UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Alimentos y Nutrición

Almacenamiento refrigerado de brócoli (Brassica olerácea) en atmósferas modificadas

Christina Font Eggleston

BIBLIOTECA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Guatemala

1997

Almacenamiento refrigerado de brócoli

(Brassica olerácea) en atmósferas modificadas

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Alimentos y Nutrición

Almacenamiento refrigerado de brócoli (Brassica olerácea) en atmósferas modificadas

Trabajo de Graduación presentado por Christina Font Eggleston para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Alimentos

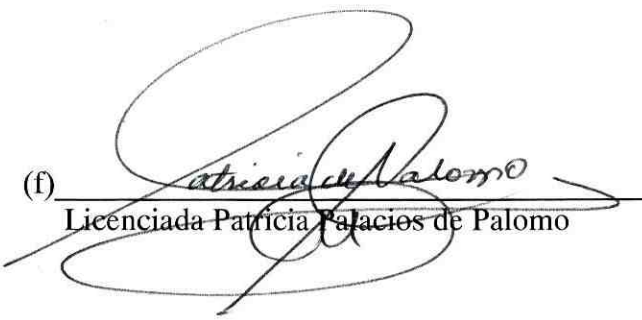
BIBLIOTECA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Guatemala
1997

Vo. Bo. :

(f) _____
Licenciada Patricia Palacios de Palomo
Asesor

Tribunal:



(f) _____
Licenciada Patricia Palacios de Palomo

(f) _____
Licenciada Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f) _____
Doctor Ricardo Bressani

Fecha de aprobación:

13 de mayo, 1997

Le dedico este trabajo de graduación y la carrera a mis padres, quienes siempre me apoyaron. Sus consejos nunca faltaron cuando más los necesité. Debo reconocer que la carrera no fue un reto fácil, pero sin ellos hubiera sido casi imposible.

Quisiera agradecer en especial a la Licencia Patricia de Palomo y al Ing. Allan Safieh por su colaboración en proporcionar información y ayuda para elaborar este trabajo.

PREFACIO

Este trabajo se desarrolló a raíz de la necesidad que existe en Guatemala de ampliar el mercado para sus productos agrícolas. Hay productos vegetales que se pierden por una mala manipulación y distribución.

Una de las barreras con las que se ha encontrado la industria de perecederos precortados en la distribución de los productos es el llevarlos al consumidor final en óptimas condiciones de calidad. Por esta razón este trabajo pretende estudiar los cambios que le ocurren al brócoli (*Brassica oleracea*) fresco bajo distintas condiciones de empaque.

Se analizó la efectividad de un empaque con varias laminaciones de plástico, que logra modificar la atmósfera adentro de la bolsa. El empaque usado fue un PD-941 de 7X11 pulgadas de la empresa "Cryovac". La calidad nutricional de las muestras de brócoli se analizó midiendo las retenciones de ácido ascórbico a través del tiempo. Los cambios de pH y modificaciones del color también se midieron. El color se analizó por dos métodos: cuantitativo, con un tintómetro, y cualitativo, por medio de observaciones visuales.

Se concluyó, que para mantener aceptable el brócoli en los parámetros medidos, se deben empacar los floretes de brócoli en bolsas con varias laminaciones de plástico y dejando la menor cantidad de espacio libre sin producto adentro de la bolsa, cuidando siempre la temperatura de refrigeración.

CONTENIDO

Página

PREFACIO ii

LISTA DE CUADROS iii

LISTA DE GRÁFICOS iv

Capítulos

I. INTRODUCCIÓN 1

II. TEXTO 2

III. JUSTIFICACIÓN 32

IV. OBJETIVOS 33

V. HIPÓTESIS 34

VI. MATERIALES Y MÉTODOS 35

VII. DISEÑO EXPERIMENTAL 41

VIII. RESULTADOS 42

IX. DISCUSIÓN 62

X. CONCLUSIONES 71

XI. RECOMENDACIONES 72

XII. BIBLIOGRAFÍA 73

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Composición nutritiva de brócoli crudo	2
2.	Composiciones aproximadas de vegetales	3
3.	Composición de el brócoli basada en 100g	5
4.	Condiciones recomendadas para el brócoli	20
5.	Velocidades de respiración del brócoli	23
6.	Propiedades de la bolsa PD-941 de Cryovac	25
7.	Propiedades de otros plásticos	25
8.	Guatemala: estimaciones sobre el área y producción de brócoli durante el período de 1985-1989	29
9.	Volumen de brócolis exportados a los Estados Unidos	30
10.	Exportaciones de brócoli	30
11.	Conteo total de bacterias, hongos y levaduras antes y después de la desinfección	42
12.	Determinación de ácido ascórbico en el brócoli a través del tiempo	43
13.	Determinación de pH del brócoli a través del tiempo	44
14.	Análisis del color del brócoli a través del tiempo	45
15.	Resultados del análisis de varianza	46
16.	Control de temperaturas de refrigeración del producto	47
17.	Decoloración y deshidratación inicial en las muestras de brócoli	48

