 10 ⁻³ |
| | | O ₂ | 2.26 x 10 ⁻¹ | 1.66 x 10 ⁻⁶ | 4.03 x 10 ⁻⁶ | +2.37 x 10 ⁻³ | 9.34 x 10 ⁻³ | 9.163 x 10 ⁻³ |
| 0.0076 | 300 | CO ₂ | 1.23 x 10 ⁻¹ | 6.00 x 10 ⁻⁶ | 3.66 x 10 ⁻⁶ | -2.32 x 10 ⁻³ | 4.86 x 10 ⁻³ | 4.912 x 10 ⁻³ |
| | | O ₂ | 2.26 x 10 ⁻¹ | 1.11 x 10 ⁻⁶ | 4.03 x 10 ⁻⁶ | +2.92 x 10 ⁻³ | 6.27 x 10 ⁻³ | 6.97 x 10 ⁻³ |
| 0.0102 | 400 | CO ₂ | 1.23 x 10 ⁻¹ | 4.46 x 10 ⁻⁶ | 3.66 x 10 ⁻⁶ | -7.80 x 10 ⁻³ | 3.16 x 10 ⁻³ | 3.26 x 10 ⁻³ |
| | | O ₂ | 2.26 x 10 ⁻¹ | 8.24 x 10 ⁻⁶ | 4.03 x 10 ⁻⁶ | +3.20 x 10 ⁻³ | 4.67 x 10 ⁻³ | 4.35 x 10 ⁻³ |
| 0.0126 | 500 | CO ₂ | 1.23 x 10 ⁻¹ | 3.61 x 10 ⁻⁶ | 3.66 x 10 ⁻⁶ | +7.00 x 10 ⁻³ | 2.86 x 10 ⁻³ | 2.67 x 10 ⁻³ |
| | | O ₂ | 2.26 x 10 ⁻¹ | 6.71 x 10 ⁻⁶ | 4.03 x 10 ⁻⁶ | +3.35 x 10 ⁻³ | 3.77 x 10 ⁻³ | 3.44 x 10 ⁻³ |
| 0.0152 | 600 | CO ₂ | 1.23 x 10 ⁻¹ | 2.99 x 10 ⁻⁶ | 3.66 x 10 ⁻⁶ | +6.90 x 10 ⁻³ | 2.14 x 10 ⁻³ | 2.66 x 10 ⁻³ |
| | | O ₂ | 2.26 x 10 ⁻¹ | 5.56 x 10 ⁻⁶ | 4.03 x 10 ⁻⁶ | +3.47 x 10 ⁻³ | 3.13 x 10 ⁻³ | 2.76 x 10 ⁻³ |

7.5 Primera etapa experimental.

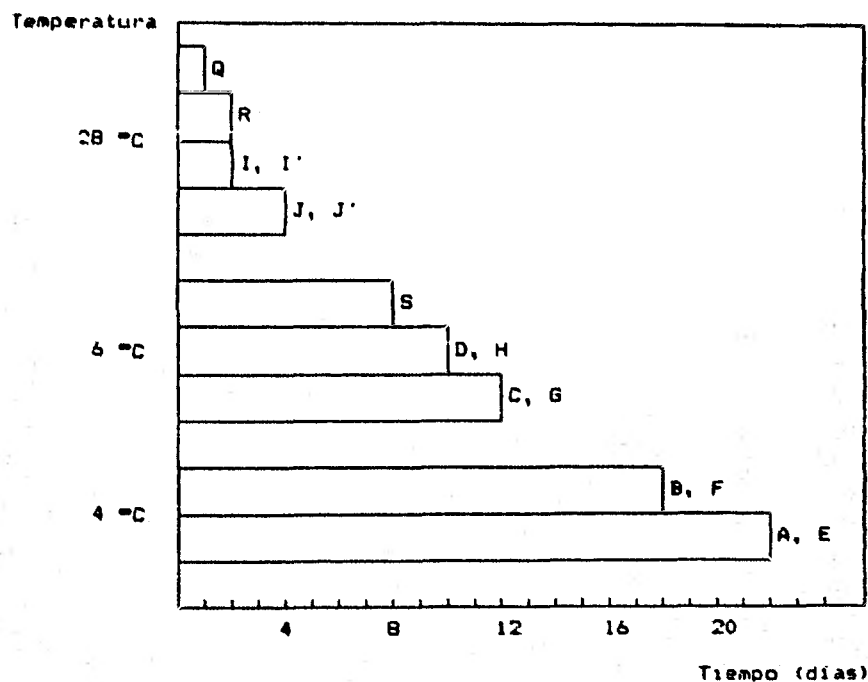
Es necesario señalar que el producto a 6°C tuvo una vida de almacenamiento solo de 10 días, mientras que el de 4°C alcanzó 22, por ello las variables de respuesta se trataron estadísticamente por análisis de varianza hasta 10 días en un factorial de 2 temperaturas x 2 envases x 2 desespinaos y a los 22 días en un factorial de 2 envases x 2 desespinaos. Además, para su análisis los datos de pérdida fisiológica de peso, vitamina C y clorofila, fueron ajustados a una regresión lineal con el fin de tener un mayor entendimiento a través de sus tendencias.

7.5.1 Efecto de las operaciones de limpieza, envasado y temperatura en la vida de almacenamiento del nopal.

Los periodos de vida de almacenamiento logrados con los diferentes tratamientos postcosecha empleados, se concentran en la gráfica 7.3.

Obsérvese que para el nopal desespinao, sin antioxidante ni envase, a temperatura ambiente (testigo Q), alcanzó un día. Este periodo tan corto se debe probablemente a la severidad de los daños en la epidermis lo cual incrementa velocidad de respiración, producción de etileno así como pérdida de humedad que conlleva a disminución de turgencia y en consecuencia al marchitamiento. (33)

GRAFICA 7.3. Efecto del desespinado, envasado y temperatura de almacenamiento en la vida útil postcosecha del nopal.



Donde:

- Q : Desespinado tradicional, sin envase, sin antioxidante.
- R : Desespinado alternativo, sin envase, sin antioxidante.
- I, I' : Desespinado tradicional, envasado Ψ , sin antioxidante.
- J, J' : Desespinado alternativo, envasado Ψ , sin antioxidante.
- S : Desespinado alternativo, envasado Ψ , sin antioxidante.
- D, H : Desespinado tradicional, envasado Ψ , con antioxidante.
- C, G : Desespinado alternativo, envasado Ψ , con antioxidante.
- B, F : Desespinado tradicional, envasado Ψ , con antioxidante.
- A, E : Desespinado alternativo, envasado Ψ , con antioxidante.

Ψ : Calibre 150 y 200, respectivamente.

En el testigo R con desespinado alternativo (eliminación cuidadosa de espinas), el tiempo fué de dos días y en el testigo J el envase al funcionar como barrera al vapor de agua permitió mantener humedades relativas altas en el aire circundante (24), duplicando el tiempo hasta cuatro días, ya que después se hicieron evidentes las alteraciones por oxidación severa en las heridas causadas con el desespinado y en menor grado la pudrición por ataque de microorganismos favorecido por la humedad relativa alta (25). Los resultados sugieren que el efecto individual del envase no fué suficiente para mantener al producto con calidad comerciable por mayor tiempo.

La MAP creada por el envase y la aplicación de baja temperatura, disminuyó la velocidad respiratoria así como otros procesos metabólicos, prolongando la vida útil del nopal.

Con nopal a 6°C, desespinado alternativo y envasado (tratamiento S), se lograron 8 días porque después de éste lapso se presentó un intenso obscurecimiento enzimático. En los tratamientos D y H fueron 10 días debido a la aplicación de ácido cítrico como antioxidante, logrando retardar la actividad de las fenolasas, al alterar el pH óptimo y secuestrar los iones cobre necesarios para su acción (26), aunado a la posible existencia del efecto indirecto de la película plástica al permitir que disminuyera el nivel de O₂ dentro del envase.

En los tratamientos D y H, se practicó el desespinado

tradicional (similar al que llevan a cabo los desespina-
dores de Milpa Alta); de acuerdo con los resultados acorto el
almacenamiento comparado con los tratamientos C y G en los que se
efectuó el desespinado alternativo, contribuyendo así a conservar
el nopal por dos días más, resultando en suma 12.

Obsérvese que al aplicar el envase o al cambiar el tipo de
desespinado, el periodo se prolongo solo en 2 días por efecto
individual de éstos, en contraste el almacenamiento refrigerado
incremento el periodo hasta en 4 días o más, debido al efecto que
ejerce la temperatura en la reducción de la actividad
respiratoria, transpiración, oxidación y ataque por
microorganismo(s), procesos que deterioran la calidad.

Nótese que para el caso del nopal con desespinado
tradicional a 4°C (tratamientos B y F) se incremento la vida útil
en 8 días con respecto al almacenamiento a 6°C (D y H) es decir,
de 10 a 18 y para el desespinado alternativo se incremento 10
días esto es, de 12 (C y G) a 22 (A y E).

Cabe resaltar que el uso de coadyuvantes de la refrigeración
(antioxidante y MAP) permitieron almacenar a temperaturas
inferiores a las reportadas como causantes de daños por frío
(10°C)...

En base a los periodos de vida útil alcanzados por los
diferentes tratamientos, se infiere que para obtener 22 días, es
necesario realizar el desespinado alternativo, aplicar
antioxidante, envasar y finalmente almacenar a 4°C; todos estos

factores en combinación, puesto que individualmente no permitirían alcanzar este tiempo.

7.5.2 Efecto del desespinado, envasado y temperatura en la pérdida fisiológica de peso.

Los resultados del análisis estadístico de la pérdida fisiológica de peso a los 14 días muestran que el bloqueo del tiempo fue altamente significativo así como el tipo de desespinado; la temperatura y la interacción envase-desespinado-temperatura fueron significativas; por su parte el envase y las interacciones de dos factores resultaron no significativas (tabla 7.6).

Respecto al efecto del desespinado, la mayor pérdida fisiológica de peso se presentó con el tradicional, dado que con el alternativo se causó menor daño en la epidermis por tanto menor pérdida de agua, lo cual se refleja en las gráficas 7.a y 7.c.

En cuanto al envase, el comportamiento era que una película de mayor espesor presentaría mayor resistencia a la salida de vapor de agua y en consecuencia daría lugar a una menor pérdida de peso. No obstante, el uso de uno u otro envase no fue significativo debido a que los dos cumplieron su función de barrera al vapor de agua. (Gráficas 7.b y 7.c)

7

TABLA 7.6. Analisis de varianza para la pérdida fisiológica de peso como variable de respuesta, a los 14 días de almacenamiento; con los efectos del desespinado, envasado y temperatura; con 3 réplicas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---------------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| A | 0.022 | 1 | 0.022 | 1.223 | 3.84 | 6.63 |
| B | 0.157 | 1 | 0.157 | 8.730 | 3.84 | 6.63 |
| C | 0.110 | 1 | 0.110 | 6.117 | 3.84 | 6.63 |
| BLOQUE D | 0.658 | 7 | 0.094 | 5.227 | 2.01 | 2.64 |
| INTERACCION DE 2 FACTORES | | | | | | |
| AB | 0.062 | 1 | 0.062 | 3.448 | 3.84 | 6.63 |
| AC | 0.002 | 1 | 0.002 | 0.111 | 3.84 | 6.63 |
| BC | 0.011 | 1 | 0.011 | 0.612 | 3.84 | 6.63 |
| INTERACCION DE 3 FACTORES | | | | | | |
| ABC | 0.095 | 1 | 0.095 | 5.293 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 3.183 | 177 | 0.018 | 1.001 | | |
| Total | | 191 | | | | |

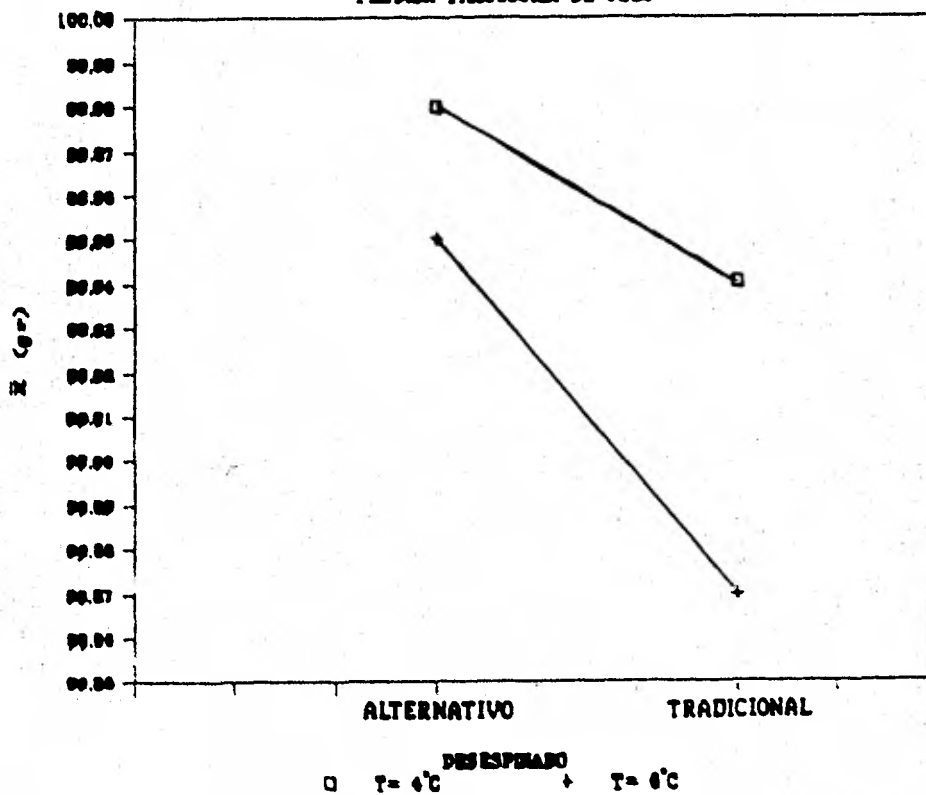
Donde: A = envase B = desespinado C = temperatura D = tiempo
 AB = envase-desespinado AC = envase-temperatura
 BC = desespinado-temperatura
 ABC = envase-desespinado-temperatura

La pérdida fisiológica de peso del nopal almacenado a 4°C fue inferior que a 6°C (graficas 7.a y 7.b), dado que en las frutas y hortalizas entre mayor sea la temperatura de exposición

mayor es la tendencia a perder agua. Además, debido a su calor de respiración su temperatura será siempre mayor a la del aire, de tal manera, es factible esperar pérdidas por transpiración aun a humedad relativa del 100%.

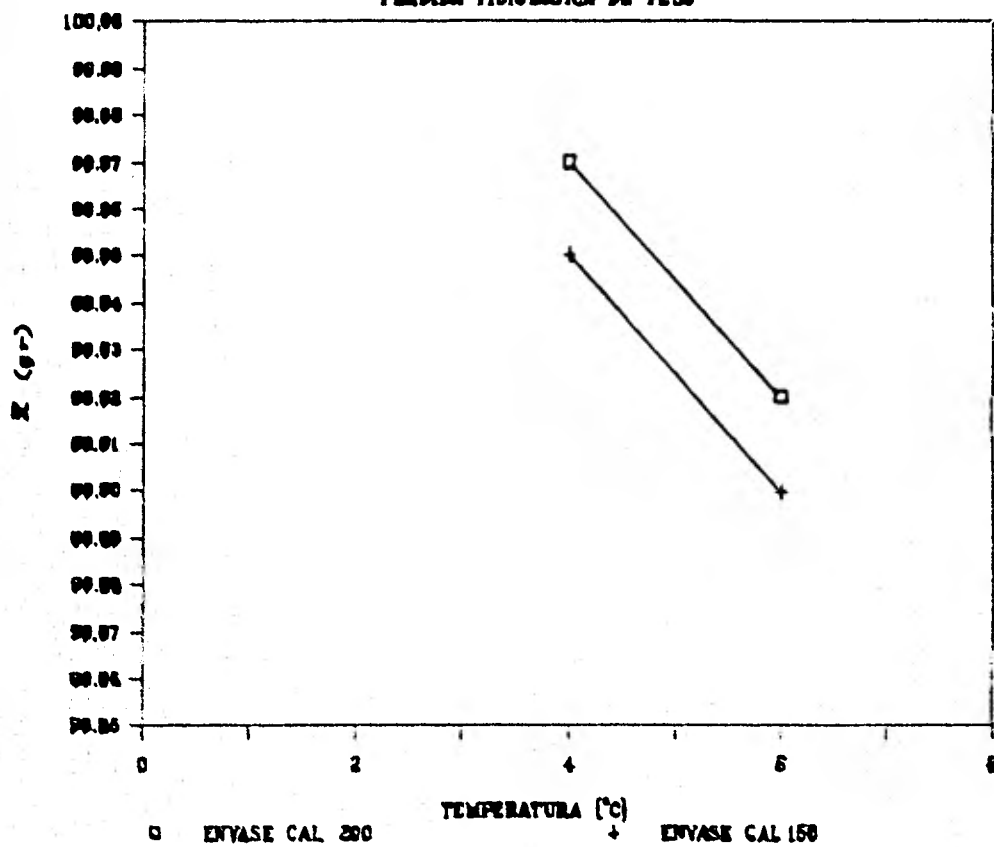
GRAFICA ANDEVA 7.a

PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO



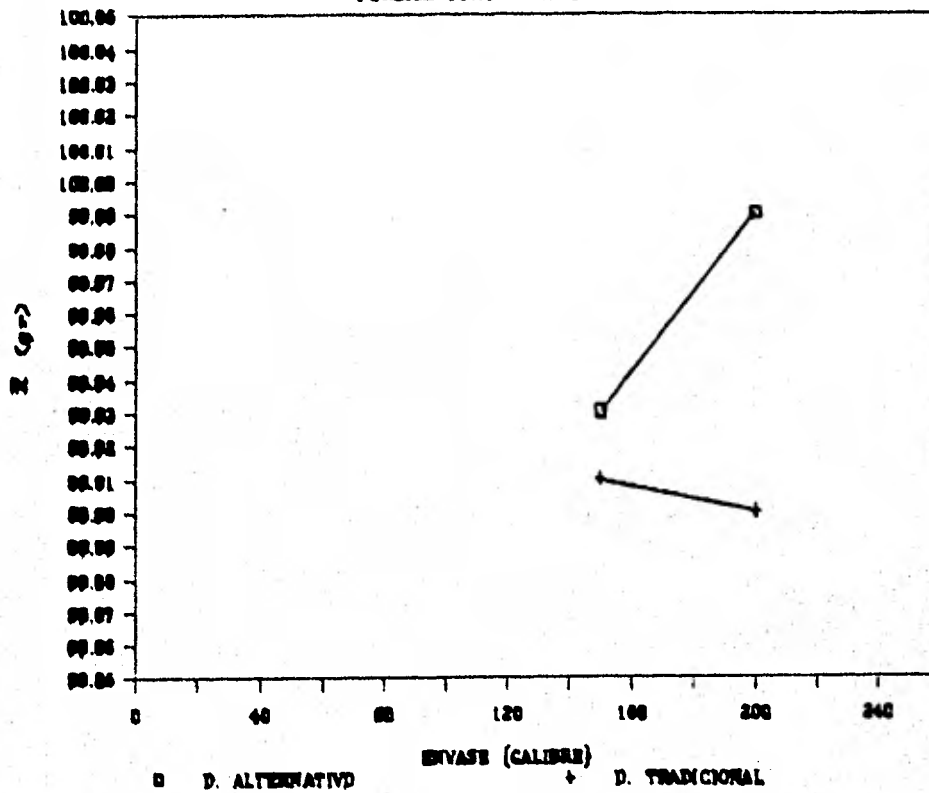
GRAFICA ANDEVA 7.b

PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO



GRAFICA ANDEVA 7.c

PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO.



A los 22 días, el tiempo y la interacción envase-desespinado mostraron efecto altamente significativo, mientras que las otras fuentes de variación no afectaron. Tabla 7.7.

TABLA 7.7. Análisis de varianza para la pérdida fisiológica de peso como variable de respuesta, a los 22 días de almacenamiento; con los efectos del desespinado, envasado y temperatura, con 3 réplicas.