LISTA DE GRÁFICOS

Ilustración Página

1. Cambios de color del brócoli en la bolsa sin perforar empacada con 280g de producto a través del tiempo 49

2. Cambios de color del brócoli en la bolsa perforada empacada con 280g de producto a través del tiempo 50

3. Cambios de color del brócoli en la bolsa sin perforar empacada con 140g de producto a través del tiempo 51

4. Cambios de color del brócoli en la bolsa perforada empacada con 140g de producto a través del tiempo 52

5. Porcentaje de retención promedio de Vitamina C 53

6. Día de decoloración inicial observada en las muestras de brócoli 54

7. Día de deshidratación inicial observada en las muestras de brócoli 55

8. Día de inicio de capa ligosa observada de las muestras de brócoli a través del tiempo 56

9. Vitamina C en el brócoli a través del tiempo, según llenado y perforación empaque 57

10. pH del brócoli a través del tiempo, según llenado y perforación del empaque 58

11. Cambios en el color amarillo del brócoli a través del tiempo, según llenado y perforación del empaque 59

12. Cambios en el color rojo del brócoli a través del tiempo, según llenado y perforación del empaque 60

13. Cambios en el color azul del brócoli a través del tiempo, según llenado y perforación del empaque 61

I. INTRODUCCIÓN

‹‹La atmósfera controlada es una técnica de conservación frigorífica de productos vegetales a temperaturas de refrigeración, en la que además del control y regulación de temperatura y humedad relativa se realizan los de la composición gaseosa de la atmósfera, que resulta modificada respecto al aire normal en cuanto al oxígeno y el anhídrido carbónico.›› (De La Plaza 1992). Según Brecht, la diferencia entre atmósfera modificada y atmósfera controlada, es que en esta última se controla con mayor precisión las presiones parciales de los gases.

La atmósfera modificada se logrará empacando los floretes de brócoli pre-cortados en un empaque con diferentes laminaciones de plástico que permiten que el producto encuentre un balance entre la porocidad del empaque y la respiración del producto. De esta forma, se modifica la composición del aire adentro de la bolsa.

Se analizará la efectividad de un empaque de plástico con varias capas de poliolefinas, las cuales permiten una mayor permeabilidad de gases, sellado herméticamente y durante el almacenamiento refrigerado del producto.

Lo que se pretende con estas condiciones de empaque es retardar la senescencia de los productos para así aumentar la vida de anaquel manteniendo los estándares de calidad adecuados para el mercadeo del producto.

La calidad del producto se medirá con una variedad de análisis que se realizarán en el laboratorio. Se harán evaluaciones de acidez, vitamina C, color y observaciones visuales.

II. TEXTO

A. Origen y clasificación botánica del brócoli

Las hortalizas de este grupo tienen un ancestro comùn en el repollo original, una planta silvestre que quizás llegó del Mediterráneo o del Asia Menor a las peñas calcàreas de Inglaterra, a las costas de Dinamarca, asì como también a Francia y España. Su origen es muy antiguo, pues hay referencias històricas sobre su cultivo antes de la Era Cristiana. (Pantastico 1975).

Clasificaciòn botànica:

Vegetal	Brócoli
Familia	Cruciferae
Genero	Brassica
Especie	olerácea
Variedad	var. marathón

(Saravia 1990).

B. Composición y valor nutricional

El brócoli es rico en vitaminas A, B6 y C, es bajo en calorías y es una buena fuente de fibra. (Bull 1987).

TABLA No.1

Composiciòn nutritiva de bròcoli crudo

(De USDA 1982; 1984)

	BRÓCOLI
Calorías (kcal/100g)	28
Ca (mg/100g)	48

(continuación de tabla no.1)

	BRÓCOLI
Fe (mg/100g)	0.88
Mg (mg/100g)	25
K (mg/100g)	325
Ácido ascòrbico (mg/100g)	93.2
Tiamina (mg/100g)	0.065
Vitamina B-6 (mg/100g)	0.159
Folacina (microorganismos/100g)	71.0
Vitamina A (UI)	1,542

(Shewfelt. Ph.D., Robert L 1990)

TABLA No.2

Composiciones aproximadas de vegetales

	BRÓCOLI (Plenk)
(100g = 5.5oz)	3/4 de taza ò 2 - 1/2 tallos
CALORÍAS (g)	23
AGUA (g)	90
PROTEINA (g)	3.6
GRASA (g)	0.3
AZÚCAR TOTAL (g)	1.6
OTROS CARBOHIDRATOS (g)	0.4

(continuación de tabla no.2)

	BRÓCOLI (Plenk)
(100g = 5.5oz)	3/4 de taza ò 2 - 1/2 tallos
VITAMINAS: (Unidades Internacionales)	
A	3,800
Tiamina	0.11
Rivoflavina	0.10
Niacina	0.6
MINERALES: (miligramos)	
C	110
Ca	78
Fe	1.0
Mg	39
P	74
K	360
Na	40
HUMEDAD (g/100g)	85.7
PROTEINA	4.3
AMINOÁCIDOS:	
Isoleucina	186
Leucina	236
Lisina	218
Metionina + Cistina	108
Fenilalanina	177
Treonina	161
Triptofano	46
Valina	210

Estos resultados de composiciòn dados en la tabla No.2, son datos tomados de muestras ya procesadas y pueden variar dependiendo de la calidad y el método de preparaciòn utilizado. (Luh & Woodroof 1976).

En la siguiente tabla, se presentan los datos obtenidos de la tabla de "Composición de Alimentos Comunmente Usados en América Latina" (INCAP-ICNND 1961) y los obtenidos de la "Tabla de Composición de Alimentos" del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos editado en 1975.

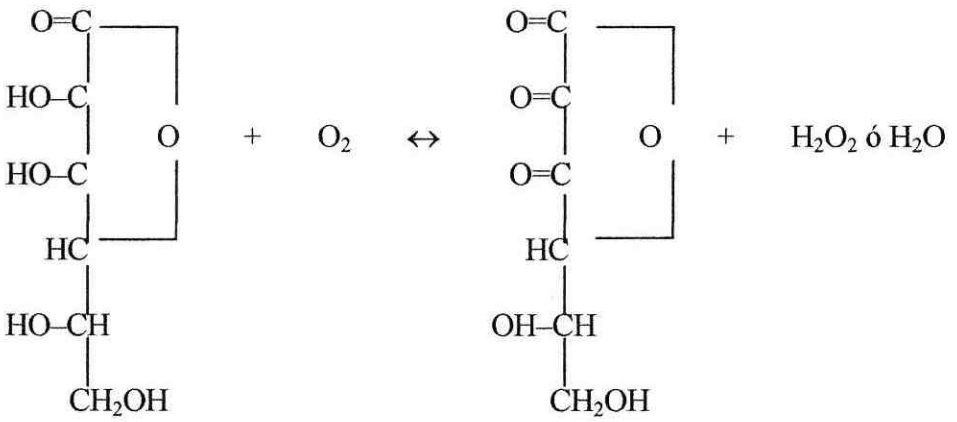
TABLA No.3

Composición del brócoli basada en 100g

	Datos INCAP-ICNND 1961	Datos USDA 1975
Valor energético	39 calorías	32 calorías
Humedad	87.3%	89.1%
Proteina	4.5g	3.6g
Grasa	0.6g	0.3g
Hidratos de carbono totales	6.4g	5.6g
Fibras	1.6g	1.5g
Ceniza	1.2g	1.1g
Calcio	116mg	103mg
Fósforo	81mg	78mg
Hierro	1.3mg	1.1mg
Sodio	---	15mg
Potasio	---	382mg
Vitamina A	560mg	2,500 (UI)
Tiamina	0.12mg	0.10mg
Riboflavina	0.18mg	0.23mg
Niacina	1.1mg	0.9mg
Ácido ascórbico	94mg	113mg
Magnesio	---	24mg

NOTA: Datos de composición están basados en 100g de porción comestible de brócoli.

1. Vitamina C. El ácido ascórbico es un agente reductor fuerte y se oxida facilmente a ácido dehidroscórbico en una reacción reversible, como se muestra a continuación:

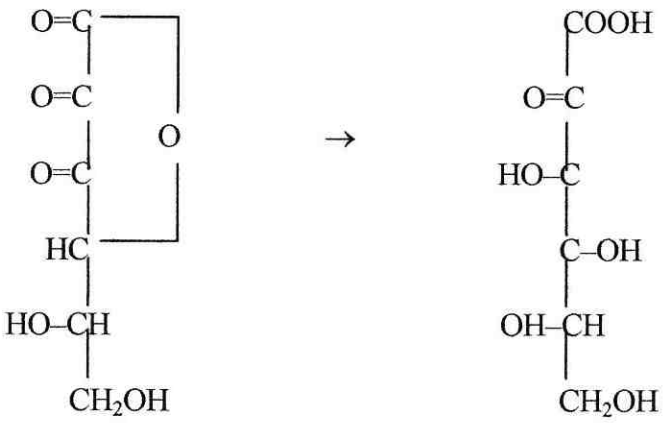


Ácido ascórbico Ácido dehidroascórbico (Braverman 1980).

Esta reacción ocurre en presencia de oxígeno molecular, y resulta acelerada por presencia de trazas de metales, en especial el cobre. Es catalizada por oxidasas y según el origen de éstas, se tendrá como subproducto el H_2O_2 ó el H_2O (Braverman 1980).

La actividad de la vitamina C como ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico es la misma. El ácido ascórbico es relativamente termoestable. Sin embargo, el ácido dehidroascórbico es fácilmente destruido por el calor. En un medio neutro, el anillo de lactona del ácido dehidroascórbico se destruye totalmente en 10 minutos a 60°C. La descomposición (irreversible) en sí no es un fenómeno oxidativo y se ha desmostrado que ocurre bajo condiciones anaeróbicas.

La reacción se ilustra a continuación:



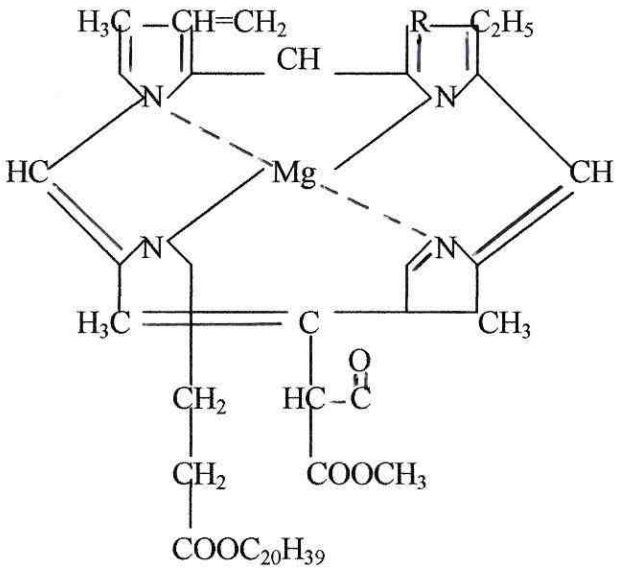
Ácido dehidroascórbico Ácido 2,3-dicetogulónico (Braverman 1980)

C. Color

El cambio de color es uno de los deterioros más notados en la calidad del brócoli. Las enzimas responsables de estos cambios son: Polifenol oxidasa, clorofilasa, peroxidasa (en menor grado) y lipoxigenasa (Barret y Theerakulkait 1995).