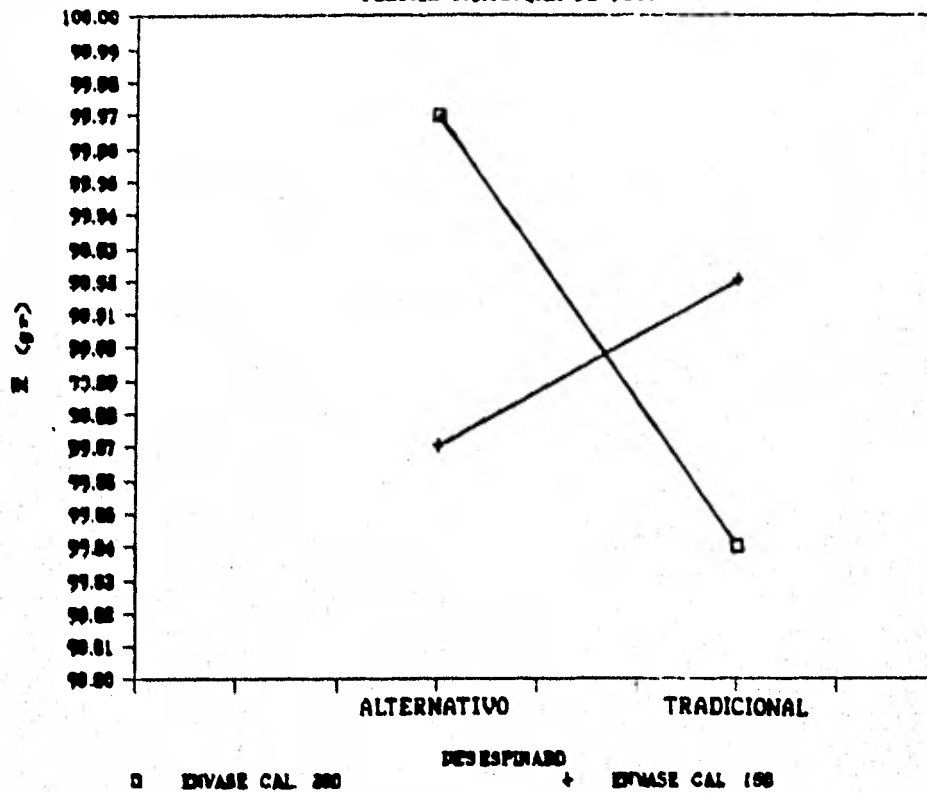
| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---------------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| A | 0.001 | 1 | 0.001 | 0.048 | 3.84 | 6.63 |
| B | 0.071 | 1 | 0.071 | 3.423 | 3.84 | 6.63 |
| BLOQUE D | 1.466 | 11 | 0.113 | 6.411 | 1.84 | 2.25 |
| INTERACCION DE 2 FACTORES | | | | | | |
| AB | 0.280 | 1 | 0.280 | 13.496 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 2.676 | 129 | 0.021 | | | |
| Total | 4.494 | 143 | | | | |

Donde: A=envase B=desespinado D=tiempo AB=envase-desespinado

En la gráfica 7.d se aprecia que la interacción envase calibre 200 - desespinado alternativo presentó la menor pérdida fisiológica de peso.

GRAFICA ANDEVA 7.d

PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO



Observese en la grafica 7.4 la pérdida fisiologica de peso ocurrida durante el almacenamiento, debida a que después de la cosecha la transpiracion continua. Tal fenomeno se explica por el

hecho de que el vapor de agua en el interior de la hortaliza genera una presión de vapor siempre superior, por su alto contenido de agua a la presión de vapor de agua del aire circundante, originándose un déficit que provoca la difusión del vapor de agua del interior al exterior. Entre más grande sea el déficit mayor será la cantidad de agua que difunda al exterior. (33)

La pérdida de agua puede ser una de las principales causas de deterioro, ya que esta no sólo resulta en pérdidas cuantitativas, sino que también causa deterioro en la apariencia (debido al marchitamiento) (33, 33). Sin embargo, en el caso de los tratamientos aplicados al nopal, las pérdidas fisiológicas de peso fueron únicamente del orden de décimas y centésimas porcentuales (tabla 7.8).

Tal comportamiento era esperado dado que se emplearon temperaturas de refrigeración y se utilizó un envase como coadyuvante, que permitió generar una atmósfera modificada manteniendo humedades relativas altas.

Cabe comentar que los máximos porcentajes de pérdida no alcanzaron a ser ni del 1% y en la práctica, a condiciones ambientales, el nopal desespinado presenta una pérdida de peso, de aproximadamente 27%.

GRAFICA 7.4. Efecto del tratamiento postcosecha en la pérdida fisiológica de peso.

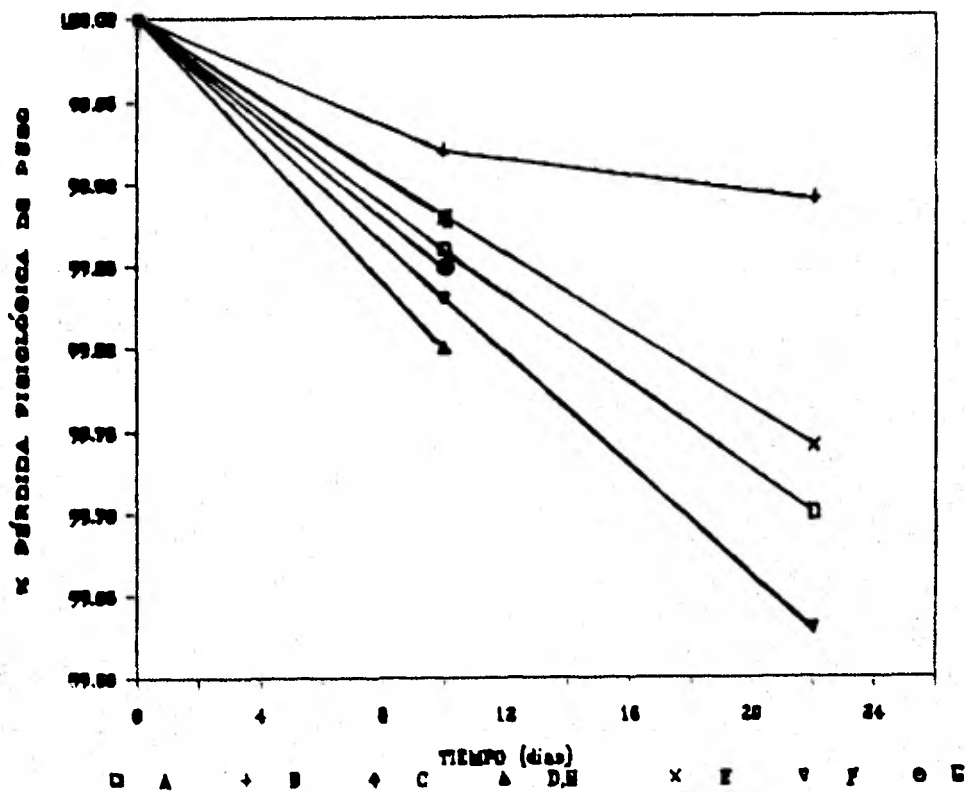


TABLA 7.8. Porcentajes de pérdida fisiológica de peso a los 10 y 22 días de almacenamiento.

| ALMACENAMIENTO (días) | 10 | | | | 22 | |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 6 | | 4 | | 4 | |
| TEMPERATURA (°C) | | | | | | |
| PELICULA (calibre) | 150 | 200 | 150 | 200 | 150 | 200 |
| DESESPINADO ALTERNATIVO | C 0.12% | G 0.15% | A 0.14% | E 0.12% | A 0.30% | E 0.26% |
| DESESPINADO TRADICIONAL | D 0.20% | H 0.20% | B 0.08% | F 0.17% | B 0.11% | F 0.37% |

A los 10 días de almacenamiento (tabla 7.8), los tratamientos a 6 °C que exhibieron mayor pérdida de peso fueron el D y el H (desespinado tradicional, envase calibre 150 y 200), ya que su peso disminuyó de 100 a un 99%. Los tratamientos con mínimas mermas correspondieron al B (desespinado tradicional, envase calibre 150) con 99.92% y al E (desespinado alternativo, envase calibre 200) almacenado a 4°C.

Transcurridos 22 días únicamente con producto almacenado a 4°C el menor porcentaje de pérdida de peso lo presentaron por segunda ocasión los tratamientos B y E con retenciones de 99.79% y 99.74%, respectivamente (tabla 7.8).

De acuerdo con el análisis estadístico y sus correspondientes gráficas, es evidente que la temperatura de 4°C,

el envase calibre 200 y el desespinado alternativo fueron los niveles de variación más adecuados para evitar la pérdida fisiológica de peso, aunque al ajustar las tendencias de los tratamientos a una regresión lineal, se encubren algunos resultados y no muestran la relevancia de aplicar alguno de sus niveles de variación.

7.5.3 Efecto del desespinado, envasado y temperatura en la retención de vitamina C.

Los resultados muestran que a los 10 días de almacenamiento el espesor del envase, el tipo de desespinado, la temperatura y ninguna de las interacciones de dos factores tuvieron efecto significativo sobre la retención de vitamina C, mientras que el bloqueo del tiempo así como la triple interacción (envase-desespinado-temperatura) mostraron efecto altamente significativo (tabla 7.9).

Aún cuando estadísticamente no hubo efecto significativo de la temperatura, las gráficas 7.e y 7.f reflejan que las pérdidas fueron menores en el producto almacenado a 4°C comparado con el de 6°C.

En cuanto al efecto del envase (gráficas 7.f y 7.g), la mayor retención de vitamina C se presentó en el de calibre 200.

Por otra parte, para el método de limpieza en las gráficas 7.e y 7.g, se encuentra que el efecto del desespinado en la retención de vitamina C depende de los niveles de variación de los factores con los que interactúa.

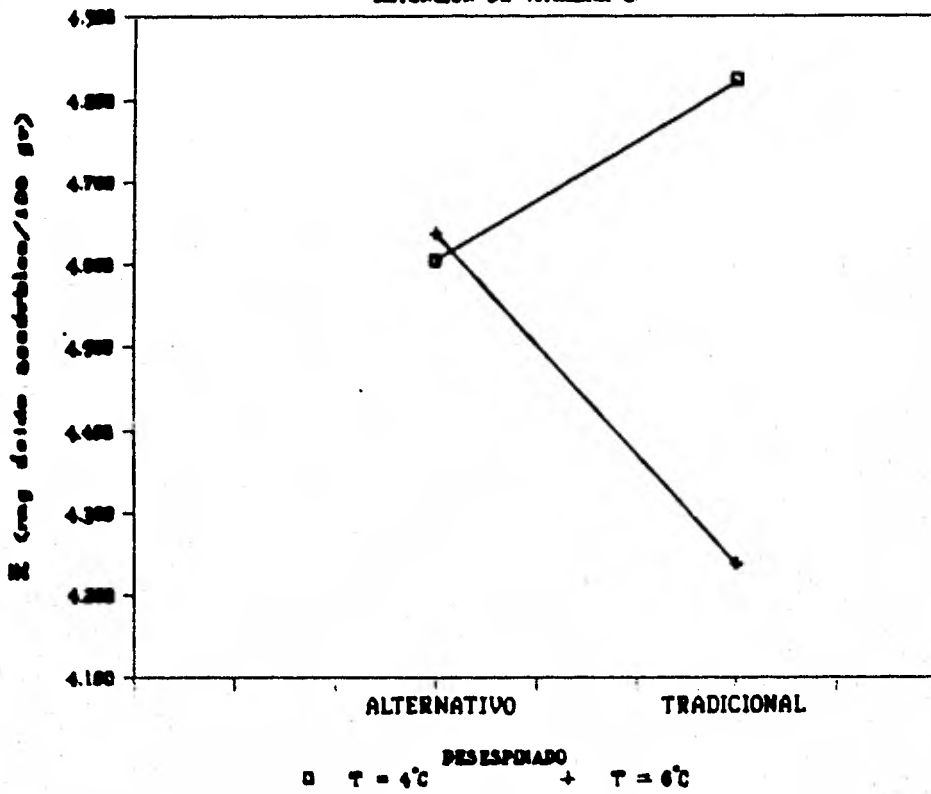
TABLA 7.9. Analisis de varianza para vitamina C como variable de respuesta, a los 10 dias de almacenamiento; con los efectos del desespinado, envasado y temperatura, con 4 replicas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---------------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| A | 5.086 | 1 | 5.086 | 3.56 | 3.84 | 6.63 |
| B | 0.367 | 1 | 0.367 | 0.26 | 3.84 | 6.63 |
| C | 3.579 | 1 | 3.579 | 2.50 | 3.84 | 6.63 |
| D | 481.533 | 5 | 96.307 | 67.39 | 2.21 | 3.02 |
| INTERACCION DE 2 FACTORES | | | | | | |
| AB | 1.185 | 1 | 1.185 | 0.83 | 3.84 | 6.63 |
| AC | 0.470 | 1 | 0.470 | 0.33 | 3.84 | 6.63 |
| BC | 4.495 | 1 | 4.495 | 3.15 | 3.84 | 6.63 |
| INTERACCION DE 3 FACTORES | | | | | | |
| ABC | 21.930 | 1 | 21.930 | 15.35 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 255.818 | 179 | 1.429 | | | |
| Total | | 191 | | | | |

Donde: A = envase; B = desespinado; C = temperatura; D = tiempo
 AB = envase-desespinado
 AC = envase-temperatura
 BC = desespinado-temperatura
 ABC = envase-desespinado-temperatura

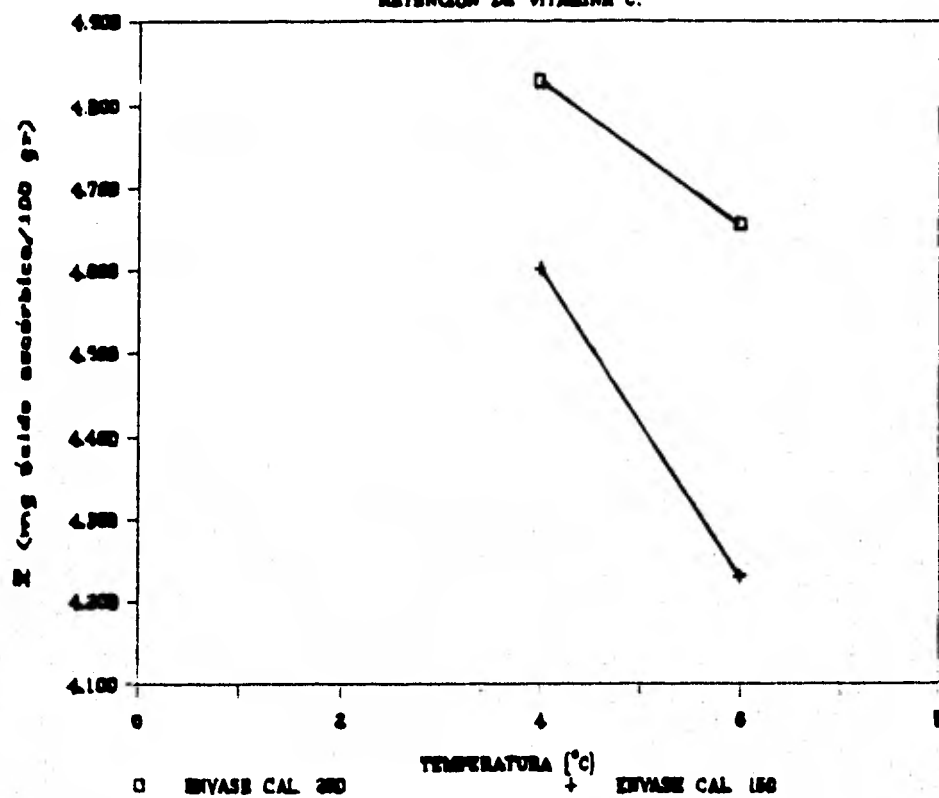
GRAFICA ANDEVA 7.e

RETENCIÓN DE VITAMINA C



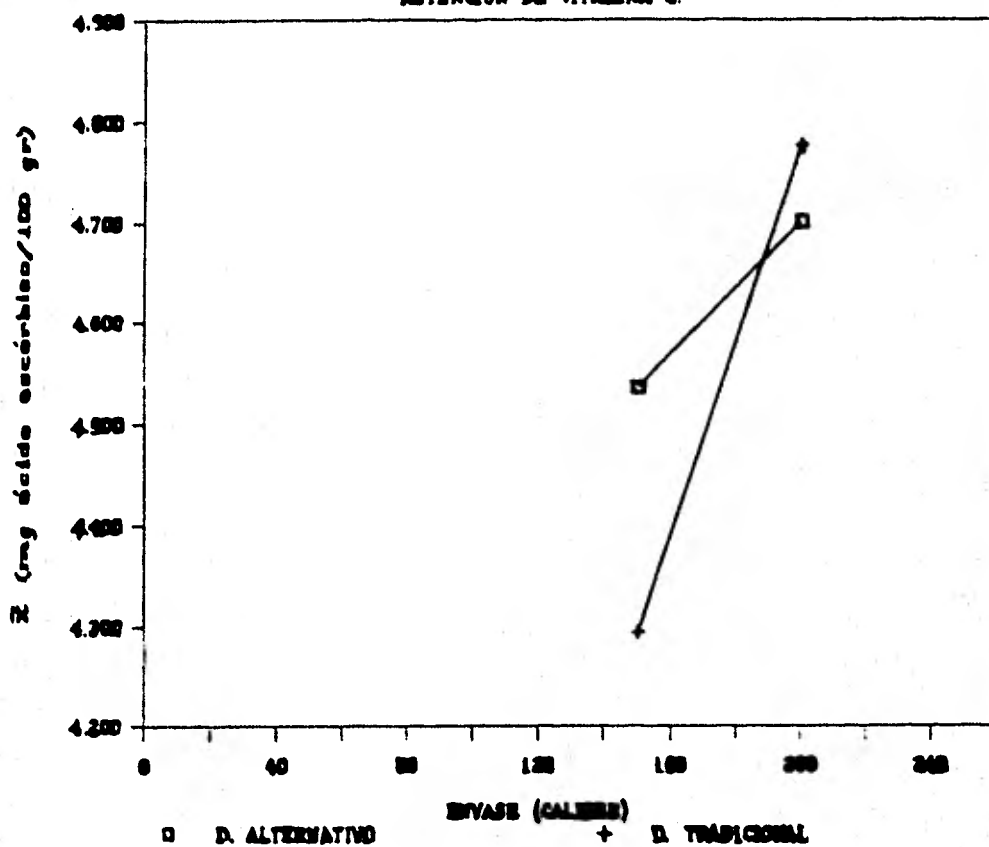
GRAFICA ANDEVA 7.f

RETENCIÓN DE VITAMINA C.



GRAFICA ANDEVA 7.g

RETENCIÓN DE VITAMINA C.



En el análisis de los datos obtenidos con producto almacenado a 4°C hasta los 22 días (tabla 7.10) no se presentaron diferencias significativas por efecto individual del desespinado, envase y tiempo, ni por ninguna de las interacciones de dos factores.

TABLA 7.10. Analisis de varianza para vitamina C como variable de respuesta, a los 22 días de almacenamiento; con los efectos del desespinado, envasado y temperatura, con 4 réplicas.

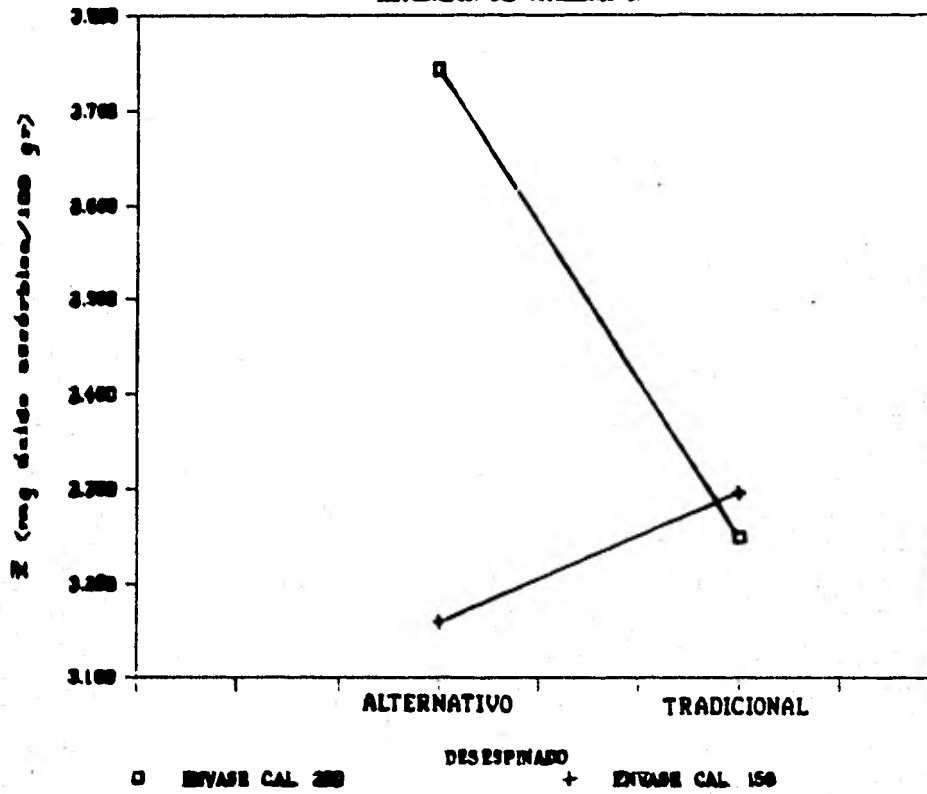
| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| A | 3.508 | 1 | 3.508 | 0.065 | 3.84 | 6.63 |
| B | 1.537 | 1 | 1.537 | 0.028 | 3.84 | 6.63 |
| BLOQUE D | 829.756 | 11 | 75.432 | 1.395 | 1.83 | 2.32 |
| I N T E R A C C I O N D E 2 F A C T O R E S | | | | | | |
| AB | 4.808 | 1 | 4.808 | 0.089 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 9568.196 | 177 | 54.058 | | | |
| Total | 110407.805 | 191 | | | | |

Donde: A=envase B=desespinado D=tiempo AB=envase-desespinado

Los cladodios con limpieza alternativa y envase calibre 200 mostraron mayor retención de vitamina C (gráfica 7.h).