1. Clorofila. La mayor parte de los vegetales poseen clorofila en sus hojas antes de su estapa de senectud. Estos se encuentran en estructuras granulares o plásticos llamados cloroplas cloroplastos, cuando son verdes, y cromoplátidos al cambiar de color (Braveman 1980).

Las clorofilas se encuentran siempre acompañadas por pigmentos amarillos, carotenos ($C_{40}H_{56}$) y xantofilas ($C_{40}H_{56}O_2$). En los alimentos nos interesan las clorofilas a y b que se encuentran en una proporción de 3:1 (Fennema 1985). La estructura de la clorofila es la siguiente:



La clorofila "a" tiene -R = $-CH_3$ y la clorofila "b" tiene -R = -CHO (Braveman 1980).

Químicamente, las clorofilas pueden ser alteradas de varias maneras. El color verde de la clorofila cambia a un verde olivo opaco durante el procesamiento de algunas verduras.Este cambio se debe a la formaciòn de feofitinas (color pardo-oliva) con el reemplazo de magnesio por hidrògeno en las clorofilas (Luh & Woodroof 1976). La eliminación del magnesio de la molécula de clorofila se debe a la acción de un ácido débil. Los tejidos vegetales son naturalmente bastante ácidos, pero las clorofilas se pueden encontrar aparentemente unidas a lipoproteinas que cierta forma protegen la acción de los ácidos. Cuado se aplica calor en el procesamiento de alimentos, las proteínas tienden a coagular, y la clorofila resulta así más expuesta a la acción adversa de los ácidos (Braveman 1980).

La clorofilasa, enzima que se encuentra en el tejido vegetal, desprende el grupo fitol de la molécula de clorofila (Braveman 1980). Al removerse el grupo fitol de las clorofilas, se forman clorofilidos solubles en agua; estos ùltimos son verdes y tienen esencialmente las mismas cualidades de absorciòn de luz que las clorofilas. Sin embargo,

cuando el H reemplaza el Mg en los clorofilidos, se forman los feofòrbidos café-opaco; que tienen caracterìsticas espectrales similares a las feofitinas (Luh & Woodroof 1976).

Otras reacciones que pueden ocurrir son: la oxidación del anillo isocíclico de la clorofila, o la formación de compuestos incoloros por la división del anillo tetrapirrol (Luh & Woodroof 1976). Es posible que durante el procesamiento del vegetal ocurran estas reacciones hasta cierto punto, pero es limitado comparado con la feofitisación (Fennema 1985).

La degradación oxidativa de este pigmento verde, está relacionada con la oxidación enzimática de los lípidos inducida por la lipoxigenasa (Luh & Woodroof 1976).

En el bròcoli, se ha observado que la retenciòn de clorofila incrementa con un aumento progresivo de CO_2 y disminuciòn de O_2 (Pantastico 1975). El color verde de los vegetales es una de las cualidades afectadas por el etileno. Se ha reportado que la destrucciòn de la clorofila por el etileno es debida a el aumento en la actividad de la clorofilasa (Watada, *et.al.* 1990).

Se ha mostrado que productos deshidratados empacados en contenedores claros sufren fotooxidación y pérdida de color indeseable. Por el momento, la mejor manera de mantener estabilidad en la clorofila es iniciar con materiales de alta calidad, procesar rápidamente, y almacenar el producto a bajas temperaturas (Fennema 1985).

a. Fotosíntesis

Ecuación global:

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{clorofilas}]{\text{Nhv}} (CH_2O) + O_2$$

Nhv = Número de cuantos requeridos por mol

(CH_2O) = Designa "materia orgánica", sin establecer su naturaleza exacta (Braverman 1980).

Se puede también escribir de la siguiente manera:

$$2H_2O + 2A \xrightarrow{\text{luz luminosa}} 2(AH_2) + O_2$$

$$CO_2 + 2(AH_2) \longrightarrow (CH_2O) + H_2O + 2A$$

A = aceptor desconocido (Braverman 1980).

La primera reacción requiere de energía luminosa, mientras que la segunda puede producirse en la oscuridad. La fotosíntesis puede dividirse en dos fases distintas: la transferencia de electrones "corriente arriba" inducida por la luz (la reacción en la luz) y la fijación de CO_2 y su reducción a carbohidrato (la reacción en la obscuridad) (Braverman 1980).

2. Antocianinas

* Grupo amplio de compuestos fenólicos vegetales (Braverman 1980).
* Pigmentos hidrosolubles rojos, azules y púrpura de las flores, frutas y verduras (Braverman 1980).
* Son glucósidos que cuando se los hidroliza producen un azúcar y una aglicona, llamada antocianidina (Braverman 1980).
* La velocidad de destrucción de la antocianina depende del pH y aumenta mas rápidamente cuando son mayores los valores de pH. Modifican su color con los cambios de pH (Fennema 1985).