GRAFICA ANDEVA 7.h

RETENCIÓN DE VITAMINA C.



En la gráfica 7.5 y tabla 7.11. se presenta la tendencia de la degradación de vitamina C en función de los tratamientos aplicados, donde se muestra que las pérdidas fueron menores en los cladodios almacenados a 4°C en comparación con los de 6°C. Aunque por lo general la estabilidad del ácido ascórbico aumenta conforme disminuye la temperatura del producto, diversas investigaciones han señalado la posibilidad de que se produzca pérdida acelerada por el almacenamiento en frío..... Tal comportamiento se presentó en el nopal que después de 10 días de almacenamiento había perdido más del 35% de su contenido inicial y al finalizar su vida útil a los 22 días era menor del 20%.

Por otra parte, otro factor que aceleró la pérdida de vitamina C, fue la operación de limpieza o desespinado del nopal, ya que al realizarla se generan posibilidades de oxidación debido a las heridas y a la inestabilidad de esta vitamina en presencia de aire o de la enzima ácido ascórbico oxidasa.

Obsérvese que en general la mayor pérdida se manifestó en los cladodios con desespinado tradicional que daña en mayor grado la epidermis.

GRAFICA 7.5. Efecto de la interaccion desespinado, envasado y temperatura, en la retencion de vitamina C.

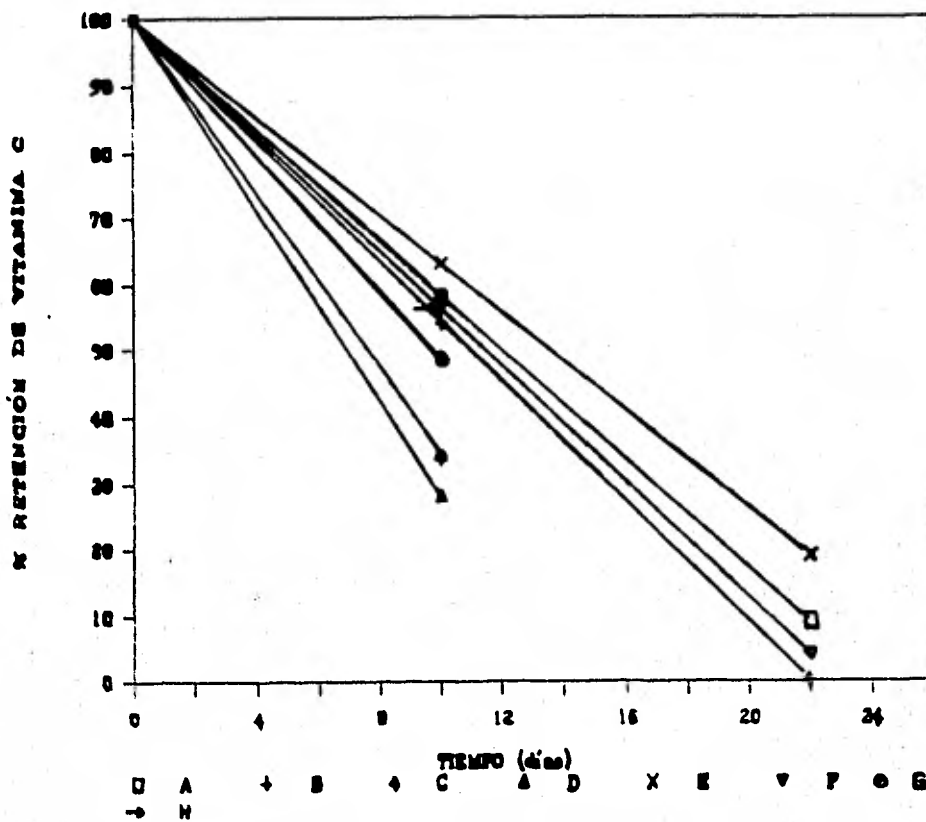


TABLA 7.11. Porcentajes de retención de vitamina C a los 10 y 22 días de almacenamiento.

| ALMACENAMIENTO (días) | 10 | | | | 22 | |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 6 | | 4 | | 4 | |
| TEMPERATURA (°C) | | | | | | |
| PELICULA (calibre) | 150 | 200 | 150 | 200 | 150 | 200 |
| DESESPINADO ALTERNATIVO | C 34.0% | G 49.0% | A 58.0% | E 63.0% | A 9.00% | E 19.0% |
| DESESPINADO TRADICIONAL | D 28.0% | H 55.0% | B 54.0% | F 56.0% | B 0.00% | F 4.00% |

En cuanto al efecto del envase, durante el almacenamiento en MAP resulta en una mejor retención del ácido ascórbico en general para frutos y hortalizas (17). Además, algunos autores han planteado que la pérdida de vitamina C de los vegetales frescos está asociada con su pérdida de agua y que una forma de mantenerla es utilizar un envase a fin de evitar la transpiración (18). Lo anterior sugiere que si el nopal no se hubiese envasado, la disminución ocurrida hubiera sido más rápida.

Comparando los porcentajes de retención a los 10 días nótese que el tratamiento más favorable fué el E (desespinado alternativo, envase calibre 200, 4°C) con 63% y el menos el D (desespinado tradicional, envase calibre 150, 6°C) con 28%. A los 22 días el más favorable nuevamente resultó ser el E con 19% y el

menos el B (desespinado tradicional, envase calibre 150, 4°C) con valor no detectable.

Es necesario señalar que aún con la interacción del tratamiento E el porcentaje final de vitamina C fué solo el 19% de su contenido inicial, lo que sugiere que su valor nutritivo es pobre. Sin embargo, debe de tomarse en cuenta que el nopal no es considerado una fuente importante de esta vitamina y existen otros atributos de calidad contemplados para su comercialización como el de apariencia, entre otros.

7.5.4 Efecto del desespinado, envasado y temperatura en la retención de clorofila.

En el cuadro ANDEVA a los 10 días de almacenamiento, el desespinado, envasado, temperatura, las interacciones temperatura-envase y desespinado-envase, no tuvieron efecto significativo en la retención de clorofila, a diferencia de la interacción temperatura-desespinado que presentó efecto significativo y de la interacción desespinado-envase-temperatura y el tiempo de almacenamiento que fueron altamente significativos. (Tabla 7.12)

TABLA 7.12. Analisis de varianza para clorofila como variable de respuesta, a los 10 dias de almacenamiento; con los efectos del desespinado, envasado y temperatura, con 6 replicas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---------------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| A | 0.001 | 1 | 0.001 | 0.500 | 3.84 | 6.63 |
| B | 0.007 | 1 | 0.007 | 3.500 | 3.84 | 6.63 |
| C | 0.0004 | 1 | 0.0004 | 0.200 | 3.84 | 6.63 |
| BLOQUE D | 0.616 | 5 | 0.123 | 61.500 | 2.21 | 7.32 |
| INTERACCION DE 2 FACTORES | | | | | | |
| AB | 0.008 | 1 | 0.008 | 4.000 | 3.84 | 6.63 |
| AC | 0.006 | 1 | 0.006 | 3.000 | 3.84 | 6.63 |
| BC | 0.002 | 1 | 0.002 | 1.000 | 3.84 | 6.63 |
| INTERACCION DE 3 FACTORES | | | | | | |
| ABC | 0.015 | 1 | 0.015 | 7.500 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 0.469 | 275 | 0.002 | | | |
| Total | 1.124 | 287 | 0.164 | | | |

Donde: A = temperatura; B = desespinado; C = envase; D = tiempo
 AB = temperatura-desespinado
 AC = temperatura-envase
 BC = desespinado-envase
 ABC = temperatura-desespinado-envase

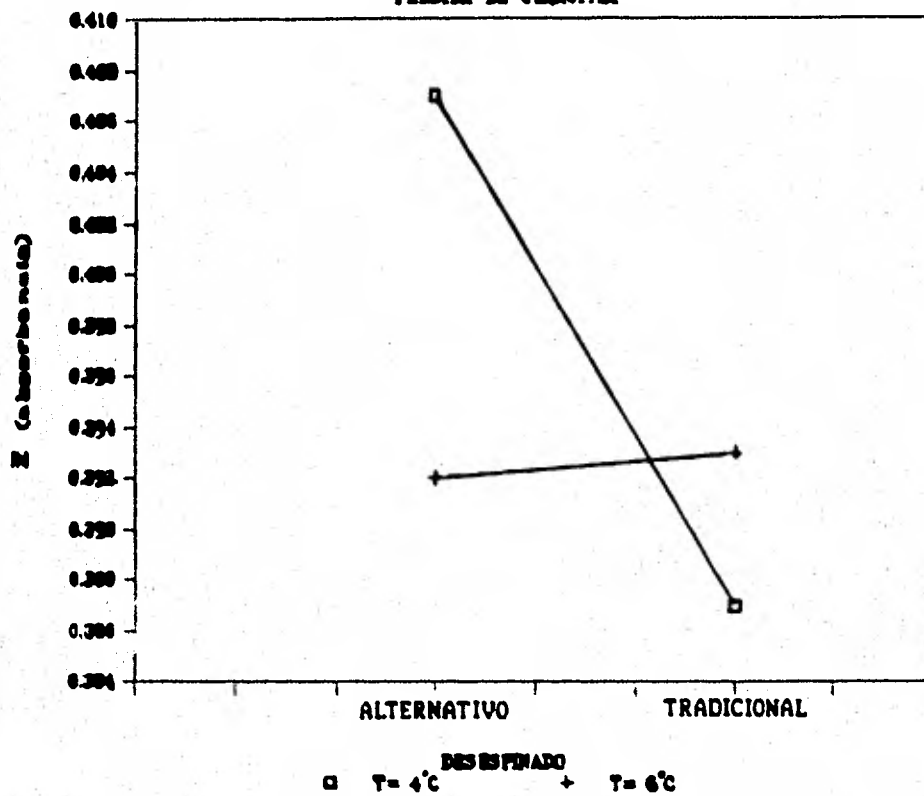
En la gráfica 7.i, la interaccion desespinado alternativo-temperatura 4°C, resulto ser la que permitio una mayor retencion de clorofila.

En las gráficas 7.j y 7.k se muestran las interacciones más

favorables las cuales fueron: producto a 4°C, envase calibre 200 y desespinado alternativo, envase calibre 150, respectivamente.

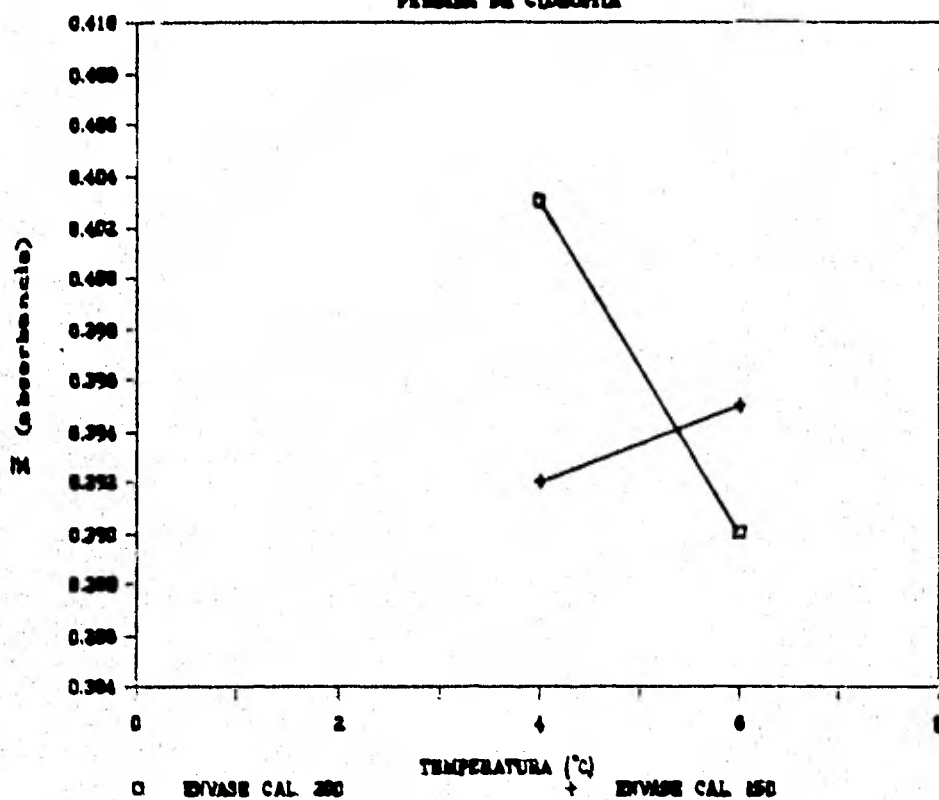
GRAFICA ANDEVA 7j

PÉRDIDA DE CLOROFILA



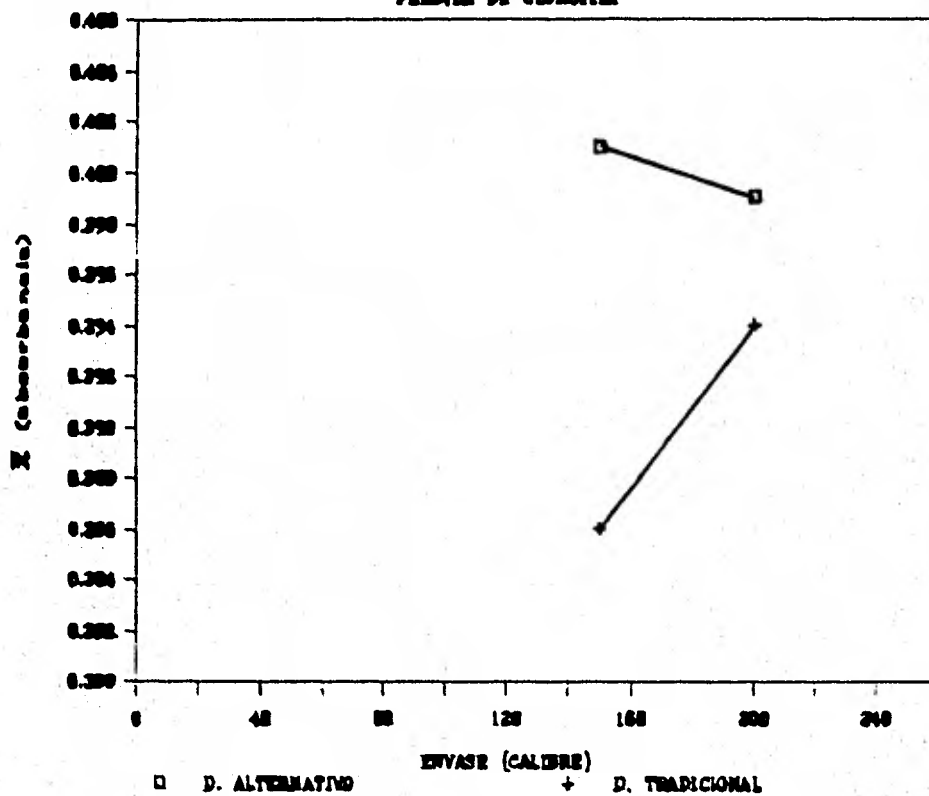
GRAFICA ANDEVA 7.j

PÉRDIDA DE CLOROFILA



GRAFICA ANDEVA 7.k

PERDIDA DE CLOROFILA



En el analisis a los 22 dias, unicamente el bloqueo del tiempo resulto altamente significativo y las otras fuentes de variacion no afectaron (tabla 7.13).

TABLA 7.13. Analisis de varianza para clorofila como variable de respuesta a los 22 dias de almacenamiento; con los efectos de desespinado, envasado y temperatura, con 6 réplicas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---------------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| A | 0.001 | 1 | 0.001 | 0.500 | 3.84 | 6.63 |
| B | 0.007 | 1 | 0.007 | 3.500 | 3.84 | 6.63 |
| D | 0.577 | 11 | 0.052 | 26.000 | 1.75 | 2.18 |
| INTERACCION DE 2 FACTORES | | | | | | |
| AB | 0.005 | 1 | 0.005 | 2.500 | 3.84 | |
| Error | 0.529 | 273 | 0.002 | 1.000 | | |
| Total | | 287 | | | | |

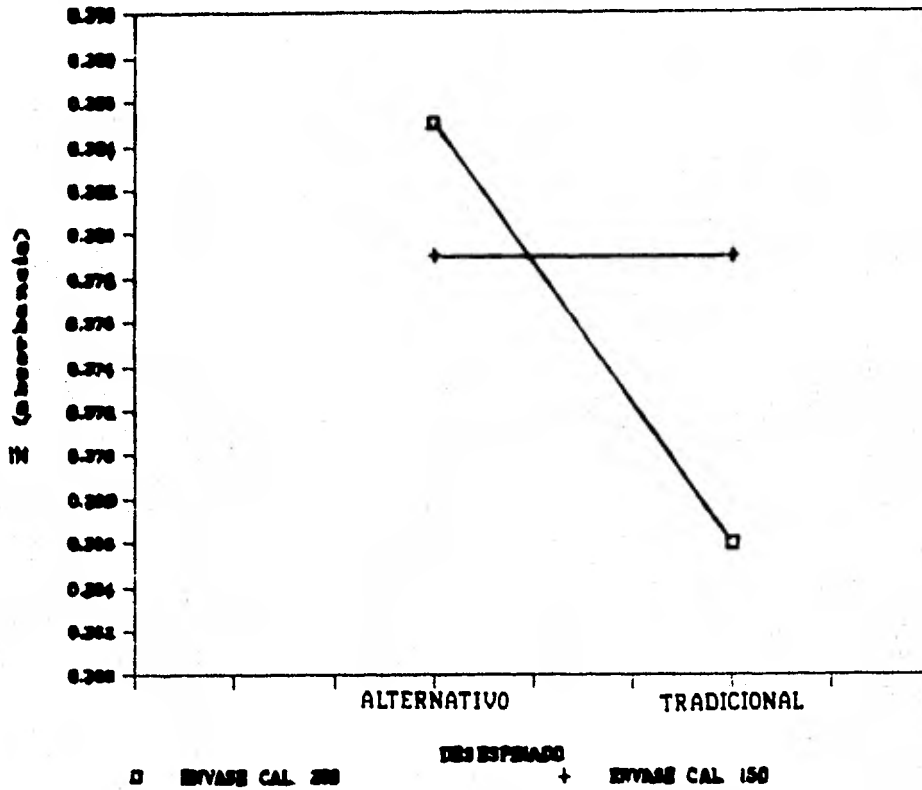
Donde: A = envase B = desespinado D = tiempo
AB = envase-desespinado

A los 22 días de almacenamiento (gráfica 7.1), nuevamente el envase calibre 200 y desespinado alternativo dieron lugar a una menor pérdida de clorofila.

Aun cuando el analisis estadístico mostro que la temperatura no influyo significativamente, en la gráfica 7.6 y tabla 7.14, se observa la tendencia de mayores velocidades de degradación a 6°C que a 4°C (mayor pendiente), mientras los primeros mantuvieron un 70% como porcentaje mínimo hasta el décimo día, en los segundos este porcentaje se presento hasta los 22 es decir, en más del doble del tiempo lo que concuerda con la bibliografía respecto a que a una temperatura baja disminuye la velocidad de

GRAFICA ANDEVA 7.L

PÉRDIDA DE CLOROFILA



las reacciones químicas o enzimáticas.

GRAFICA 7.6. Efecto del desespinado, envasado y temperatura en la retención de clorofila.