Por ejemplo la cianina, una clase de antocianina, es roja en solución ácida, morada a pH neutro y azúl en medio alcalino. Se supone que el cambio de color se halla asociado a

un cambio estructural (Braveman 1980). Cambios estructurales en las antocianinas con el pH:

$$\underset{\text{catión en el medio}}{\overset{H^+}{\longleftrightarrow}} \underset{\text{sin carga en medio}}{\overset{OH^-}{\longleftrightarrow}} \text{anión en medio}$$

ácido (rojo) neutro (violeta) básico (azul)

(Braveman 1980).

En general, las antocianinas son azules a pH básico y rojos a pH ácido. Al hidratarse se tornan incoloras (Fennema 1985).

Las antocianinas son químicamente inestables. Los hongos y las plantas poseen, aparentemente, sistemas enzimáticos capaces de blanquear los pigmentos de las antocianinas. La reacción aparentemente implicaría la hidrólisis de la unión glucosídica seguida por alguna degradación oxidativa de la aglicona (Braverman 1980).

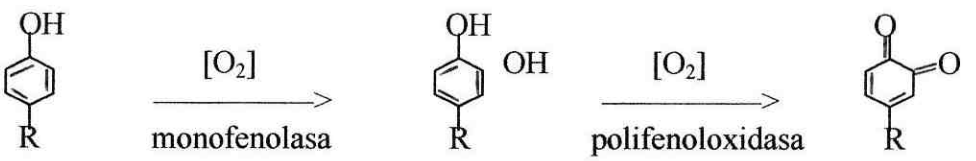
3. Carotenoides. Poseen colores que van desde el amarillo-naranja al púrpura. Pertenecen a la clase de los polienos, contienen cadenas largas con dobles ligaduras conjugadas, lo cual explica el color intenso de este pigmento. Son insolubles en agua aunque se disuelven en grasas y en disolventes orgánicos. Los carotenoides se dividen en dos grupos: los carotenos y las xantofilas (Braveman 1980).

En los vegetales superiores, los carotenoides se encuentran en las hojas, junto a la clorofila, así como en muchas otras partes de la planta. Los carotenoides, combinados con proteinas en los plástidos, forman complejos de proteína-carotenoide y pueden llegar a observarse colores que no suelen desarrollarse en los carotenoides como el azul y el negro. Este color complejo depende de la fracción de carotenoide, la parte protéica y de la naturaleza de la unión entre los dos componentes (Braveman 1980).

Por ser una molécula altamente insaturada, se oxidan ráridamente. Al irse saturando los dobles enlaces, finalmente se rompen y el color característico de los carotenoides desaparece. La enzima lipoxidasa, importante en la oxidación de verduras, puede participar también en la oxidación de estos pigmentos (Braveman 1980).

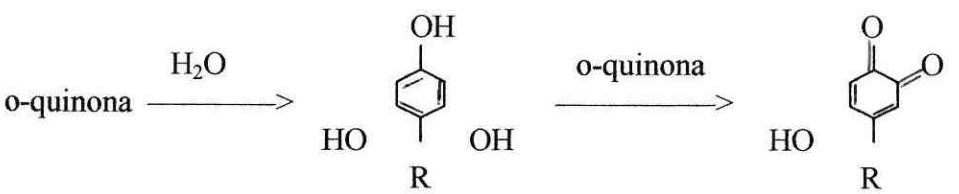
El factor más importante en la oxidación de los carotenoides es la presencia de oxígeno y reactivos fuertemente oxidantes. A menor humedad y mayor temperatura, la oxidación se ve acelerada (Braveman 1980).

4. Pardeamiento enzimático. El mecanismo general del pardeamiento enzimático es el siguiente:



(a) (b)

Compuestos Monofenólicos — Difenol — o-quinona



(c)

(Braverman 1980).

(a) Hidroxilación enzimática del sustrato (monofenol). La monofenolasa es una oxígeno transferasa, ya que cataliza la transferencia de oxígeno al sustrato (Braverman 1980).

(b) Oxidación enzimática de un polifenol. La polifenolasa se asemeja a una deshidrogenasa ya que elimina el hidrógeno del sustrato (Braverman 1980).
(c) Polimerización de las o-quinonas para dar sustancias complejas coloreadas, aparentemente son no-enzimáticas y no requieren de presencia de oxígeno. Estos complejos pueden ser de color rojo, morado, pardo, negro (Braverman 1980).

El ácido ascórbico retarda el pardeamiento enzimático por su poder reductor. Reduce a las o-quinonas nuevamente a sus o-difenoles originales:

ácido ascórbico + o-quinona → difenol + ácido dehidroascórbico
(Braverman 1980).

El pH óptimo para la mayoría de las fenolasas en los alimentos está cerca de 7. El disminuir el pH a valores por debajo de 4 reatarda considerablemente la actividad de la fenolasa (Braverman 1980).

Los sustratos fenólicos en las hortalizas (como las antocianinas, la tirosina) intervienen en el fenómeno de descomposición denominado "Pardeamiento enzimático" (Braverman 1980).

El pardeamiento enzimático ocurre en los tejidos vegetales, es rápido y catalizado por enzimas. Para que se lleve a cabo este tipo de pardeamiento deben estar presentes los siguientes factores:

a. Sustratos fenólicos adecuados,
b .Fenoloxidasas activas y
c. Oxígeno.

(Braverman 1980).

Para prevenir el pardeamiento enzimático, comúnmente se:

a. Inactivar la enzima

b. Crean condiciones poco favorables para la acción enzimática (descenso de pH, reducción de la actividad de agua)

c. Minimiza el contacto con el oxígeno

d. Empleo de antioxidantes (ácido ascórbico, dióxido de azufre).