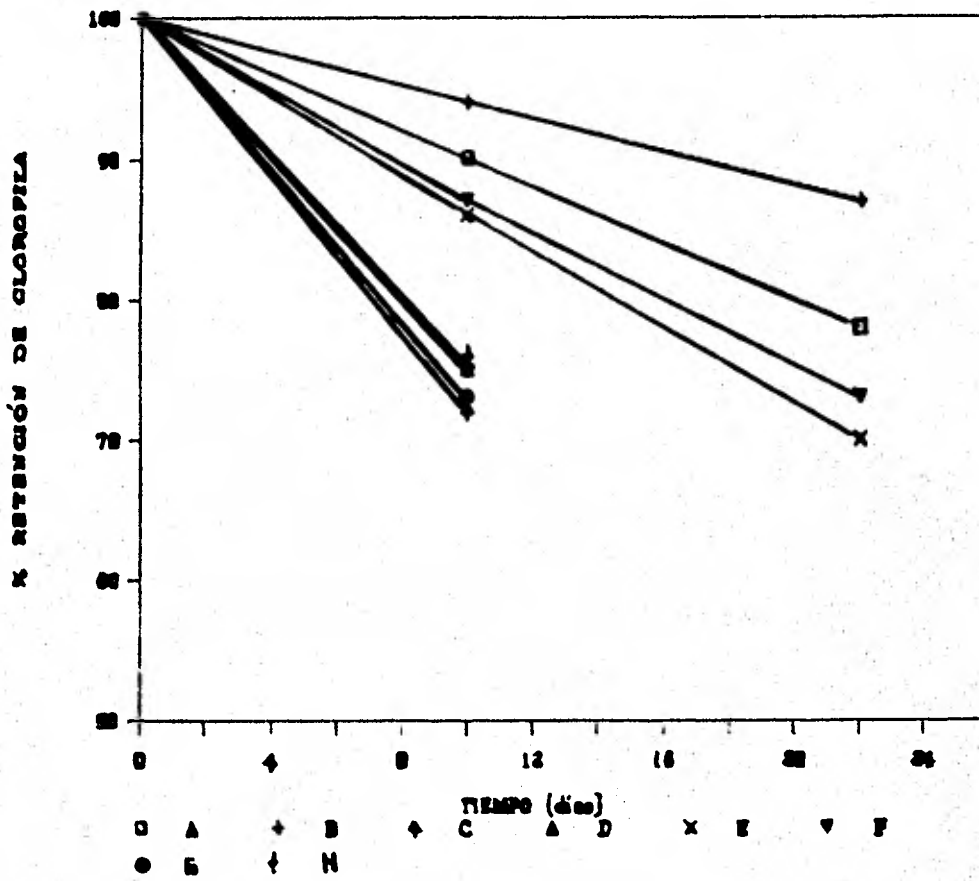


TABLA 7.14. Porcentaje de retención de clorofila a 10 y 22 días de almacenamiento.

| ALMACENAMIENTO (días) | 10 | | | | 22 | |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 6 | | 4 | | 4 | |
| TEMPERATURA (°C) | | | | | | |
| PELICULA (calibre) | 150 | 200 | 150 | 200 | 150 | 200 |
| DESESPINADO ALTERNATIVO | C 72.0% | G 73.0% | A 90.0% | E 86.0% | A 78.0% | E 70.0% |
| DESESPINADO TRADICIONAL | D 75.0% | H 74.0% | B 94.0% | F 87.0% | B 87.0% | F 73.0% |

Con el desespinado y el envase, en forma individual los niveles de variación manejados no alcanzaron a reflejar diferencias significativas en la degradación de clorofila como una de las alteraciones que se presentan en la senescencia de las hortalizas (36).

Nótese que los tratamientos más favorables fueron con el desespinado tradicional, envase calibre 150 (tratamientos B y D) y los menos con desespinado alternativo, envase calibre 200 (tratamientos E y C) a 4 y 6°C.

Cabe comentar para este comportamiento que posiblemente las rutas de degradación de clorofila fueron diferentes para los tratamientos B,D y E,C, porque aún cuando los primeros tenían mayor porcentaje de clorofila, su color tendía hacia verde olivo y café; mientras que los segundos hacia verde brillante y ligera

decoloración, siendo factible que la técnica de análisis no cuantificara los compuestos incoloros.

En el efecto del tiempo, la degradación de clorofila no alcanzó a manifestarse en el cambio del color verde a amarillo, posiblemente porque el nopal tiene un alto contenido y a que este proceso se hace notorio cuando la senescencia está avanzada.

7.5.5 Apariencia.

Evaluar las propiedades sensoriales del nopal fue trascendental para determinar en que momento finalizaba su periodo de almacenamiento. Se realizó considerando la severidad de las alteraciones (oxidación, ataque por microorganismos, etc.) que detrimen la calidad del nopal, las cuales se expresan dependiendo del tratamiento postcosecha aplicado e influyen en la aceptación del consumidor.

En la tabla 7.15 se aprecia que la temperatura y tiempo de almacenamiento hasta los 10 días, presentaron efecto altamente significativo; el desespinado así como la interacción temperatura-desespinado, significativo; mientras que el envase, las interacciones temperatura-envase, envase-desespinado y temperatura-envase-desespinado no tuvieron efecto.

TABLA 7.15. Análisis de varianza para calidad como variable de respuesta, a los 10 días de almacenamiento, por los efectos de desespinado, envasado, temperatura y tiempo de almacenamiento, con dos réplicas por nueve panelistas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| B L O Q U E S | | | | | | |
| BLOQUE D | 225.03 | 5 | 45.01 | 141.53 | 2.21 | 3.02 |
| Panelistas | 0 | 8 | 0 | 0 | 1.94 | 2.51 |
| E F E C T O S P R I N C I P A L E S | | | | | | |
| C | 273.38 | 1 | 273.38 | 859.69 | 3.89 | 6.63 |
| A | 0 | 1 | 0 | 0 | 3.84 | 6.63 |
| B | 1.50 | 1 | 1.50 | 4.72 | 3.84 | 6.63 |
| I N T E R A C C I O N D E 2 F A C T O R E S | | | | | | |
| CA | 0 | 1 | 0 | 0 | 3.84 | 6.63 |
| CB | 1.50 | 1 | 1.50 | 4.70 | 3.84 | 6.63 |
| AB | 0.36 | 1 | 0.36 | 1.12 | 3.84 | 6.63 |
| I N T E R A C C I O N D E 3 F A C T O R E S | | | | | | |
| CAB | 0.385 | 1 | 0.385 | 1.21 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 268.492 | 843 | 0.318 | | | |
| Total | 770.630 | 863 | | | | |

Donde: A = envase; B = desespinado; C = temperatura
D = tiempo; CA = temperatura-envase
CB = temperatura-desespinado; AB = envase-desespinado
CAB = temperatura-envase-desespinado

A los 22 días, el envase no influyo significativamente, el tiempo tuvo efecto significativo y el desespinado así como la interaccion envase-desespinado, altamente significativo (tabla 7.16).

TABLA 7.16. Análisis de varianza para calidad como variable de respuesta, a los 22 días de almacenamiento, por los efectos de desespinado, envasado y tiempo de almacenamiento, con dos réplicas y nueve panelistas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| B L O Q U E S | | | | | | |
| BLOQUE D | 1366.790 | 11 | 124.250 | 2.00 | | |
| Panelistas | 0 | 8 | 0 | 0 | | |
| E F E C T O S P R I N C I P A L E S | | | | | | |
| A | 0.85 | 1 | 0.85 | 1.44 | | |
| B | 225.10 | 1 | 225.10 | 381.53 | | |
| I N T E R A C C I O N D E 2 F A C T O R E S | | | | | | |
| AB | 7.59 | 1 | 7.59 | 12.86 | | |
| Error | 496.58 | 841 | 0.59 | | | |
| Total | 2096.91 | 863 | | | | |

Donde: A = envase; B = desespinado; D = tiempo
AB = envase-desespinado

Los panelistas no influyeron significativamente, lo que refleja la importancia del entrenamiento para que la evaluación de las variables no paramétricas fuera objetiva.

En la tabla 7.17, se observa que la temperatura de 4°C retardo por mas tiempo la senescencia, por lo tanto la susceptibilidad del producto a deteriorarse y en consecuencia la pérdida de calidad a 6°C, en el décimo día de almacenamiento, la calidad fué en promedio 4 o "regular", en cambio a 4°C todos los tratamientos presentaron 1 o "excelente".

Por efecto del desespinado, a 6°C los tratamientos con limpieza alternativa o tradicional mostraron en promedio nivel 4 o "regular" exhibiendo oxidaciones, mientras que a 4°C con ambos desespinaos fué excelente. Estos resultados reflejan la importancia de reducir la temperatura y minimizar los daños en la superficie del nopal, a fin de retardar la proliferación de microorganismos y el oscurecimiento enzimático, ya que fue con los tratamientos con desespinado alternativo y a 4°C (A y E) se alcanzaron 22 días de almacenamiento.

Al día 22, mientras que para los tratamientos a 6°C ya había finalizado su vida de almacenamiento a 4°C, el método alternativo permitió calidad de 3 o "buena" debido a la aparición de algunas oxidaciones; mientras que el tradicional, tuvo nivel de 6 o "muy mala" por oxidación y ataque por microorganismos.

Cabe aclarar que otra de las alteraciones observadas fué el desarrollo de daños por frío (hundimientos con decoloración y resequead) aunque solo se presentó en 2 unidades experimentales que representan el 0.5% de las 400 que se almacenaron.

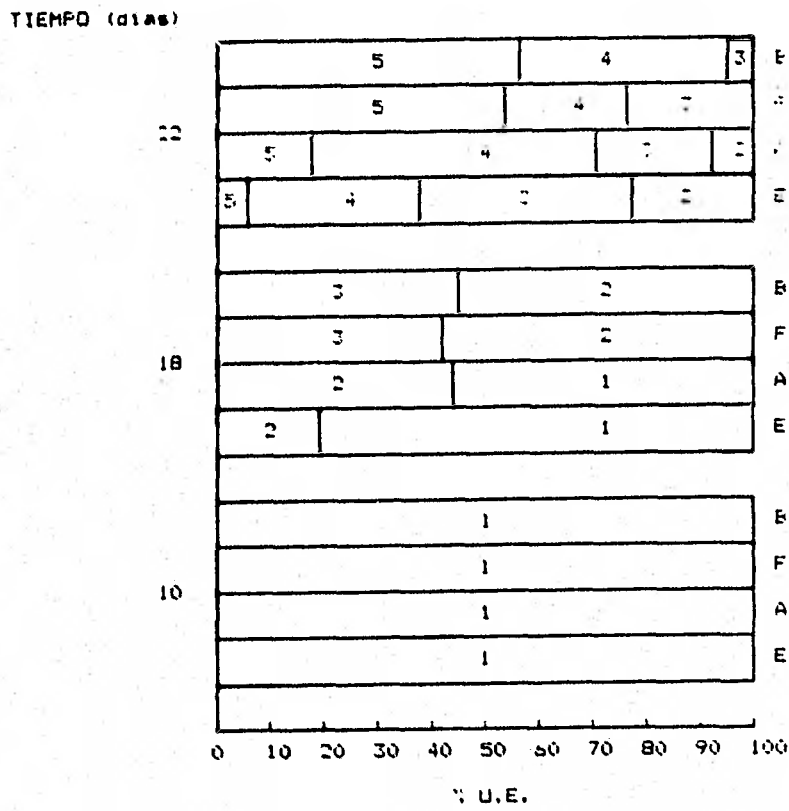
TABLA 7.17. Evaluación organoléptica del nopal almacenado a 4 y 6°C en envase sellado con aire como espacio de cabeza inicial.

| D i a s c e n | Temperatura = 4 °C | | | | Temperatura = 6 °C | | | |
|---------------------------------|-------------------------|-----|-------------------------|-----|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | 150 | 200 | 150 | 200 | 150 | 200 | 150 | 200 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 12 | 2 | 2 | 3 | 3 | | | | |
| 14 | 2 | 1 | 3 | 2 | | | | |
| 16 | 2 | 1 | 3 | 3 | | | | |
| 18 | 2 | 1 | 4 | 4 | | | | |
| 20 | 4 | 3 | 5 | 7 | | | | |
| 22 | 3 | 3 | 6 | 7 | | | | |

NOTA: Se utilizó escala graduada con 1 como excelente y 7 como pésimo.
 Promedio de 18 datos.
 Variable de respuesta.- calidad.

Respecto al envase, en la tabla 7.17 no se detectan diferencias notorias que den preferencia al uso de alguno de ellos. Sin embargo, en la gráfica 7.7 obtenida de todas las unidades experimentales a lo largo del almacenamiento, la película calibre 200 se evidenció como la más favorable al permitir obtener mayores porcentajes de los niveles de calidad más aceptables. De los tratamientos A y E, cuya única diferencia fué el envase, el E resultó más idóneo al finalizar el almacenamiento con 85% de producto vendible del cual más de la mitad tenía calidad 2 y 3 ("muy buena" y "buena") mientras que el tratamiento A, con solo 80% de producto aceptable presentó más de la mitad con calidad 4 o "regular".

GRAFICA 7.7. Niveles de calidad en funcion del envase y desespinado.



Del análisis global de esta primera etapa experimental, se observó que las condiciones de almacenamiento más favorables para la conservación del nopal en fresco fueron el desespinado alternativo, envasado en película de polietileno calibre 200 y temperatura de 4°C, siendo estos niveles de evaluación los que se evaluaron nuevamente en la segunda etapa, omitiendo la película calibre 150 y temperatura de 6°C por el corto periodo de vida útil, comparado con el de las condiciones anteriores.

Dado que los resultados de las variables de respuesta paramétricas (P.F.P., vitamina C y clorofila) no presentaron correspondencia definida con la apariencia general del producto, que fue la que determinó el final del almacenamiento porque reflejó cualitativamente el efecto de las variables evaluadas durante la experimentación (desespinado, envasado y temperatura de almacenamiento), se decidió excluirla y utilizar para la segunda etapa variables de respuesta no paramétricas, incluyendo apariencia apreciada sensorialmente a través de sus diferentes componentes: oxidación, ataque por microorganismos, textura, daños por frío y daños por CO₂.

7.6 Segunda etapa experimental.

Previo a la discusión de los resultados obtenidos en esta etapa y a fin de tener una mejor comprensión de los mismos cabe aclarar que para la investigación, el nopal fue donado por los productores de Milpa Alta. Aunque se insistió en las características de cosecha, ésta se realizó con una antelación de

24 hrs. según lo indicaron. Sin embargo, esto se conoció al finalizar la corrida experimental cuando se cuestionó a los productores sobre el manejo postcosecha del nopal previo a su arribo a las instalaciones de la FES-C.

7.6.1 Efecto de los tratamientos en la velocidad de respiración.

De acuerdo al análisis estadístico realizado a las velocidades de respiración, resultó que ni el desespinado ni la interacción envase-desespinado, tuvieron efecto significativo. A diferencia, el envase y el tiempo de almacenamiento fueron altamente significativos (tabla 7.18).

TABLA 7.18. Análisis de varianza para velocidad de respiración como variable de respuesta, a los 16 días de almacenamiento, por los efectos del desespinado, envasado y tiempo, con dos réplicas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| E F E C T O S P R I N C I P A L E S | | | | | | |
| A | 77.17 | 1 | 77.17 | 233.85 | 4.0 | 7.08 |
| B | 0.55 | 1 | 0.55 | 1.67 | 4.0 | 7.08 |
| BLOQUE D | 2144.74 | 8 | 268.09 | 812.39 | 2.1 | 2.82 |
| I N T E R A C C I O N D E 2 F A C T O R E S | | | | | | |
| AB | 0.06 | 1 | 0.06 | 0.18 | 4.0 | 7.08 |
| Error | 20.03 | 60 | 0.33 | | | |

Donde: A = envase; B = desespinado; D = tiempo

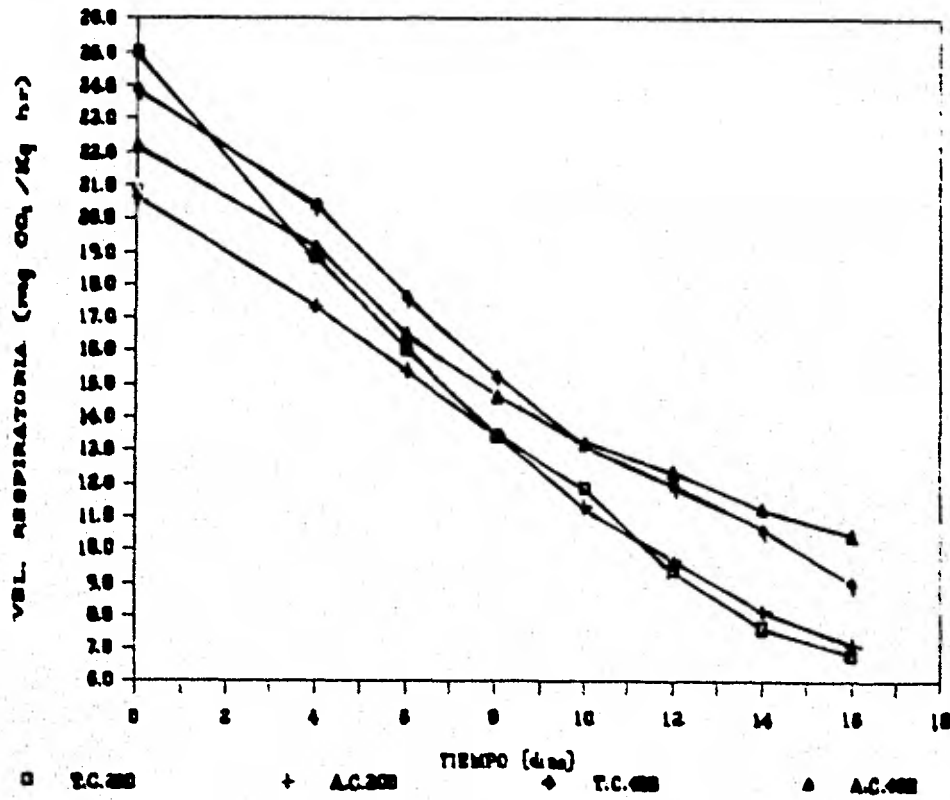
Las velocidades de respiración fueron similares en todos los tratamientos (gráfica 7.8) variando entre ellos en menos de 4 unidades al día 16 de almacenamiento. Al igual que en los experimentos anteriores, el producto exhibió un patrón de tipo no climatérico.

Nótese el efecto que tuvo la limpieza al presentarse mayores velocidades de respiración con el desespinado tradicional comparado con el alternativo hasta el día 8, en el envase calibre 200 y hasta el día 10 en el de calibre 400.

Posteriormente el comportamiento se invierte, dado que cuando el nopal es sometido a limpieza tradicional, acelera su senescencia. Por su parte, el método alternativo al provocar menores daños permite un ahorro de energía retardándola e implícitamente conserva al producto por mayor tiempo (tres días). (Gráfica 7.9).

Las mayores velocidades de respiración se tuvieron en el envase calibre 400, ello se debió a que la composición atmosférica circundante al producto, fue más rica en O_2 y pobre en CO_2 a diferencia de la del calibre 200 (gráfica 7.10), lo que propició que el nopal dentro de este último presentara menor actividad respiratoria (gráfica 7.8).

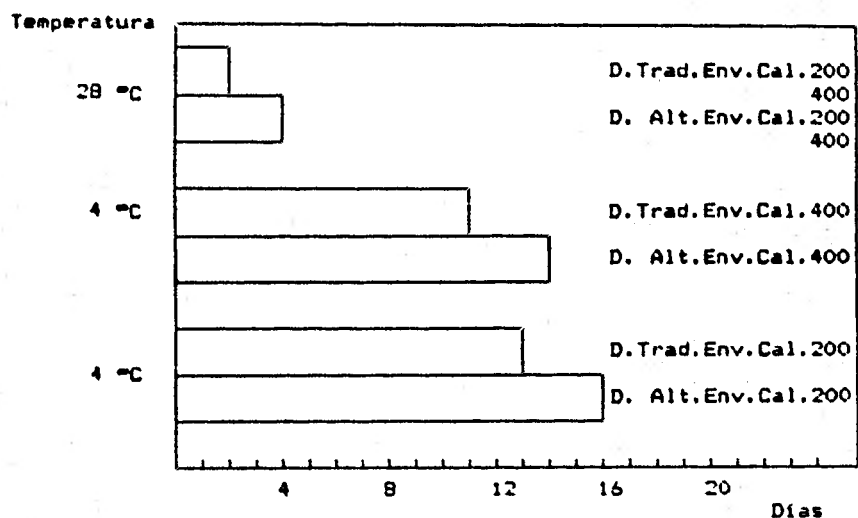
GRAFICA 7.8. Efecto del envase y el desespinado en la velocidad de respiración del Nopal (4°C).



7.6.2 Efecto del desespinado y envase en el tiempo de almacenamiento del nopal.

En la gráfica 7.9, se aprecia que el desespinado alternativo fué nuevamente el más favorable para prolongar la vida del nopal al incrementar en dos y tres días el almacenamiento en contraste con el desespinado tradicional.

GRAFICA 7.9. Efecto del desespinado y el envase en la vida del nopal.



En lo que atañe al envase, el de calibre 400 permitió 14 días y el de calibre 200, 16 días de almacenamiento, es decir, 2 días más para el segundo lo cual se explica dada la mayor reducción de O_2 y aumento de CO_2 , siendo esta atmósfera más favorable. Sin

embargo, la vida lograda en esta etapa resulto considerablemente menor (con 6 días) que la obtenida en la primera etapa experimental. Tal comportamiento se atribuye a que el nopal utilizado no era recién cosechado.

Este hecho repercutió negativamente, ya que como antes se indico la maxima actividad respiratoria se presenta en las primeras horas después de la cosecha y es en este periodo cuando utiliza la mayor parte de sus reservas energeticas, que sirven entre otras cosas para mantener procesos vitales y consecuentemente retardar la senescencia. (23)

Cabe establecer que al desespinar el nopal inmediatamente despues de la cosecha se incremento en forma considerable la velocidad de respiración (gráfica 7.1) hasta 75 mg CO₂/Kg hr, pero cuando se cosecho y permaneció 24 hrs a temperatura ambiente antes de someterlo a las operaciones postcosecha, la producción de CO₂ se elevo solo a 25 mg CO₂/Kg hr (grafica 7.8), siendo menor la actividad en alrededor de 67% debido posiblemente a que gran parte de los sustratos para respiración ya se habian consumido. Tal velocidad de respiración fué originada en gran parte por la manipulacion a que se sometio, ya que si no se hubiese desespinado, las velocidades serian aún menores. Esto afecto en dos aspectos fundamentales: el menor tiempo de vida util, en que no se lograran los niveles de CO₂ / O₂ deseados para la MAP, lo que a su vez influyo para que el almacenamiento no se prolongara y solo se mantuviera con calidad aceptable por

15 días.

7.6.3 Efecto del envase y desespinado en el establecimiento de la atmósfera modificada.

Durante el almacenamiento se monitorearon las velocidades relativas de respiración a través de la acumulación de CO_2 y disminución de O_2 , expresado como porcentaje del total de gas del espacio de cabeza en el envase. (Gráfica 7.10).

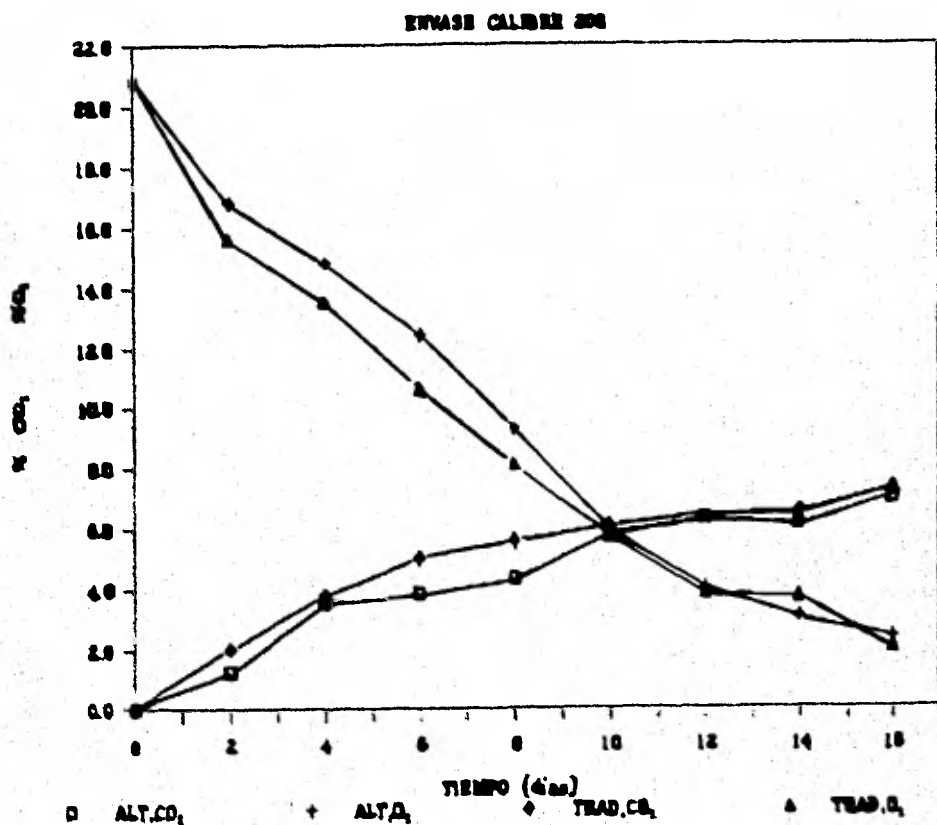
De tal forma, la acumulación total de CO_2 y la concomitante reducción de O_2 puede considerarse en cierta medida como una manifestación de la respiración total. Además la pendiente de la gráfica es un indicador de la velocidad de respiración.

El nopal con ambos tipos de desespinado desarrolló una atmósfera modificada semejante, pero esta varió en función del envase. De acuerdo con la tendencia esperada, la acumulación de CO_2 y la disminución de O_2 influyó en la reducción del ritmo respiratorio. (17)

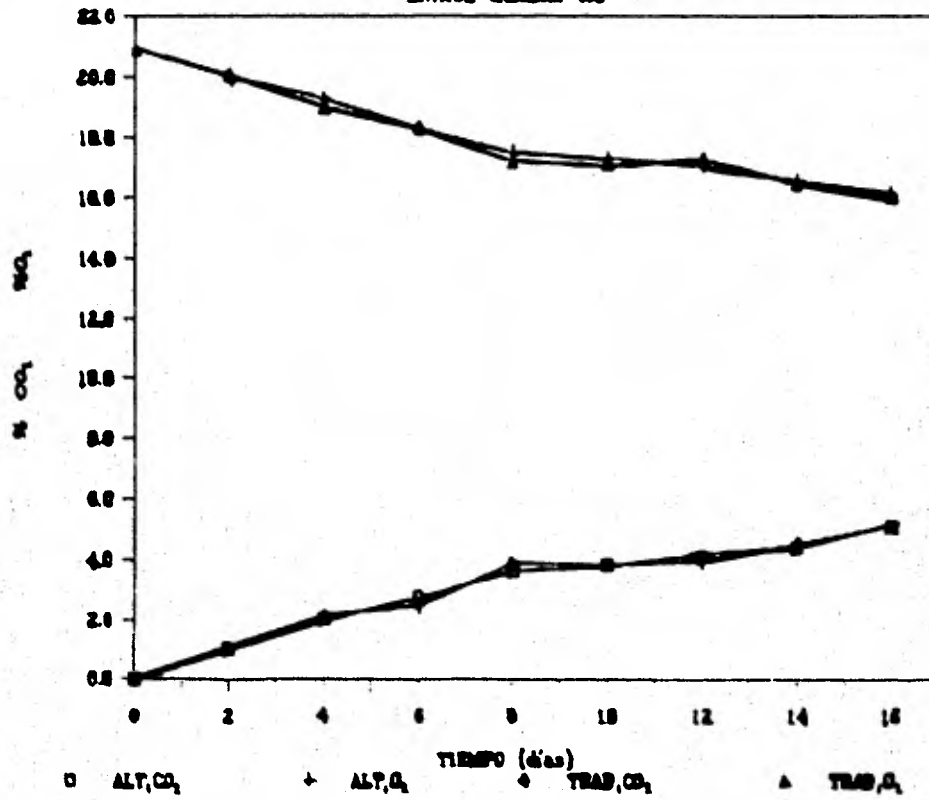
En el caso del envase calibre 200 se observa que al día 16 el nivel de oxígeno era excesivamente bajo, alrededor del 2% y el CO_2 se acumuló hasta 7% (lo que hizo posible que se favoreciera la respiración anaeróbica), aparentemente la disminución de O_2 fue más rápida que la acumulación de CO_2 (porque la pendiente del O_2 es mayor), sin embargo cabe mencionar que el envase presenta una mayor permeabilidad al CO_2 que al O_2 , haciendo que la cantidad de oxígeno que logró entrar al envase fuera menor que la que logró salir de dióxido de carbono, por ello parece que son

diferentes los cambios en los niveles de ambos gases.

GRAFICA 7.10. Composición del espacio de cabeza en envases sellados con aire como espacio de cabeza inicial y nopal almacenado a 4°C.



ENVASE CALIBRE 400



Para el envase calibre 400, con orificio, la modificación atmosférica fué diferente ya que en este caso todo sugiere que hubo la misma velocidad de consumo de O_2 que de producción de CO_2 (misma pendiente), lo que se aproxima a un coeficiente respiratorio de uno (C.R.=1).

En éste envase, la máxima reducción de O_2 fué hasta 16% y la acumulación de CO_2 solo de 5.1% que resultan en aproximadamente 50% menos que lo deseado (11% y 10% respectivamente). Tal comportamiento se atribuye a que el nopal utilizado no cumplió con las características de cosecha (no era recién cosechado) como antes se mencionó, por lo que su gran actividad respiratoria inicial no se ocupó para el establecimiento de la MAP requerida.

Otro aspecto relevante es que aunque trató de adecuarse el envase a las necesidades del nopal, la película utilizada se obtuvo a partir de una estimación y no es la idónea ya que ninguno de los materiales disponibles comercialmente presenta las permeabilidades al CO_2 y al O_2 precisadas.

7.6.4 Apariencia en función del envase y desespinado.

Antes de iniciar la discusión, cabe aclarar que de las variables no paramétricas únicamente en textura hubo efecto significativo por parte de panelistas y por otro lado, al mencionar el efecto del envase no se refiere a la diferencia en espesor, sino al tipo de atmósfera generada por cada uno, esto por el hecho de que al envase calibre 400 se le practicó un orificio y al de calibre 200 no, por lo que no existe punto de

comparación entre estas variables.

7.6.4.1 Oxidación.

La oxidación del producto se presentó como zonas y puntos color café rojizo sobre la superficie del nopal en las heridas de corte. Estadísticamente se obtuvo que el desespinado y el tiempo de almacenamiento tuvieron efecto altamente significativo en la aparición de oxidaciones. El envase así como la interacción envase-desespinado no afectaron. (Tabla 7.19).

TABLA 7.19. Analisis de varianza para oxidación como variable de respuesta, a los 16 días de almacenamiento, por los efectos del desespinado, envasado y tiempo de almacenamiento, con dos réplicas por nueve panelistas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| B L O Q U E S | | | | | | |
| BLOQUE D | 234.75 | 8 | 29.34 | 38.10 | 1.94 | 2.51 |
| Panelistas | 4.11 | 8 | 0.51 | 0.66 | 1.94 | 2.51 |
| E F E C T O S P R I N C I P A L E S | | | | | | |
| A | 0.12 | 1 | 0.12 | 0.15 | 3.84 | 6.63 |
| B | 47.26 | 1 | 47.26 | 61.38 | 3.84 | 6.63 |
| I N T E R A C C I O N D E 2 F A C T O R E S | | | | | | |
| AB | 2.59 | 1 | 2.59 | 3.35 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 485.92 | 628 | 0.77 | | | |
| Total | 774.05 | 647 | | | | |

Donde: A = envase; B = desespinado; D = tiempo
AB = envase-desespinado.

En el nopal con desespinado alternativo la oxidación fue menos severa que en el desespinado tradicional; mientras el primero recibió en promedio calificaciones de 2 o "muy bueno" aún al día 16 de almacenamiento, el segundo se calificó con 4 o regular (tabla 7.2). Tal comportamiento era de esperarse dada la gran diferencia en los daños ocasionados por los dos tipos de limpieza; siendo el método tradicional por sus mayores daños en la epidermis el que más favoreció el oscurecimiento enzimático ya que el efecto del antioxidante (4,42) no resultó suficiente para inhibir la actividad de las fenolasas.

La acción del tiempo también es evidente; en los primeros días todas las unidades experimentales presentaron calidad 1 o "excelente" y al finalizar el almacenamiento se registró nivel de 6 o "muy malo" en el tratamiento menos favorable.

En la tabla 7.20 se observa que tiene mayor importancia la reducción de las lesiones generadas al efectuar la limpieza que la composición de la atmósfera circundante al nopal (provocada por el envase) porque aunque se recomienda la reducción de O_2 y la elevación de CO_2 para disminuir la oxidación (33), durante el experimento, los niveles de variación desarrollados entre las atmósferas por los dos espesores de película plástica no alcanzaron a reflejar que una u otra fuera más recomendable para disminuir el proceso oxidativo.

TABLA 7.20. Evaluación organoléptica de nopal almacenado a 4°C en envases sellados, con aire como espacio de cabeza inicial, para variable de respuesta: oxidación.

| D i e m a n a s c é n | A | Temperatura = 4 °C | | | |
|---|---|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | | 200 | 400 | 200 | 400 |
| 0 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 5 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 10 | | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 12 | | 2 | 2 | 1 | 4 |
| 14 | | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 16 | | 2 | 2 | 6 | 2 |

NOTA: Se utilizó escala descriptiva graduada con 1 como excelente y 7 como pésimo.
Promedio de 18 datos.

7.6.4.2 Ataque por microorganismos.

En esta variable, la cual se manifiesta a través de puntos y zonas negras y acuosas, estadísticamente se obtuvieron diferencias altamente significativas debido al envase, desespinado y al tiempo. La interacción envase-desespinado influyó significativamente. (tabla 7.21).

TABLA 7.21. Analisis de varianza para ataque por microorganismos como variable de respuesta, a los 16 días de almacenamiento, por los efectos del desespinado, envasado y tiempo de almacenamiento, con dos réplicas por nueve panelistas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| B L O Q U E S | | | | | | |
| BLOQUE D | 856.93 | 8 | 107.116 | 198.363 | 1.94 | 2.51 |
| Panelistas | 0.65 | 8 | 0.081 | 0.150 | 1.94 | 2.51 |
| E F E C T O S P R I N C I P A L E S | | | | | | |
| A | 63.60 | 1 | 63.60 | 117.778 | 3.84 | 6.63 |
| B | 53.97 | 1 | 53.97 | 99.944 | 3.84 | 6.63 |
| I N T E R A C C I O N D E 2 F A C T O R E S | | | | | | |
| AB | 3.70 | 1 | 3.70 | 6.852 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 339.15 | 628 | | | | |
| Total | 1318.0 | 647 | | | | |

Donde: A = envase; B = desespinado; D = tiempo
AB = envase-desespinado

En lo referente al envase, en el de calibre 400 se propicio mas el desarrollo de microorganismos, ya que mientras en el de calibre 200 la calidad promedio se mantuvo en 4 o "regular" hasta el dia 16, en el primero el nivel obtenido fue 6 o "muy malo". Tal comportamiento se atribuye a que en la película calibre 200 se da lugar a una atmosfera más pobre en O_2 que en el de calibre 400 (porque este ultimo se utilizo con orificios) siendo por ello

mejor el control de microorganismos en uno que en otro. (Tabla 7.22).

TABLA 7.22. Evaluación organoléptica de nopal almacenado a 4°C en envases sellados, con aire como espacio de cabeza inicial, para variable de respuesta: ataque por microorganismos.

| D i e m a n a s c e ñ n | Temperatura = 4 °C | | | |
|--|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | 200 | 400 | 200 | 400 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 12 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 14 | 2 | 3 | 2 | 5 |
| 16 | 2 | 5 | 5 | 6 |

NOTA: Promedio de 18 datos.

Refiriéndose a la limpieza, con el método alternativo se presentaron menores alteraciones, ya que al final del almacenamiento, el producto con este desespinado recibió en promedio calificación de 4 o "regular" y la calificación del

nopal con desespinado tradicional fué de 6 o "muy mala". Con ello, nuevamente se refleja la importancia de reducir los daños en la epidermis del nopal, porque de esta forma el producto queda menos expuesto a ser atacado por los microorganismos.

Por su parte, la influencia del tiempo en el desarrollo de microorganismos fué obvia ya que aunque la calidad de 1 o "excelente" se dio a todos los tratamientos hasta el día 8, posteriormente se deterioro con rapidez llegando en promedio a niveles de 5 o "mala" al finalizar el almacenamiento.

De los tratamientos aplicados la interacción más favorable fué la del envase calibre 200 con el desespinado alternativo y la menos deseable la del envase calibre 400 con desespinado tradicional ya que en la primera se obtuvo al final calidad 2 o "muy buena" y en la segunda al mismo día la calidad fué de 6 o "muy mala".

Los resultados sugieren que para un mayor control del desarrollo microbiano, lo más recomendable es la reducción del daño superficial mediante el desespinado alternativo y almacenar en atmosferas más ricas en CO₂ y más pobres en O₂, ya que con ello la susceptibilidad al deterioro es menor.

Al finalizar el almacenamiento una de las alteraciones de mayor importancia fué el desarrollo microbiano, lo que concuerda con la bibliografía (1,38) respecto a que esta es una de las principales causas por las que finaliza el almacenamiento de productos refrigerados, por lo que podría considerarse la

aplicación de fungicidas para el control de enfermedades (ver. 23) y así prolongar la vida útil del nopal.

7.6.4.3 Daños por CO₂.

Los síntomas de daño por CO₂ en el nopal se expresan a través de zonas acuosas, color verde oscuro y aroma característico de fermentación. Su aparición por el nivel excesivamente bajo de O₂ se presentó solo en la película de calibre 200, al día 14 y 16 de almacenamiento (tabla 7.24). Dicho comportamiento se refleja en el análisis de varianza al obtenerse diferencias altamente significativas por efecto del envase, desespinado, tiempo y la interacción envase-desespinado (tabla 7.23).

Los daños por CO₂ ocurrieron en respuesta al bajo nivel de oxígeno que había en el espacio de cabeza en el envase calibre 200 (alrededor de 2%), gráfica 7.10 . Esto confirma lo señalado al estimar los envases, referente a que con este calibre se podría favorecer la respiración anaeróbica. Por otro lado en el envase calibre 400 debido a que se utilizaron orificios se evitó la reducción de O₂ y el aumento de CO₂ a niveles dañinos.

TABLA 7.23. Análisis de varianza para daños por CO₂ como variable de respuesta, a los 16 días de almacenamiento, por los efectos del desespinado, envasado y tiempo de almacenamiento, con dos réplicas y nueve panelistas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| B L O Q U E S | | | | | | |
| BLOQUE D | 167.587 | 8 | 20.948 | 107.979 | 1.94 | 2.51 |
| Panelistas | 0.170 | 8 | 0.021 | 0.108 | 1.94 | 2.51 |
| E F E C T O S P R I N C I P A L E S | | | | | | |
| A | 19.705 | 1 | 19.705 | 101.572 | 3.84 | 6.63 |
| B | 3.409 | 1 | 3.409 | 17.572 | 3.84 | 6.63 |
| I N T E R A C C I O N D E 2 F A C T O R E S | | | | | | |
| AB | 3.409 | 1 | 3.409 | 17.572 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 122.126 | 628 | | | | |
| Total | 316.406 | 647 | | | | |

Donde: A = envase; B = desespinado; D = tiempo
AB = envase-desespinado.

Algunos investigadores, señalan que el uso de perforaciones excluye la posibilidad de formar las condiciones de atmósfera modificada. Sin embargo, en el presente estudio el monitoreo de los niveles de CO₂ y O₂ indicó que sí se modificó la atmósfera aunque no en la medida deseada, lo que se debió en parte al uso de orificios así como al tiempo transcurrido desde la cosecha hasta la aplicación de las operaciones postcosecha.

TABLA 7.24. Evaluación organoléptica de nopal almacenado a 4°C en envases sellados, con aire como espacio de cabeza inicial, para variable de respuesta: daño por CO₂.

| D i a s c é n | A l t e r n a t i v o | Temperatura = 4 °C | | | |
|---------------------------------|---|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | | 200 | 400 | 200 | 400 |
| 0 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | | 4 | 1 | 2 | 1 |
| 16 | | 3 | 1 | 1 | 1 |

NOTA: Promedio de 18 datos.

Las mejores calificaciones fueron para el producto envasado en la película calibre 400, ya que no se desarrolló respiración anaeróbica durante su almacenamiento, a diferencia de la calibre 200 en el que parece ser si tiene lugar.