(Braveman 1980).

D. Cosecha

Se debe determinar qué sustancias químicas utilizan los productores agrícolas y como y cuándo las aplican a los cultivos. Sólo los productos que hayan sido cultivados con arreglo a unas condiciones establecidas (y que corresponden a las especificaciones del procesador) para ese tipo de materia prima, podrán aceptarse para la elaboración, puesto que rara vez es posible analizar las hortalizas crudas para detectar residuos de sustancias químicas agrícolas antes del término de la elaboración del lote (ONU para Agriultura y Alimentación 1989).

También se deben inspeccionar las zonas de cultivo para verificar que las hortalizas crudas no estén contaminadas con otros materiales potencialmente peligrosos, tales como aguas residuales tóxicas o descargas de gas de industria situadas en las cercanías (ONU para Agriultura y Alimentación 1989).

La calidad de muchas hortalizas elaboradas depende en gran medida de la madurez fisiológica de la materia prima en el momento de la cosecha. el grado de madurez de las frutas y hortalizas se determina a menudo mediante inspección visual y sobre la base de las propiedades táctiles del producto, pero también se utilizan métodos objetivos (ONU para Agricultura y Alimentación 1989).

La flor inmadura es la parte comestible. Esta inflorescencia debe cortarse cuando haya alcanzado un tamaño máximo y en donde las flores se mantienen aún cerradas (Saravia 1990). Cuando se corta el brócoli se dejan unos 10 a 15 cm. del tallo, ya que es nutritivo y que al cocinarlo se vuelve suave. De los brotes secundarios se dejan sólo 7 a 10 cm. de los tallos al recortarlos después de la cosecha (Pantastico 1976).

E. Calidad

El color verde intenso y la compactibilidad son características deseables. El mercado acepta cabezas de menor tamaño de brócoli que de coliflor, y aún varias cabezas pequeñas o los tallos laterales atados en un manojo, pueden ser de calidad excelente (Pantastico 1976).

El color blanco o cremoso en el centro de la cabeza, es una caractrística de las cabezas jóvenes y compactas, y no interfiere en la calidad del producto (United States Department of Agriculture 1960).

Se rechaza el brócoli con amarillamientos o cualquier tipo de marchitez, porque son indicadores del mal manejo en los canales de mercadeo (Ryall & Lipton 1972).

Cualquier tipo de decoloración que no se torne verde suave u oscuro durante el proceso de blanqueo, se considera como daño (United States Department of Agriculture 1960).

F. Desórdenes fisiológicos

1. Deficiencia de Boron

Descripción: Las hojas están deformes y decoloradas, los peciolos están rajados, hay alteraciones en el tallo, y los floretes inmaduros están cafés (Ryall & Lipton 1972).

Prevención: La única solución es la fertilización. El brócoli afectado nunca debe comercializarse (Ryall & Lipton 1972).

2. Daño por enfriamiento

Descripción: Los floretes mas jóvenes en el centro de la inflorescencia son los más sensibles a la congelación y se tornan de color café. El deterioro se ve por la muerte del tejido. El brócoli congelado tiene un olor fuerte y desagradable (Ryall & Lipton 1972).

Causa: Los puntos de congelación de los botones y del tallo son casi iguales, unas pocas décimas de grado más o menos de 30°F (- 1.1° C) (Ryall & Lipton 1972).

Prevención: El brócoli no está tan protegido por hojas, por lo que congelaciones moderadas pueden causar daño sustancial. Si se suspende el congelamiento, las cabezas deben examinarse detenidamente después de uno o dos días, si están dañdas, no deben comercializarse (Ryall & Lipton 1972).

3. Amarillamiento

Descripción y causa: El amarillamiento de los floretes es el desorden más común del brócoli y es una señal del envajecimiento. El amarillamiento se puede causar por largos períodos de almacenamiento o temperaturas muy altas. La exposición a etileno también acelera el amarillamiento, particularmente a temperaturas arriba de 40°F (4.4°C) (Ryall & Lipton 1972).

El brócoli amarillo-verdoso tiende a estar duro y tener poco sabor. No debe comercializarse porque su apariencia y sus cualidades alimenticias se deterioran demasiado (Ryall & Lipton 1972).

G. Pre-enfriamiento y transporte

Hidroenfriado: Este hidroenfriado con agua extrae rápidamente el calor del campo que trae el producto. Se ha utilizado con grandes ventajas para vegetales como el brócoli para retener la textura y mantener la frescura. El equipo de hidroenfriado consiste en un tanque de agua con hielo, una bomba para cirlular agua a un sistema de rocío y una banda para transportar el producto (Pantastico 1975).

Debido a que el brócoli es un producto que se deteriora fácilmente, es necesario un pre-enfriado en el campo. Cuando se mantiene el brócoli a temperatura ambiente, aun por un corto tiempo, comienza a florecer y a enseñar un color amarillo indeseable (Luh & Woodroof 1976).

El brócoli debe pre-enfriarse rápidamente a 32° F (0°C) o lo más cerca posible. Esto se logra por medio del hidroenfriado o del empacado de el brócoli en hielo. Lo mejor es la combinación de ambos procesos. El brócoli puede enfriarse de 70 a 35° F (21.1 a 1.7°C) en 10 minutos si el agua se mantiene a 32° F (0°C) (Ryall & Lipton 1972).