En lo que atañe al desespinado alternativo se obtuvieron niveles de 2 o "muy bueno" al día 16 y con el tradicional la

calificación fué de 1 o "excelente" esto en el producto envasado en la película calibre 200, tales resultados se atribuyen a que al finalizar el almacenamiento del nopal, este se encontraba con niveles bajos de O_2 lo que probablemente favoreció la respiración anaeróbica; a diferencia el producto del envase calibre 400 no presentó esta alteración.

7.6.4.4 Daños por frío.

En este caso, con el análisis estadístico se tuvo que todos los factores tuvieron influencia significativa (tabla 7.25). Sin embargo, es importante hacer notar que el daño por frío solo se observó en una unidad experimental en todo el almacenamiento (tabla 7.26).

El desorden fisiológico se presentó a través del hundimiento y decoloración, no acuoso de una zona bien definida en el cladodio.

Si se considera que esta unidad experimental representa el 0.05% de la población que se mantuvo en refrigeración (200 unidades experimentales), puede inferirse que la temperatura de almacenamiento es segura y que el envasado al permitir que se generara una atmósfera modificada cumplió su función como coadyuvante de la refrigeración (31, 32), al controlar la aparición de este tipo de alteraciones.

TABLA 7.25. Análisis de varianza para daños por frío como variable de respuesta, a los 16 días de almacenamiento, por los efectos del desespinado, envasado y tiempo de almacenamiento, con dos réplicas y nueve panelistas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|--|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| B L O Q U E S | | | | | | |
| BLOQUE D | 17.568 | 8 | 2.196 | 10.214 | 1.94 | 2.51 |
| Panelistas | 0.290 | 8 | 0.036 | 0.167 | 1.94 | 2.51 |
| E F E C T O S P R I N C I P A L E S | | | | | | |
| A | 1.483 | 1 | 1.403 | 6.898 | 3.84 | 6.63 |
| B | 2.594 | 1 | 2.594 | 12.065 | 3.84 | 6.63 |
| I N T E R A C C I O N D E 2 F A C T O R E S | | | | | | |
| AB | 1.298 | 1 | 1.298 | 6.037 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 135.099 | 628 | | | | |
| Total | 158.332 | 647 | | | | |

Donde: A = envase; B = desespinado; D = tiempo
AB = envase-desespinado.

TABLA 7.26. Evaluación organoléptica de nopal almacenado a 4°C en envases sellados, con aire como espacio de cabeza inicial, para variable de respuesta: daño por frío.

| D i a s c é n | Temperatura = 4 °C | | | |
|---------------------------------|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | 200 | 400 | 200 | 400 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 1 |

NOTA: Promedio de 18 datos.

7.6.4.5 Textura.

La textura se evaluo por lo firme o flácido del nopal mediante una inspeccion manual. Las diferencias encontradas son altamente significativas por efecto del desespinado, tiempo y la interacción envase-desespinado así como por los panelistas. (tabla 7.27). El efecto de los panelistas cobro importancia debido a que la textura se tornó flácida durante el tiempo en que se llevaba a cabo la evaluación, causado en parte por la pérdida de humedad porque el nopal se presentaba a los panelistas a temperatura ambiente y sin envase o protección alguna, además al exponerse a la manipulación por los panelistas y dado que la evaluación incluía la deformación o dobléz del nopal para emitir la calificación, los primeros en realizar el analisis daban valores hasta con dos niveles de diferencia que los últimos; por ello, en esta variable los cambios no se pueden atribuir con seguridad al efecto de los tratamientos y los resultados no se consideraron objetivos para su comparación. (Tabla 7.28).

TABLA 7.27. Analisis de varianza para textura como variable de respuesta, a los 15 dias de almacenamiento, por los efectos de desespinado, envasado y tiempo de almacenamiento, con dos replicas y nueve panelistas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| B L O Q U E S | | | | | | |
| BLOQUE D | 123.291 | 8 | 15.411 | 61.398 | 1.94 | 2.51 |
| Panelistas | 10.041 | 8 | 1.255 | 5.000 | 1.94 | 2.51 |
| E F E C T O S P R I N C I P A L E S | | | | | | |
| A | 0.889 | 1 | 0.889 | 3.542 | 3.84 | 5.63 |
| B | 2.136 | 1 | 7.136 | 28.430 | 3.84 | 5.63 |
| I N T E R A C C I O N D E 2 F A C T O R E S | | | | | | |
| AB | 4.173 | 1 | 4.173 | 16.625 | 3.84 | 5.63 |
| Error | 157.705 | 628 | 0.251 | | | |
| Total | 303.235 | 647 | | | | |

Donde: A = envase; B = desespinado; D = tiempo
 AB = envase-desespinado.

TABLA 7.28. Evaluación organoléptica de nopal almacenado a 4°C en envases sellados, con aire como espacio de cabeza inicial, para variable de respuesta: textura.

| D i e m a n a s c e n | Temperatura = 4 °C | | | |
|---|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | 200 | 400 | 200 | 400 |
| 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 8 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 10 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 12 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 14 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 16 | 3 | | 3 | 3 |

NOTA: Promedio de 18 datos.

7.6.4.6 Calidad o apariencia.

Para conocer el nivel de calidad o apariencia se consideraron en forma conjunta las variables de oxidación, ataque por microorganismos, daños por frío y daños por CO₂, ésta evaluación también coincide con la obtenida si se calcula el promedio de las calificaciones otorgadas para cada uno de los

componentes de la misma.

Notese en la tabla 7.29 que la calidad o apariencia se ve afectada en forma significativa por el envase y de manera altamente significativa por el desespinado, tiempo de almacenamiento y por la interacción envase-desespinado.

TABLA 7.29. Analisis de varianza para comerciabilidad como variable de respuesta, a los 16 días de almacenamiento, por los efectos del desespinado, envasado y tiempo de almacenamiento, con dos réplicas y nueve panelistas.

| FUENTE DE VARIACION | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F CALCULADA | F TABLAS $\alpha=0.05$ | F TABLAS $\alpha=0.01$ |
|---|-------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|------------------------|
| B L O Q U E S | | | | | | |
| BLOQUE D | 8.560 | 8 | 107.000 | 158.709 | 1.94 | 2.51 |
| Panelistas | 4.694 | 8 | 0.587 | 0.871 | 1.94 | 2.51 |
| E F E C T O S P R I N C I P A L E S | | | | | | |
| A | 3.858 | 1 | 3.858 | 5.722 | 3.84 | 6.63 |
| B | 107.556 | 1 | 107.556 | 159.533 | 3.84 | 6.63 |
| I N T E R A C C I O N D E 2 F A C T O R E S | | | | | | |
| AB | 4.500 | 1 | 4.500 | 6.675 | 3.84 | 6.63 |
| Error | 423.392 | 628 | 0.674 | | | |
| Total | | 647 | | | | |

Donde: A = envase; B = desespinado; D = tiempo
AB = envase-desespinado.

En la tabla 7.30, se observa que las mejores calificaciones se otorgaron al producto envasado en la película calibre 200 que

al final del almacenamiento tuvo en promedio calidad 4 o "regular" en comparación con la calificación 5 o "mala" para el de la película calibre 400.

Por lo que toca al desespinado, la limpieza alternativa permitió mantenerse al final con calidad de 4 o "regular" a diferencia del nopal con limpieza tradicional que fué calificado con 6 o "muy malo".

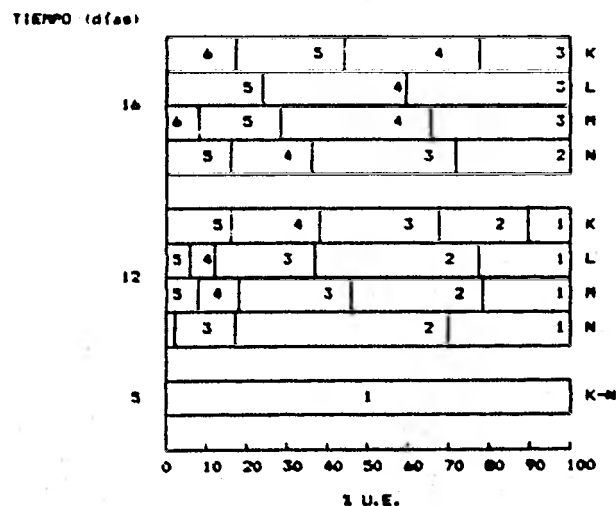
TABLA 7.30. Evaluación organoléptica de nopal almacenado a 4°C en envases sellados, con aire como espacio de cabeza inicial, para variable de respuesta: calidad.

| D i e m a n a c i ó n | Temperatura = 4 °C | | | |
|---|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | 200 | 400 | 200 | 400 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 8 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 10 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 12 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 14 | 3 | 2 | 3 | 5 |
| 16 | 3 | 4 | 5 | 6 |

Nota: Promedio de 18 datos.

En base a los analisis no paramétricos se obtuvo que para retardar la oxidacion enzimática y el desarrollo de microorganismos, principales alteraciones que afectan negativamente la calidad del nopal, es necesario realizar el desespinado alternativo ya que al disminuir los daños en la epidermis se reducen los procesos deteriorativos que principian en la superficie del producto (33), por lo tanto, se reafirmó como el mejor metodo de limpieza. El efecto del envase fué de gran importancia para prolongar el almacenamiento debido a la generacion de la atmósfera modificada (34), sin embargo existen ventajas y desventajas entre el uso de una u otra película porque mientras la de calibre 200 favoreció una atmósfera mas rica en CO₂ y pobre en O₂, siendo lo mas deseable para retardar la muerte de la hortaliza, al finalizar el periodo de refrigeración dió lugar aparentemente, a la respiración anaeróbica. Por su parte el envase calibre 400 aunque también facilitó el establecimiento de la atmósfera modificada pero sin causar éste tipo de daños, favoreció la proliferación de microorganismos.

GRAFICA 7.11. Niveles de calidad en función del envase y desespinado durante el almacenamiento.



Aludiendo los niveles de calidad a lo largo del almacenamiento (gráfica 7.11), se observa que el tratamiento L con el envase calibre 200 y desespinado alternativo resultó más favorable para la conservación.

El último factor se reafirmó como el mejor ya que al finalizar el almacenamiento existía 82% de producto vendible del cual el 30% exhibió calidad 2 o "muy buena", el 40%, 3 o "buena" y 20%, 4 o "regular", lo que refleja que su apariencia estaba menos deteriorada que el nopal con desespinado tradicional que contaba 78% de calidad aceptable teniendo niveles de 3 o "bueno" y 4 o "regular", aproximadamente en partes iguales (tratamiento

K). No obstante, debe considerarse que en ésta etapa la vida útil resultó mucho menor que en la primera corrida experimental, dadas las condiciones en que se desarrollaron.

En general, las alteraciones que se presentaron en el nopal fueron comunes en ambas etapas experimentales, pero en el diseño factorial II, éstas aparecieron alrededor de 8 días antes, reduciéndose así la vida útil.

Los resultados muestran la importancia de almacenar producto fresco, debido a que las reservas de energía, una vez realizada la cosecha se consumen rápidamente y si ésta actividad respiratoria incrementada con el desespinado no se aprovecha para el establecimiento de la atmósfera modificada, las posibilidades de una vida útil prolongada se reducen.

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES.

- Es necesario que inmediatamente después de la cosecha el producto sea sometido a las operaciones básicas y/o especiales a fin de que su máxima actividad respiratoria sea aprovechada para el establecimiento de una MAP y en consecuencia por su efecto el almacenamiento pueda prolongarse.

- Con el desespinado alternativo al reducir los daños en la epidermis del nopal se retardan por mayor tiempo los cambios indeseables en la apariencia de los cladodios (oxidación, ataque por microorganismos, resequedad, etc.).

- Por los resultados obtenidos con el desespinado alternativo es factible implementarlo en el Centro de Acopio de Milpa Alta, ya que con práctica es posible agilizarlo.

- El uso de una película plástica de polietileno de baja densidad como envase es de gran importancia por el hecho de disminuir la pérdida fisiológica de peso y permitir la generación de una MAP al transcurrir el tiempo de almacenamiento y además de cumplir como coadyuvante de la refrigeración al evitar el desarrollo de daños por frío en el nopal.

- El efecto de la baja temperatura es el factor de mayor trascendencia para la conservación del nopal al reducir el metabolismo.

- La implementación del desespinado alternativo, el envasado con película plástica de polietileno de baja densidad calibre 200, temperatura de almacenamiento de 4°C y humedad relativa de

90-95%, permite alcanzar 22 días de almacenamiento.

- El desarrollo del presente estudio cumple su objetivo al implementar un manejo postcosecha que a través de las operaciones básicas y especiales logra incrementar la vida potencial del producto de 5 a 22 días, proporcionando de esta forma a los agricultores una alternativa para la solución de su problemática.

RECOMENDACIONES

9. RECOMENDACIONES.

- Inmediatamente después de la cosecha, realizar la aplicación de las operaciones postcosecha seguida de un almacenamiento refrigerado.

- Investigar la aplicación de diferentes concentraciones de ácido cítrico o bien el uso de otros antioxidantes.

- Dado que una de las principales alteraciones que finalizaron con el almacenamiento fué el ataque por microorganismos, se propone estudiar algún tratamiento con fungicidas.

- Utilizar la película plástica calibre 200 cuando se requieran períodos de almacenamiento prolongados (22 días).

- Evaluar vida potencial del producto en función de la época de cosecha.

- Evaluar la aplicación del preenfriamiento después de la cosecha en la conservación del nopal.

APPENDICE

10. APENDICE

APENDICE A.

Valores nutritivos del nopal en la dieta humana.

Por cada 100 gr. de alimento crudo.

| | | |
|--------------------|------|------|
| Porción comestible | 78 | % |
| Energia | 27 | Kcal |
| Proteinas | 0.17 | g |
| Grasas | 0.3 | g |
| Carbohidratos | 5.6 | g |
| Calcio | 9.3 | mg |
| Hierro | 1.6 | mg |
| Tiamina | 0.03 | mg |
| Riboflavina | 0.06 | mg |
| Niacina | 0.3 | mg |
| Acido ascorbico | 8.0 | mg |
| Retinol | 41 | mcg |

APENDICE B.

Tabla de resultados originales de la variable de respuesta
pérdida fisiológica de peso. (G)

| D i a n a c i ó n | Temperatura = 4 °C | | | | Temperatura = 6 °C | | | |
|---|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | A 150 | E 200 | B 150 | F 200 | C 150 | G 200 | D 150 | H 200 |
| 0 | 304.4 | 323.0 | 286.4 | 300.7 | 383.4 | 442.3 | 238.0 | 405.3 |
| | 443.8 | 323.0 | 340.6 | 279.4 | 374.0 | 267.7 | 283.0 | 338.5 |
| | 350.0 | 339.2 | 378.2 | 343.8 | 368.8 | 276.9 | 264.2 | 302.4 |
| 2 | 304.4 | 323.0 | 286.4 | 300.7 | 383.4 | 442.3 | 238.0 | 405.3 |
| | 443.8 | 323.0 | 340.6 | 279.4 | 374.0 | 267.7 | 283.0 | 338.5 |
| | 350.0 | 339.2 | 378.2 | 343.8 | 368.8 | 276.9 | 264.2 | 302.4 |
| 4 | 304.2 | 323.9 | 286.2 | 300.8 | 383.4 | 442.3 | 238.0 | 404.3 |
| | 443.6 | 323.1 | 340.6 | 279.5 | 373.8 | 267.7 | 282.9 | 338.3 |
| | 350.0 | 339.2 | 378.4 | 344.0 | 368.8 | 276.9 | 263.7 | 302.8 |
| 6 | 304.1 | 323.5 | 286.2 | 300.4 | 383.4 | 442.5 | 237.6 | 404.5 |
| | 443.7 | 320.8 | 340.0 | 279.1 | 375.1 | 267.7 | 282.7 | 338.5 |
| | 350.0 | 339.3 | 378.4 | 343.6 | 368.7 | 276.9 | 263.1 | 303.0 |
| 8 | 304.0 | 423.1 | 286.2 | 300.3 | 383.0 | 442.0 | 238.4 | 403.8 |
| | 443.3 | 322.5 | 340.4 | 287.7 | 373.5 | 267.8 | 282.7 | 338.1 |
| | 349.8 | 339.2 | 378.3 | 343.3 | 368.5 | 276.5 | 262.7 | 302.6 |
| 10 | 304.2 | 323.2 | 286.5 | 300.6 | 383.0 | 441.9 | 238.4 | 403.5 |
| | 443.8 | 322.5 | 340.7 | 278.9 | 373.4 | 267.7 | 287.7 | 338.0 |
| | 349.9 | 339.1 | 378.3 | 343.4 | 368.5 | 276.3 | 262.2 | 302.6 |
| 12 | 304.0 | 323.0 | 285.8 | 300.2 | 383.0 | 442.0 | 338.4 | 403.3 |
| | 443.0 | 322.3 | 340.6 | 278.5 | 373.4 | 267.7 | 282.7 | 337.8 |
| | 349.9 | 339.2 | 378.2 | 343.2 | 368.5 | 276.3 | 262.2 | 302.5 |

CONTINUA →

CONTINUACION.

| D i e n a n c i a | Temperatura = 4 °C | | | | Temperatura = 6 °C | | | |
|---|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | A 150 | E 200 | B 150 | F 200 | C 150 | G 200 | D 150 | H 200 |
| 14 | 303.4 | 323.0 | 285.7 | 300.2 | 383.0 | 442.0 | 238.3 | 403.1 |
| | 442.3 | 322.9 | 340.5 | 278.9 | 373.3 | 267.7 | 282.7 | 302.4 |
| | 349.7 | 339.3 | 377.6 | 343.2 | 368.3 | 276.3 | 262.3 | 302.4 |
| 16 | 303.7 | 322.9 | 286.1 | 300.4 | | | | |
| | 443.0 | 322.4 | 340.4 | 278.5 | | | | |
| | 349.6 | 338.9 | 377.9 | 343.2 | | | | |
| 18 | 303.9 | 323.0 | 285.8 | 300.2 | | | | |
| | 442.9 | 322.4 | 340.3 | 278.3 | | | | |
| | 349.5 | 338.9 | 377.8 | 343.0 | | | | |
| 20 | 303.5 | 326.5 | 285.9 | 299.7 | | | | |
| | 442.3 | 322.1 | 339.9 | 278.0 | | | | |
| | 349.2 | 338.6 | 377.4 | 343.0 | | | | |
| 22 | 303.2 | 322.4 | 285.9 | 299.8 | | | | |
| | 441.8 | 322.0 | 339.8 | 277.7 | | | | |
| | 348.8 | 338.7 | 377.4 | 342.4 | | | | |

APENDICE C.