Para evitar que se marchite el producto es necesario tener una humedad relativa elevada (aproximadamente un 95%) y mantener bajas temperaturas para evitar crecimiento de mohos (Ryall & Lipton 1972).

H. Lavado

El papel del agua como medio de propagación de infecciones se conoce desde la antigüedad, y la desinfección ha sido una de las prácticas más efectivas para proteger la salud pública (Santos 1990).

Los cuatro pasos para un proceso adecuado de sanitación: (a) Prelavado con agua a alta presión para remover sólidos; (b) Remoción física de los sólidos, con detergentes o

por medios mecánicos; (c) Lavado posterior para remover el detergente y los sólidos sueltos; (d) Agregar compuestos esterilizadores que prevengan la recontaminación antes del proceso (Giese 1991).

Los compuestos clorados tienen varias ventajas como su rápida actividad antimicrobial, su efectividad contra esporas bacterianas y fagos bacterianos, y el hecho de ser unos de los esterilizadores más económicos. Algunas desventajas son que al ser expuestos a la luz durante el almacenamiento, se deterioran; su eficiencia disminuye rápidamente arriba de un pH de 6-7; irritan la piel (Giese 1991).

Cuando las soluciones concentradas de hipoclorito de sodio se disuelven en agua, hay una disminución del pH al formarse ácido hipocloroso. Este ácido es un agente activo que mata bacterias al destruir sus paredes celulares. También se pueden utilizar otros compuestos clorados como el cloro granular y el dióxido de cloro (Giese 1991).

El agua en la balsa de tratamientos y la utilizada en casos de inmersión para manupulación hidráulica o de prerefrigeración en el caso de practicar el hidroenfriado, debe mantenerse en condiciones higiénicas, libre de residuos aportados por los frutos. Estas aguas se pueden tratar con ácido hipocloroso, añadiendo como una sal del cloro o del hipoclorito (50 ppm de cloro activo), utilizándose el ortofenilfenato sódico, con las ventajas de no ser corrosivo, mantener la estabilidad de la solución y su competividad con los productos que reaccionan con el cloro (De La Plaza 1992).

La presencia de insectos, tierra, mohos, etc. deben removerse lavando el producto. Antes del lavado deben cortarse y removerse los pedazos deteriorados (Pantastico 1975).

Los vegetales frescos tienen tejido vivo, y como tal, respira y transpira; sufren cambios químicos y físicos, y están sujetos a ataques de microorganismos. Por consiguiente sólo productos de alta calidad deben ser empacados (Pantastico 1975).

I. Refrigeración y atmósferas controladas/modificadas

La atmósfera controlada (AC) es una técnica de conservación frigorífica de productos vegetales a temperaturas de refrigeración, en la que además del control y regulación de temperatura y humedad relativa se realizan los de la composición gaseosa de la atmósfera, que resulta modificada respecto al aire normal en cuanto al oxígeno y el anhídrido carbónico (De La Plaza 1992).

El almacenamiento en bajas temperaturas y atmósferas modificadas pueden disminuir o limitar el crecimiento de muchos microbios durante la manipulación (Shewfelt, Ph.D., Robert L. 1990).

1. Refrigeración. Ciertas frutas y verduras son dañadas por almacenamiento a temperaturas de refrigeración. Este desorden se llama "daño por enfriamiento" y los síntomas incluyen: carencia de madurez, desarrollo de áreas internas cafés, mayor suceptibilidad al decaimiento y desarrollo de sabores desagradables. En muchos casos, la evidencia de estos daños no es aparente hasta que el producto se regrese a temperatura ambiente (Shewfelt, Ph.D., Robert L. 1990).

Las temperaturas de refrigeración retardan la respiración, retardando también el deterioro, envejecimiento y evolución de calor (Pantastico 1975).

Para las verduras almacenadas a temperaturas de refrigeración durante un largo período de tiempo, es importante tomar en cuenta el crecimiento de patógenos psicrotrópicos; y para los productos almacenados en un ambiente bajo en oxígeno, es importante el desarrollo de toxinas botulínicas (Shewfelt, Ph.D., Robert L. 1990).

El punto promedio de congelación del brócoli es de 0.9°F (0.61°C) (Trasoceánicas, S.A. El Salvador, Centro América Emabarques Unificados de Mercancías Perecederas).

TABLA No.4

Condiciones recomendadas para el brócoli

TEMPERATURA	0-1.7°C
HUMEDAD RELATIVA	85-95%
VIDA DE ANAQUEL	6-7 Semanas

(Pantastico 1975).

Las temperaturas mayores que las óptimas pueden causar un desarrollo muy rápido de los botones florales, reduciéndose la calidad del producto. En el brócoli se pueden empezar a mostrar pétalos amarillos (Pantastico 1975).

2. Atmósferas modificadas

a. Beneficios. La diferencia entre atmósfera modificada y atmósfera controlada, es que en esta última se controlan con mayor precisión las presiones parciales del gas (Brecha 1980).

Unas de las ventajas del envasado en atmósferas controladas son: aumento de la vida de almacenamiento y radio de distribución, la producción se planifica de una forma más racional, se reducen los preservantes (algunos de los cuales no están vistos por el consumidor final), se crea un valor añadido al presentar productos frescos no tratados (Dept. de Investigación y Desarrollo de Abelló Linde 1993).

El almacenamiento en atmósferas controladas o modificadas, disminuye las reacciones fisiológicas y por consiguiente tiende a retardar la degradación de nutrientes (Shewfelt, Ph.D, Robert L. 1990).