Tabla de resultados originales de variable de respuesta
vitamina C. (mg ac.asc./100 g)

| D i a n e n | Temperatura = 4 °C | | | | Temperatura = 6 °C | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | A 150 | E 200 | B 150 | F 200 | C 150 | G 200 | D 150 | H 200 |
| 0 | 8.356 | 8.356 | 8.356 | 8.356 | 8.356 | 8.356 | 8.356 | 8.356 |
| | 8.356 | 8.356 | 8.356 | 8.356 | 8.356 | 8.356 | 8.356 | 8.356 |
| | 7.192 | 7.192 | 7.192 | 7.192 | 7.192 | 7.192 | 7.192 | 7.192 |
| | 7.192 | 7.192 | 7.192 | 7.192 | 7.192 | 7.192 | 7.192 | 7.192 |
| 2 | 3.288 | 3.630 | 3.767 | 3.973 | 5.000 | 7.055 | 4.178 | 4.000 |
| | 3.630 | 5.000 | 2.945 | 5.000 | 5.342 | 7.055 | 4.315 | 4.000 |
| | 4.315 | 7.795 | 5.137 | 4.000 | 5.479 | 4.315 | 1.781 | 4.315 |
| | 4.452 | 7.795 | 5.316 | 4.000 | 5.890 | 5.753 | 1.475 | 4.315 |
| 4 | 4.178 | 6.904 | 5.288 | 6.712 | 5.986 | 5.000 | 3.082 | 5.479 |
| | 3.014 | 6.219 | 6.644 | 6.329 | 6.534 | 4.658 | 3.630 | 5.479 |
| | 2.603 | 3.014 | 4.808 | 5.014 | 5.616 | 6.699 | 2.603 | 6.329 |
| | 3.014 | 5.137 | 4.808 | 4.699 | 5.616 | 6.014 | 2.945 | 6.329 |
| 6 | 3.767 | 2.945 | 3.014 | 4.658 | 3.356 | 1.712 | 2.534 | 3.699 |
| | 3.699 | 2.397 | 3.630 | 5.342 | 3.288 | 1.712 | 3.151 | 3.699 |
| | 4.384 | 3.425 | 3.671 | 3.767 | 2.329 | 1.712 | 2.945 | 2.945 |
| | 4.315 | 2.908 | 2.260 | 3.082 | 2.808 | 1.712 | 2.877 | 3.082 |
| 8 | 3.288 | 5.685 | 6.575 | 1.507 | 2.945 | 4.658 | 1.890 | 3.699 |
| | 2.877 | 5.205 | 6.712 | 1.575 | 3.699 | 4.932 | 1.575 | 2.877 |
| | 3.288 | 2.877 | 7.192 | 1.712 | 1.644 | 2.123 | 4.178 | 3.082 |
| | 2.329 | 3.699 | 6.918 | 3.699 | 2.329 | 1.501 | 3.542 | 2.603 |
| 10 | 2.877 | 3.630 | 3.288 | 5.685 | 3.562 | 0.753 | 1.918 | 5.000 |
| | 2.945 | 2.877 | 2.260 | 4.589 | 4.178 | 1.575 | 2.877 | 5.000 |
| | 3.767 | 3.630 | 2.123 | 2.877 | 4.452 | 3.356 | 2.397 | 5.000 |
| | 4.452 | 3.699 | 2.397 | 2.945 | 5.068 | 3.014 | 2.671 | 4.932 |

CONTINUA →

CONTINUACION.

| D l i e m a n a c i o n | Temperatura = 4 °C | | | | Temperatura = 6 °C | | | |
|--|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | A 150 | E 200 | B 150 | F 200 | C 150 | G 200 | D 150 | H 200 |
| 12 | 8.082 | 5.411 | 3.219 | 5.137 | | | | |
| | 8.082 | 6.370 | 3.493 | 5.000 | | | | |
| | 6.712 | 2.260 | 7.740 | 5.000 | | | | |
| | 5.342 | 2.945 | 6.370 | 5.000 | | | | |
| 14 | 1.438 | 4.932 | 2.877 | 0.890 | | | | |
| | 1.712 | 5.548 | 3.014 | 1.507 | | | | |
| | 0.822 | 0.000 | 0.000 | 0.890 | | | | |
| | 0.205 | 0.542 | 0.000 | 1.507 | | | | |
| 16 | 2.123 | 3.562 | 2.945 | 2.329 | | | | |
| | 1.644 | 2.329 | 2.877 | 2.466 | | | | |
| | 3.014 | 3.288 | 0.890 | 2.945 | | | | |
| | 4.658 | 5.000 | 1.027 | 1.918 | | | | |
| 18 | 0.000 | 2.192 | 1.507 | 2.260 | | | | |
| | 0.000 | 2.192 | 1.507 | 3.562 | | | | |
| | 0.000 | 0.890 | 0.342 | 1.918 | | | | |
| | 0.205 | 1.890 | 0.205 | 1.370 | | | | |
| 20 | 0.753 | 0.548 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| | 0.205 | 0.822 | 0.890 | 0.000 | | | | |
| | 0.000 | 0.822 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| | 0.000 | 0.822 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| 22 | 1.575 | 2.397 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| | 1.233 | 2.192 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| | 0.753 | 3.973 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| | 1.438 | 0.548 | 0.000 | 0.000 | | | | |

APENDICE D.

Tabla de resultados originales de variable de respuesta
clorofila. (absorbancia)

| D l i e n a n c i a | Temperatura = 4 °C | | | | Temperatura = 6 °C | | | |
|--|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | A 150 | E 200 | B 150 | F 200 | C 150 | G 200 | D 150 | H 200 |
| 0 | 0.510 | 0.510 | 0.510 | 0.510 | 0.510 | 0.510 | 0.510 | 0.510 |
| | 0.460 | 0.460 | 0.460 | 0.460 | 0.460 | 0.460 | 0.460 | 0.460 |
| | 0.510 | 0.510 | 0.510 | 0.510 | 0.510 | 0.510 | 0.510 | 0.510 |
| | 0.460 | 0.460 | 0.460 | 0.460 | 0.460 | 0.460 | 0.460 | 0.460 |
| | 0.469 | 0.469 | 0.469 | 0.469 | 0.469 | 0.469 | 0.469 | 0.469 |
| 2 | 0.385 | 0.380 | 0.420 | 0.410 | 0.430 | 0.390 | 0.330 | 0.480 |
| | 0.380 | 0.380 | 0.410 | 0.420 | 0.420 | 0.385 | 0.325 | 0.470 |
| | 0.380 | 0.390 | 0.420 | 0.430 | 0.430 | 0.385 | 0.335 | 0.470 |
| | 0.430 | 0.510 | 0.390 | 0.365 | 0.480 | 0.380 | 0.420 | 0.390 |
| | 0.420 | 0.500 | 0.390 | 0.370 | 0.470 | 0.380 | 0.430 | 0.400 |
| | 0.425 | 0.500 | 0.400 | 0.375 | 0.470 | 0.385 | 0.430 | 0.395 |
| 4 | 0.375 | 0.400 | 0.295 | 0.325 | 0.370 | 0.350 | 0.400 | 0.400 |
| | 0.380 | 0.410 | 0.300 | 0.320 | 0.375 | 0.350 | 0.400 | 0.400 |
| | 0.380 | 0.400 | 0.310 | 0.320 | 0.375 | 0.360 | 0.400 | 0.400 |
| | 0.330 | 0.365 | 0.370 | 0.360 | 0.375 | 0.370 | 0.350 | 0.330 |
| | 0.335 | 0.370 | 0.370 | 0.360 | 0.370 | 0.365 | 0.360 | 0.330 |
| | 0.330 | 0.370 | 0.370 | 0.370 | 0.370 | 0.370 | 0.360 | 0.340 |
| 6 | 0.410 | 0.430 | 0.470 | 0.425 | 0.415 | 0.340 | 0.408 | 0.390 |
| | 0.410 | 0.430 | 0.470 | 0.425 | 0.415 | 0.345 | 0.405 | 0.385 |
| | 0.410 | 0.435 | 0.475 | 0.430 | 0.420 | 0.345 | 0.405 | 0.395 |
| | 0.400 | 0.370 | 0.395 | 0.420 | 0.365 | 0.345 | 0.340 | 0.440 |
| | 0.405 | 0.370 | 0.405 | 0.415 | 0.365 | 0.345 | 0.340 | 0.445 |
| | 0.400 | 0.375 | 0.400 | 0.415 | 0.370 | 0.350 | 0.340 | 0.335 |

CONTINUA →

CONTINUACION.

| A D I E N A N C I E N | Temperatura = 4 °C | | | | Temperatura = 6 °C | | | |
|---|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | A 150 | E 200 | B 150 | F 200 | C 150 | G 200 | D 150 | H 200 |
| 8 | 0.421 | 0.362 | 0.430 | 0.355 | 0.425 | 0.370 | 0.365 | 0.323 |
| | 0.422 | 0.368 | 0.430 | 0.358 | 0.430 | 0.370 | 0.365 | 0.325 |
| | 0.430 | 0.371 | 0.435 | 0.350 | 0.435 | 0.372 | 0.380 | 0.331 |
| | 0.360 | 0.465 | 0.415 | 0.355 | 0.440 | 0.410 | 0.380 | 0.465 |
| | 0.370 | 0.465 | 0.415 | 0.355 | 0.450 | 0.410 | 0.310 | 0.460 |
| | 0.360 | 0.465 | 0.420 | 0.360 | 0.450 | 0.425 | 0.385 | 0.460 |
| 10 | 0.371 | 0.350 | 0.280 | 0.370 | 0.320 | 0.330 | 0.362 | 0.340 |
| | 0.368 | 0.345 | 0.285 | 0.360 | 0.320 | 0.340 | 0.370 | 0.330 |
| | 0.369 | 0.340 | 0.280 | 0.365 | 0.330 | 0.335 | 0.362 | 0.330 |
| | 0.320 | 0.410 | 0.320 | 0.300 | 0.265 | 0.290 | 0.285 | 0.320 |
| | 0.320 | 0.410 | 0.325 | 0.305 | 0.270 | 0.290 | 0.280 | 0.320 |
| | 0.315 | 0.420 | 0.339 | 0.310 | 0.270 | 0.290 | 0.287 | 0.325 |
| 12 | 0.405 | 0.440 | 0.398 | 0.402 | | | | |
| | 0.390 | 0.440 | 0.392 | 0.402 | | | | |
| | 0.398 | 0.440 | 0.390 | 0.405 | | | | |
| | 0.411 | 0.410 | 0.435 | 0.395 | | | | |
| | 0.220 | 0.415 | 0.435 | 0.392 | | | | |
| | 0.430 | 0.415 | 0.430 | 0.392 | | | | |
| 14 | 0.389 | 0.370 | 0.285 | 0.240 | | | | |
| | 0.380 | 0.370 | 0.280 | 0.241 | | | | |
| | 0.387 | 0.375 | 0.285 | 0.241 | | | | |
| | 0.320 | 0.378 | 0.375 | 0.315 | | | | |
| | 0.320 | 0.370 | 0.371 | 0.315 | | | | |
| | 0.319 | 0.375 | 0.371 | 0.309 | | | | |

CONTINUA →

CONTINUACION.

| A D i e m a n a c i o n | Temperatura = 4 °C | | | | Temperatura = 6 °C | | | |
|--|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | | Desespinado Alternativo | | Desespinado Tradicional | |
| | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | | Calibre del Envase | |
| | A 150 | E 200 | B 150 | F 200 | C 150 | G 200 | D 150 | H 200 |
| 16 | 0.400 | 0.395 | 0.405 | 0.361 | | | | |
| | 0.392 | 0.390 | 0.410 | 0.365 | | | | |
| | 0.408 | 0.395 | 0.405 | 0.365 | | | | |
| | 0.418 | 0.305 | 0.320 | 0.411 | | | | |
| | 0.419 | 0.295 | 0.329 | 0.410 | | | | |
| | 0.415 | 0.302 | 0.320 | 0.415 | | | | |
| 18 | 0.270 | 0.320 | 0.342 | 0.301 | | | | |
| | 0.270 | 0.320 | 0.350 | 0.300 | | | | |
| | 0.272 | 0.320 | 0.342 | 0.300 | | | | |
| | 0.335 | 0.259 | 0.285 | 0.315 | | | | |
| | 0.339 | 0.259 | 0.282 | 0.319 | | | | |
| | 0.330 | 0.259 | 0.280 | 0.318 | | | | |
| 20 | 0.365 | 0.380 | 0.355 | 0.300 | | | | |
| | 0.369 | 0.385 | 0.360 | 0.300 | | | | |
| | 0.370 | 0.381 | 0.350 | 0.301 | | | | |
| | 0.375 | 0.355 | 0.450 | 0.400 | | | | |
| | 0.375 | 0.353 | 0.450 | 0.400 | | | | |
| | 0.370 | 0.358 | 0.455 | 0.400 | | | | |
| 22 | 0.280 | 0.290 | 0.390 | 0.390 | | | | |
| | 0.285 | 0.288 | 0.390 | 0.375 | | | | |
| | 0.285 | 0.300 | 0.395 | 0.385 | | | | |
| | 0.375 | 0.330 | 0.425 | 0.320 | | | | |
| | 0.371 | 0.335 | 0.410 | 0.305 | | | | |
| | 0.371 | 0.330 | 0.420 | 0.295 | | | | |

APENDICE E.

Determinación de la pérdida fisiológica de peso.

I. Fundamento: El vapor de agua eliminado por transpiración ocasiona merma en el peso de los productos.

II. Material: Balanza granataria.

Tabla de dígitos aleatorios.

III. Procedimiento: Debido a que este tipo de análisis no es destructivo, para realizarlo se usó la tabla de dígitos aleatorios para escoger tres unidades experimentales de cada tratamiento, las cuales fueron monitoreadas durante todo el periodo de vida útil, registrando el peso en la balanza granataria a lo largo del experimento.

El peso de la muestra al inicio del almacenamiento fue considerado como el 100% y las pérdidas se calcularon en función de éste para después analizarlos estadísticamente.

Por ejemplo, para el tratamiento A el peso original de una unidad experimental envasada fue de 304.4 g representando el 100%. Posteriormente fue evaluado durante el almacenamiento detectándose las variaciones, mismas que representaron la pérdida fisiológica de peso, obteniendo:

| DIAS EN ALMACEN | PESO DE LA MUESTRA (gr) | % P.F.P. |
|-----------------|----------------------------|----------|
| 0 | 304.4 | 100 |
| 2 | 304.4 | 100 |
| 4 | 304.2 | 99.93 |
| 6 | 304.1 | 99.97 |
| 8 | 304.0 | 99.87 |
| 10 | 304.2 | 99.93 |
| 12 | 304.0 | 99.87 |
| 14 | 303.4 | 99.67 |
| 16 | 303.7 | 99.77 |
| 18 | 303.9 | 99.84 |
| 20 | 303.5 | 99.70 |
| 22 | 303.2 | 99.61 |

Con los datos obtenidos en porcentaje de pérdida fisiológica de peso (% P.F.P.) de cada tratamiento, se realizó el análisis de varianza y graficas, reportadas en el capítulo resultados y discusión.

APENDICE F.

Determinación de vitamina "C" total.

I. Fundamento: Está basado en la oxidación de ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico, con la subsecuente transformación del ácido dehidroascórbico a ácido dicetogulónico, seguido por el acoplamiento con 2,4-dinitrofenilhidrazina bajo condiciones controladas cuidadosamente para dar osazonas coloreadas en rojo. Una comparación del color producido en las muestras y una solución estándar es usada como un medio para determinar el contenido de ácido ascórbico.

II. Material y reactivos:

- Espectrofotómetro.
- Balanza analítica.
- Licuadora con 4 vasos de vidrio de 250 ml.
- 4 matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- 5 matraces aforados de 100 ml.
- 4 vasos de precipitado de 50 ml.
- 2 pipetas volumétricas de 10 ml.
- 2 pipetas volumétricas de 5 ml.
- Tubos de ensayo y gradilla.
- 4 embudos con 4 tripiés.
- 4 parrillas con agitación.
- 1 espátula.
- 4 agitadores magnéticos.

- 1 pipeta graduada de 5 ml.
- Solución de ácido acético al 10%.
- Solución de ácido acético al 5%.
- Carbón activado.
- Papel Wattean.
- Solución de 2,4-dinitrofenilhidrazina al 2% en ácido sulfúrico 9 N.
- Equipo para baño María.
- Solución de ácido sulfúrico al 85%.

III. Procedimiento:

Extracción.- moler 50 gr. de nopal con 40 ml de ácido acético al 10% por 2-5 min. Pesar 10 gr. en un matraz aforado de 100 ml llevarlo con ácido acético al 5% y mezclar cuidadosamente. Remover los sólidos suspendidos por filtración gruesa.

Oxidación a ácido dehidroascórbico.- a la solución anterior adicionar un poco de carbón activado y agitar durante 3 min. Remover los sólidos suspendidos por filtración fina con papel Wattean. A una alícuota de 5 ml del extracto oxidado adicionar 10 ml de tiourea al 2% en ácido acético al 5% y mezclar cuidadosamente.

Formación de osazonas.- pipetear 4 alícuotas de 4 ml de la solución anterior. Adicionar a cada uno de los tubos de ensaye y colocar 1 ml de 2,4-dinitrofenilhidrazina al 2% en ácido sulfúrico 9 N. Colocar todos los tubos en baño María a $37 \pm 0.5^\circ\text{C}$ exactamente, por tres horas. Al finalizar estas, retirar los

tubos del baño Maria y colocarlos en un baño de hielo.

Formación de pigmentos solubles por tratamiento con ácido sulfúrico al 85%.— mientras los tubos están en el baño de hielo adicionar cuidadosamente 5 ml de ácido sulfúrico al 85% a cada uno. La adición puede hacerse de a gota por minuto. Remover los tubos del agua fría y dejarlos por 30 min a temperatura ambiente.

En forma paralela se corre un blanco, el cual se prepara de la misma manera excluyendo únicamente los 50 gr. de muestra.

Medición de color.— con anterioridad prender el espectrofotometro para que se estabilice y seleccionar en la región de 525 nm. Con el blanco puesto, fijar el instrumento y leer "0" de absorbancia. Con el mismo aparato leer y anotar la absorbancia de las muestras.

Calibración del espectrofotometro.— a 50 ml de solución estándar de ácido ascórbico (disolver 50 mg de ácido ascórbico en 100 ml de ácido acético al 5% en agua destilada. Esta solución contiene 1 mg de ácido ascórbico por ml), agregar un poco de carbón activado. Mezclar y remover los sólidos suspendidos por filtración fina con papel Wattman. Pipetear 10 ml de la solución en un matraz aforado de 500 ml. Adicionar 5 gr. de tiourea. Aforar con ácido acético al 5%. Pipetear 5, 10, 20, 25, 40, 50 y 60 ml de la solución diluida de ácido dehidroascórbico en siete matraces aforados de 100 ml, que corresponderán a 1, 2, 4, 5, 8, 10 y 12 mcg/ml. Aforar cada uno con tiourea al 1% en ácido acético al 5%. Al mismo tiempo se corre un blanco que se prepara

de igual manera, excluyendo la solución diluida de ácido dehidroascórbico.

Tratar cada una de las ocho soluciones estándares de ácido ascórbico en la misma forma que las muestras, desde la formación de osazonas hasta la medición de color.

Preparar una curva de calibración por punteo del porcentaje de absorbancia contra concentración de ácido ascórbico (mcg/ml).

IV. Cálculos:

Calcular el contenido total de ácido ascórbico de cada una de las alícuotas de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\frac{R}{W} \times \frac{100}{1000} = \text{mg ácido ascórbico/100 gr.}$$

Donde: R = mcg ácido ascórbico/ml de solución (obtenido por la lectura del valor correspondiente en la curva de calibración).

W = gr. de muestra/ml de solución diluida (0.00833).

100/1000 = factor de conversión de cálculo de mcg/gr a mg/100 gr.

APENDICE G.

Determinación de clorofila.

I. Material y reactivos:

- Espectrofotómetro.
- Balanza analítica.
- 1 probeta de 100 ml.
- Licuadora con tres vasos chicos de vidrio.
- 1 vaso de precipitados de 500 ml.
- 6 matraces aforados de 200 ml.
- 6 embudos grandes de vidrio.
- 6 tripiés.
- 6 vasos de precipitados de 30 ml.
- Acetona al 85%.

II. Procedimiento:

Preparación de la muestra.- moler 30 gr. de muestra con 100 ml de acetona por 2-5 min. Transvasar a un matraz aforado de 200 ml y llevar a la marca con acetona al 85%. Remover los sólidos por filtración gruesa seguida de una filtración fina con papel Wattman. En paralelo se corre un blanco, el cual se prepara de igual manera, excluyendo los 30 gr. de muestra. Efectuar la determinación por sextuplicado.

Medición del color.- encender el espectrofotómetro con anticipación para que se estabilice. Seleccionar la región de 660 nm. Con el blanco puesto, fijar el instrumento y leer "0" de

absorbancia. Con el espectrofotometro leer y anotar la absorbancia de las muestras.

APENDICE H.

Determinación de velocidad de respiración.

I. Fundamentos:

Una corriente de aire arrastra el bióxido de carbono producido por la respiración de los frutos y reacciona formando carbonato de bario.

II. Material y reactivos:

- Tren de respiración.
- Solución saturada de hidróxido de bario (70 gr/lit de agua hervida).
- Solución de ácido clorhídrico 4 N.
- Solución de ácido clorhídrico 0.1 N.
- Fenofaleína al 1% en etanol al 50%.

III. Procedimiento:

Se hace pasar una corriente continua de aire a través de unos frascos donde se colocan los nopales en estudio. El aire arrastra al bióxido de carbono producido por la respiración de los nopales a unos tubos de vidrio (tubos Pettenkoffer), que contienen 50 ml de solución saturada de hidróxido de bario; en las mismas condiciones se hace un testigo utilizando un frasco que no contenga nopales.

El CO_2 producido, reacciona con la solución que contiene los tubos, produciendo carbonato de bario.

El hidróxido de bario que no reaccionó se titula con una

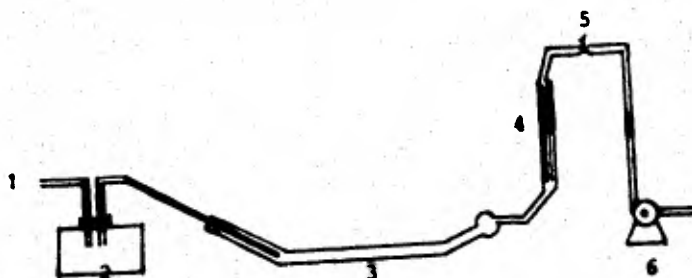
solución de HCl 0.1 N y en base a los mililitros de ácido gastados en la titulación del testigo y las muestras, se calculan los mg de CO_2 /kg.hr producidos por cada nopal.

El flujo de aire se mantiene con una bomba de vacío y se regula a 100 ml/min por medio de rotámetros conectados entre los tubos Pettenkoffer y la bomba. En la figura 10.1, se muestra el equipo empleado.

La medición de la velocidad de respiración se efectúa durante una hora con los nopales (unidades experimentales), pesando cada fruto antes de efectuar la determinación. Una vez concluida la anterior, se sacan los nopales de los frascos y se dejan en refrigeración o a temperatura ambiente.

FIGURA 10.1 . Tren de respiración.

- 1.- Entrada de aire.
- 2.- Cámara.
- 3.- Tubos Pettenkoffer.
- 4.- Rotámetro.
- 5.- Valvula.
- 6.- Bomba de vacío.



IV. Cálculos:

$$\frac{\text{mg CO}_2}{\text{kg hr}} = \frac{(\text{Tb} - \text{Tm}) \times 22 \times \text{N} \times 1000}{\text{P} \times \text{t}}$$

Donde:

Tb = ml de HCl 0.1 N usados en la titulación del testigo.

Tm = ml de HCl 0.1 N usados en la titulación de la muestra.

22 x N = mg CO₂/ml de HCl.

P = peso de la muestra en gramos.

t = tiempo en horas.

1000 = factor para convertir de gramos a kilogramos.

APENDICE I.

Determinación de dióxido de carbono y oxígeno empleando el analizador Orsat.

I. Fundamentos:

El dióxido de carbono y oxígeno, son determinados midiendo los volúmenes absorbidos por reacción con sus reactivos afines.

II. Alcance:

Este método es aplicable cuando la concentración de estos gases es de 0 a 99%.

III. Material y reactivos:

- Orsat con 3 pipetas de absorción.
- Tubo de cobre de 3/8" con tapón horadado.
- Tubo de hule látex de 87 cm de largo (para el frasco nivelador) y 6 mm de diámetro interno.
- Solución de hidróxido de potasio (400 gr/lit): pese 80 gr. de hidróxido de potasio (KOH) R.A., disuelva con 150 ml de agua destilada en baño de agua fría y diluya a 200 ml.
- Solución de hidróxido de potasio-pirogálico: pese 60g de hidróxido de potasio (KOH) R.A., disuelva con 100 ml de agua destilada en baño de agua fría y diluya a 150 ml. En otro recipiente, pese 10 gr. de ácido pirogálico [C₆H₂(OH)₃] R.A., disuelva con 50 ml de agua destilada y mezcle con la solución de hidróxido

de potasio ya preparada.

- Solución ácida con indicador: a 100 ml de agua destilada, agregue 10 gotas de solución de anaranjado de metilo (1 gr/lt) y 10 ml de ácido clorhídrico concentrado R.A..

IV. Procedimiento.

~ Las soluciones preparadas se depositan en las pipetas de absorción que deberán estar limpias y en el orden siguiente de acuerdo a la figura 10.2.

Pipeta I:

Pipeta II: Solución potasa-ácido pirogálico.

Pipeta III: Solución potasa (400 gr/lt).

~ Antes de colocar las pipetas en el Orsat, se deberá limpiar todo el sistema de circulación de gases, engrasando las válvulas con grasa de silicon, cambiar la tubería de conexión de hule látex en las pipetas y verificar las fugas en el aparato, teniendo cuidado que al aforar las pipetas de absorción, se deje poco aire en los bulbos de hule.

- Desalojar el gas que se encuentra dentro del aparato. Primero el que se encuentra en la bureta B, se pone la flecha de la válvula de tres vías h hacia la derecha, se coloca el frasco nivelador N en una posición superior a la de B, con lo que la solución ácida con indicador la llena, desplazando así el gas hacia el exterior; se cierra h (f).

Desalojar el gas de cada uno de los tubos de absorción (I, II, III); se abre la válvula correspondiente al tubo, se quita el tapón y la pera de hule de la parte exterior del tubo. Se coloca N en una posición inferior a la de B, hasta que la solución dentro del tubo alcance el aforo de éste, se cierra la válvula del tubo; se colocan firmemente en su lugar el tapón y la pera de hule; se gira hacia la derecha la válvula de h para conectar a B con el exterior. Se coloca N en una posición superior a la de B para desplazar el gas ahora dentro de ella hacia el exterior, se cierra h (f).

Purgar la tubería de toma de muestra y el aspirador; se coloca la "flecha" hacia la izquierda (se comunica la tubería de toma de muestras con el exterior (purga)); se aspira tres o cuatro veces y se cierra h (f).

- Tomar la muestra del gas a analizar utilizando una aguja de jeringa y colocar la "flecha" de h hacia la derecha. Con la ayuda de N se coloca el nivel de la solución ácida con indicador dentro de B en el cero de su escala igualando los niveles de N y B. Colocar la "flecha" de h hacia abajo (va por la tubería de toma de muestra del aparato), se baja N para que el gas que está en el aspirador llene a B hasta la marca de 100, igualando los niveles; se cierra la válvula de h.

NOTA: El tubo látex se puede presionar cuantas veces sea necesario para desalojar las burbujas de gas que están en él.

- Finalmente, se procede a la absorción de los gases en el

orden de CO_2 , O_2 .

Determinación de CO_2 : ($\% \text{CO}_2 = a$).

Levante el frasco N, abra la llave de la pipeta de absorción III para que todo el gas contenido en la bureta B, entre en la pipeta, baje el frasco N, hasta que la solución de potasa esté cercana al aforo de su pipeta. Se repite esta operación hasta que la lectura no varíe (3 o 4 veces), y en la última ocasión haga que el nivel de la potasa quede en la línea de aforo y cierre la llave. Iguale niveles de la solución ácida con indicador del frasco N y la bureta B y anote la lectura obtenida que representa el porcentaje de CO_2 .

Determinación de O_2 : [$\% \text{O}_2 = (b-a)$].

Levante el frasco N, abra la llave de la pipeta de absorción II para que todo el gas contenido en la bureta B entre en la pipeta, baje el frasco N hasta que la solución de potasa-pirogálico esté cercana al nivel de aforo de la pipeta.

Repita esta operación hasta que la lectura no varíe y en la última vez haga que el nivel de la potasa-pirogálico quede en la línea de aforo y cierre la llave. Iguale niveles de la solución ácida con indicador del frasco N y la bureta B y anote la lectura obtenida que representa el porcentaje de O_2 .

V. Cálculos y resultados:

$\% \text{ de } \text{CO}_2 = a$

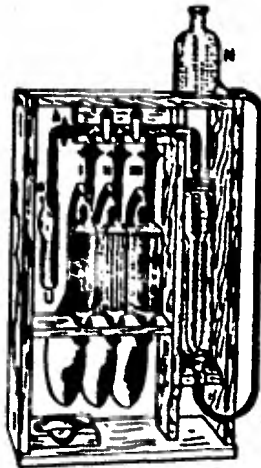
$\% \text{ de } \text{O}_2 = (b-a)$

VI. Repetibilidad:

La diferencia en determinaciones por duplicado en CO_2 debe ser como máximo 0.4%.

La diferencia en determinaciones por duplicado en O_2 debe ser como máximo 0.2%.

FIGURA 10.2. Analizador Orsat.



APENDICE J.

Evaluación de calidad en función de apariencia.

Panelista No. _____

Fecha _____

Observe detalladamente cada muestra de nopal. Tomando como referencia los niveles establecidos en la escala de calidad, compare, evalúe y califique el grado de oxidación, ataque por microorganismos, daños por frío, daños por CO₂, textura y finalmente considerando en forma global todos los factores anteriores, el nivel de calidad o apariencia.

| Número de Muestra | Grado de Oxidación | Ataque por Microorganismos | Daño por frío | Daño por CO ₂ | Textura | Calidad |
|-------------------|--------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|---------|---------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |

ESCALA DE CALIDAD.

(Considera ambas caras del nopal).

Oxidación.

| Nivel | Características |
|-------|---|
| 1 | Sin oxidación. |
| 2 | Oxidación puntual, hasta 10 puntos de color café claro. |
| 3 | Oxidación por más de 10 y menos de 20 puntos, color café claro. |
| 4 | Una o más zonas que en conjunto no excedan 1 cm ² , color café claro. |
| 5 | Una o más zonas que en conjunto no excedan 1 cm ² , color café rojizo. |
| 6 | Una o más zonas que en conjunto no excedan 2 cm ² , color café rojizo. |
| 7 | Zonas que en conjunto excedan 2 cm ² , color café rojizo. |

Microorganismos.

| Nivel | Características |
|-------|---|
| 1 | Sin microorganismos. |
| 2 | Hasta 4 puntos casi imperceptibles. |
| 3 | Hasta 7 puntos casi imperceptibles. |
| 4 | Puntos o zonas que en conjunto no excedan 0.5 cm ² . |
| 5 | Puntos o zonas con apariencia negra o algodonosa, con área no mayor a 0.5 cm ² . |
| 6 | Áreas dañadas de hasta 1 cm ² . |
| 7 | Áreas dañadas de más de 1 cm ² . |

Daños por frío.

| Nivel | Características |
|-------|---|
| 1 | Sin daños. |
| 2 | Decoloración ligera en alguna zona. |
| 3 | Decoloración y leve hundimiento, área no mayor a 0.5 cm ² . |
| 4 | Decoloración y hundimiento, área no mayor a 0.5 cm ² . |
| 5 | Decoloración, hundimiento y resequedad, área mayor a 0.5 cm ² y menor de 1 cm ² . |
| 6 | Decoloración, hundimiento y resequedad en áreas mayores a 2 cm ² . |
| 7 | Área con hundimiento, resequedad y decoloración mayor de 3 cm ² . |

Daños por CO₂.

| Nivel | Características. |
|-------|--|
| 1 | Sin daño. |
| 2 | Con superficie ligeramente decolorada (verde seco), en un extremo del nopal, pero firme. |
| 3 | Superficie decolorada y ligero ablandamiento. |
| 4 | Superficie decolorada, ligero ablandamiento y olor característico de fermentación. |
| 5 | Superficie decolorada, acuosa, y olor característico de fermentación. |
| 6 | Superficie decolorada, acuosa, translúcida y con olor característico de fermentación. |

Textura.

Al doblar el nopal por un extremo hasta donde sea posible, pero sin forzarlo:

| Nivel | Características |
|-------|--|
| 1 | Forma un ángulo de aproximadamente 30°. |
| 2 | Forma un ángulo de aproximadamente 45°. |
| 3 | Forma un ángulo de aproximadamente 90°. |
| 4 | Forma un ángulo de aproximadamente 135°. |
| 5 | Forma un ángulo de aproximadamente 180°. |

Calidad o apariencia.

Se considera en forma global todos los aspectos antes señalados.

| Nivel | Características |
|-------|--|
| 1 | Típica apariencia fresca, todos los atributos se encuentran en el nivel 1. |
| 2 | Todos los atributos con calificación de 1 ó 2. |
| 3 | Puede tener máximo 2 atributos con calificación de 3 |
| 4 | Puede tener máximo 2 atributos con calificación de 4 |
| 5 | Puede tener todos los atributos en nivel 4. |
| 6 | Puede tener atributos en nivel 4 y 5. |
| 7 | Puede tener atributos en niveles 5, 6 ó 7. |

BIBLIOGRAFIA

11. BIBLIOGRAFIA.

1.- Aragón, S.N., "Aspectos fisiológicos y bioquímicos de la maduración de frutos". Conservación de alimentos por atmósferas controladas del 1 al 5 de Junio. U.N.A.M., P.U.A.L., 1982.

2.- Arjona, R.J.L., "La difusión de vapor de agua en frutas y materiales de envase", Conservación de alimentos por atmósferas controladas del 1 al 5 de Junio. U.N.A.M., P.U.A.L., 1982.

3.- Avila, F.A., "Estudio de la evolución atmosférica durante la respiración del jitomate para la selección de una película plástica que alargue su vida de almacenamiento". Tesis profesional, UNAM, México, 1982.

4.- Badui, D.S., "Química de los alimentos". Ed. Alhambra. México, 1984.

5.- Cameron, A.C., W. Boylan-Pett, et. al., Design of modified atmosphere packaging systems: modeling oxygen concentrations within sealed packages of tomato fruits. Journal of Food Science. Vol. 54, No. 6, 1989, 1413-1421.

6.- Cheffle, H., "Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos". Vol. 2, Ed. Acribia España, 1989.

7.- CODAGEM (Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agrícola y Ganadero del Estado de México). "Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal", 1981.

8.- Desrosier, N.W., "Elementos de tecnología de alimentos". Ed. CECOSA, México, 1983.

- 9.- Durán, T., "Frigoconservación de las frutas". Ed. AEDOS. España, 1983.
- 10.- Farrall, A.W., "Food Engineering Systems". Vol. 1, Ed. AVI, U.S.A., 1976.
- 11.- Fennema, O.R., "Introducción a la ciencia de los alimentos". Ed. Reverté, España. 1982.
- 12.- Geankoplis, J.Ch., "Procesos de transporte y operaciones unitarias". Ed. Continental. México, 1982.
- 13.- Muxsol, C.H.C. and Bolin R.. Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. Food Technology. February, 1989. 124-128.
- 14.- Hotchkiss, J., Experimental approaches to determining the safety of food packaged in atmospheres. Food Technology. September, 1988.
- 15.- INEGI. "Anuario estadístico del D.F.", 1989.
- 16.- INN (Instituto Nacional de Nutrición). "Tabla del valor nutritivo de los alimentos".
- 17.- Kader, A.A., Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruits and vegetables. Food Technology. Vol. 40. No.5. Mayo, 1986. 99-104.
- 18.- Kader, A.A., Aspectos biológicos del deterioro. Revisión general. 1989. 27-41.
- 19.- King Jr, A.D. and Bolin H.R., Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. Food Technology. February, 1989. 132-135.

- 20.- Khune, G., Envases y embalajes de plástico.
- 21.- Labuza, T.P. and M.K. Schmidt. Accelerated shelf-life testing of foods. Food Technology Vol.39 No.9 September, 1985.
- 22.- Lehninger, L.A., "Bioquímica", 2a. ed. Ed. Omega. México
- 23.- Lioutas, T.S., Challenges of controlled and modified atmosphere packaging: A food company's perspective. Food Technology. September, 1988. 78-86.
- 24.- Manual de operación del analizador de gases Orsat. Fisher.
- 25.- Manual de operación del espectrofotómetro (Spectronic 20) Baush and Lomb.
- 26.- Matthews, R.F., "Principios sobre el procesamiento de productos hortofrutícolas". Seminario sobre manejo y conservación de frutas, hortalizas y flores. 1980.
- 27.- Morris, J.R., Fruit and vegetable harvest mechanization. Food Technology, February, 1990. 97-100.
- 28.- Muñoz, D.J., Conservación por el frío de productos perecederos. Rev. Agroquim., Tecnología de alimentos 22(3), 1982. 305-322.
- 29.- Myers, R.A., Packaging considerations for minimally processed fruits and vegetables. Food Technology. February, 1989. 129-131.
- 30.- Neaves, F.A.M., "Investigación bibliográfica sobre las alteraciones en vegetales provocadas por su exposición a temperaturas bajas". Tesis profesional U.N.A.M., 1990.

31.- O.N.U., "Proyecto y explotación de almacenes frigoríficos". Italia, 1985.

32.- Fantastico., "Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales". Ed. DECSA. México, 1982.

33.- Pelayo, Z.C., "Transpiración". Conservación de alimentos por atmosferas controladas del 1 al 5 de Junio. U.N.A.M., P.U.A.L., 1982.

34.- Pelayo, Z.C., "Almacenamiento refrigerado". Conservación de alimentos por atmosferas controladas del 1 al 5 de Junio. U.N.A.M., P.U.A.L., 1987.

35.- Perry, J.R., "Manual del Ingeniero Químico". Ed. UTHERA. México, 1976.

36.- Potter, N.N., "Ciencia de los alimentos". Ed. EDUTEX. México, 1978.

37.- Priepke, P.E., Weland L.S., et. al., Refrigerated storage of prepackaged salad vegetables. Journal of Food Science. Vol. 41. 1976. 379-382.

38.- Promotora del maguey y del nopal. "Proyecto de investigación para la determinación de la dosis óptima económica de fertilización de nopal verdura". Departamento de asistencia técnica. Marzo, 1986.

39.- Ramayo, R., Saucedo V. Lakshminarayanan. Causas de altas pérdidas en nopal hortaliza (Opuntia inermis Coulter) almacenado por refrigeración y su control. Depto. de Ind. Agrícola, Escuela Nacional de Agricultura Chapingo, Nueva época No. 10. Marzo-Abril. México, 1978.

40.- Ramayo, R., Saucedo V., Prolongación de la vida de almacenamiento del nopal (Opuntia inermis Coulter) por refrigeración. Depto. de Ind. Agrícola, Escuela Nacional de Agricultura Chapingo, Nueva época No. 10. Marzo-Abril. México, 1978.

41.- Ramirez, J.G., "Japon un mercado para exportar nopal mexicano". Tesis profesional. I.P.N., 1986.

42.- Reineccius, G.A., Flavor and nutritional concerns relating to the quality of refrigerated foods. Food Technology. January, 1989. 84-89.

43.- Runk, R.J., Carson, K.L. et. al., Processing, packaging and regulation of minimally processed fruits and vegetables. Food Technology. February, 1989. 136-139.

44.- Reyes, C.P., "Bioestadística aplicada". Ed. Trillas. México, 1985.

45.- Reyes, M.H., Evaluación sensorial de alimentos. Tecnología de alimentos. Vol.12 N.168. Septiembre, 1990. 41-45.

46.- S.A.R.H., "Diagnostico preliminar zona productora de Nopal". Subprograma de organización de productores. Delegación Villa Milpa Alta, D.F., Noviembre, 1985.

- 47.- S.A.R.H., "Diagnostico preliminar zona productora de Nopal". Delegacion Milpa Alta, D.F., Mayo, 1986.
- 48.- S.A.R.H., "El cultivo del Nopal en la region de Milpa Alta". Subdelegacion de desarrollo rural y proteccion ecologica. Delegacion del departamento del D.F. en Milpa Alta. 1986.
- 49.- S.A.R.H., "Informacion basica sobre el proyecto del nopal". Delegacion Milpa Alta. Nov., 1986.
- 50.- S.A.R.H., "Perspectivas de la utilizacion del Nopal y la Tuna". Centro del Nopal y Tuna del Estado de México. (CENTEMEX). 1981.
- 51.- Saucedo, V.C., "Efecto de la composición de la atmosfera en la conservacion de productos hortofruticolas". Colegio de postgraduados, Chapingo. Estado de México. Junio, 1987.
- 52.- Saucedo, V.C., "Preenfriamiento de frutas y hortalizas". Universidad Autonoma de Chapingo. Departamento de industrias agricolas. Septiembre., 1981.
- 53.- Sepulveda, L.R., "La vida de los productos vegetales después de su recoleccion". FERMEX, S.A. de C.V..1980.
- 54.- Shewfelt, R.L., Postharvest treatment for extending the shelf life of fruits and vegetables. Food Technology. Vol. 40. No. 5. May, 1986. 70-102.
- 55.- Sommer, P.H.D., "Eliminacion de enfermedades en las frutas mediante técnicas de manejo". Memoria del sumario sobre el manejo y conservacion de frutas, hortalizas y flores. Banco de México. FIRA. Guadalajara, Jalisco, 1980.

- 56.- Thiman, K.V., "Senescence in plants". Ed. CRS PRESS. U.S.A., 1980.
- 57.- Treybal, R.E., "Operaciones de transferencia de masa". 2a. ed., Ed. Mc Graw Hill. México, 1983.
- 58.- U.A.M., "El proceso de comercialización de nopal en Milpa Alta". México, 1985.
- 59.- Walpole, R.H., "Probabilidad y estadística para Ingenieros". 2a. ed., Ed. Interamericana. México, 1986.
- 60.- Wasserman, B.P., Fiberger L., et. al., Biotechnological approaches for controlled cell wall glucan biosynthesis in fruits and vegetables. Food Technology. Vol.40 No.5 May., 1986. 90-94.
- 61.- Watada, A.E., Effects of ethylene on the quality of fruits and vegetables. Food Technology. Vol.40 No.5 May., 1986. 82-89.
- 62.- Watada, A.E., Kazuhiro, A., Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. Food Technology. May., 1990.
- 63.- Wills Lee, G.M., "Postharvest and introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables". Ed. AVI. U.S.A., 1981.
- 64.- Zagory, D. and A.A. Kader., Modified atmosphere packaging of fresh products. Food Technology. September, 1988. 70-76.