Otros beneficios son la disminución en la pérdida de color y vitamina C, se minimizan las manchas y alteraciones causadas por los "daños por enfriamiento", y ayuda a mantener la firmeza (De La Plaza 1992).

La eficiencia de la atmósfera controlada en la prevención del deterioro de la fruta o verdura depende del producto, el cultivo, el grado de madurez al ser cosechada, tiempo de almacenamiento y composición atmosférica (Kader 1980).

b. Características generales. Los bajos niveles de O_2, retardan la producción autocatalítica de etileno y reduce su sensibilidad al etileno en proporción al decenso de la concentración de O_2, por debajo de 8%. El CO_2 acumulado en los tejidos puede actuar como un antagonista natural de etileno. La producción de etanol se reducirá al acumularse ACC, su inmediato precursor (ácido 1-amino ciclopropano 1-carboxílico) por posible efecto de inactivación de la enzima ACC-sinteasa responsable de la conversión de ACC a etileno (De La Plaza. 1992).

La suceptibilidad al CO_2 no depende sólo de especie y variedad, sino también del grado de madurez, tiempo de exposición y temperatura de conservación y de la concentració de O_2, de forma que la suceptibilidad a daños de CO_2 aumenta, cuando la concentración de O_2 disminuye (De La Plaza 1992).

c. Características específicas para brócoli. El brócoli es altamente tolerante de las atmósferas controladas y se daña únicamente si el O_2 se reduce ¼% ó menos del 21% en el aire, o si el CO_2 excede los 20% (Hoard & Salunkhe 1975).

Unas de las ventajas de mantener el brócoli a 5-20% de CO_2 son la retención del color, suavidad y retrazo del crecimiento de mohos (Pantastico 1975).

Disminuir el nivel de O_2 a 2%, independientemente del CO_2, retarda un poco el amarillamiento (Ryall & Lipton 1972).

Se han observado los cambios en el brócoli empacado con películas poliméricas a 10°C durante 96 horas, equilibrándose el nivel de CO_2 a aproximadamente 8% y el O_2 a 10%. Estos resultados se compararon con brócolis bajo las mismas condiciones, pero sin empacar. Se encontró que la retención de humedad, ácido ascórbico y clorofila fue mayor en los brócolis empacados. No se encontraron diferencias significativas en la actividad de ascorbato oxidasa ni peroxidasa. La pérdida de ácido ascórbico en el brócoli no empacado pudo deberse a autooxidación (Barth, *et. al.* 1993).

Los altos contenidos de CO_2 durante el almacenamiento de brócoli pueden resultar en protección de la membrana debido a su acción de retardar el envejecimiento (Barth, et.al, 1993).

El brócoli precortado es sometido a daños que pueden resultar en un incremento de la respiración y producción de etileno. Se ha encontrado que las atmósferas controladas retardan el deterioro causado por aceleración de la respiración, envejecimiento y suavizamiento del tejido. En un estudio que se realizó se cortaron las cabezas de brócoli en pedazos de 20g, y consistía en un 6% de CO_2 y un 2% de O_2. Esto se demostró por retraso de amarillamiento, mayor retención de clorofila, reducción en el desarrollo de mohos y y mejor retención de agua. Estos beneficios se hicieron más evidentes al regresar el producto de la atmósfera controlada a 4°C, al aire a 20°C (Bastrash, *et.al.* 1993).

J. Empaque

Si el próducto se empaca en una película impermeable, los niveles internos de O_2 se reducirán a concentraciones muy bajas donde se iniciará una respiración anaeróbica. La anaerobiosis con su acumulación de etanol, acetaldehido y ácidos orgánicos, usualmente está asociada con olores y sabores desagradables y un marcado deterioro en la calidad del producto. También, hay riesgo de crecimiento de patógenos anaerobios, como el

Clostridium botulinum, por lo cual se recomienda un nivel mínimo de O_2 de 1-2%, para asegurar que no se desarrollen condiciones potencialmente peligrosas (Day 1989).

De otra forma, si las frutas u hortalizas se empacan en una película excesivamente permeable, habrá poca o ninguna modificación atmosférica dentro del empaque. Además, habrá pérdida de humedad lo cual causa sequedad y rugosidad indeseables por lo que las películas completamente permeables son inadecuadas para el empaque de este tipo de productos (Day 1980).

Sin embargo, si se escoge una película con permeabilidad intermedia correcta, se establece el equilibrio deseado cuando la rapidez de transmisión de O_2 y CO_2 dentro del empaque es igual a la rapidez de respiración del producto (Day 1980).

Las bolsas de polietileno pueden respirar, pero cuando éstas se fabrican lo mas delgado posible para que estén equilibradas con las velocidades de respiración de los distintos productos, presentan problemas durante el manejo y la distribución. La tecnología de Cryovac ha creado bolsas más resistentes, y que permiten la respiración del producto (Day 1980).

TABLA No.5

Velocidades de respiración del brócoli

TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD DE RESPIRACIÓN (mg de CO_2 producido/kg de brócoli por hora)
0	19-21
4-5	32-37
10	75-87
15-16	161-186
20-21	278-320

(USDA 1986).

La reacción general de la respiración anaerobia es:

$$Glucosa + 6O_2 \rightarrow 6CO2 + 6H_2O \qquad \Delta G\,°` = -686\ kcal/mol$$

La reacción de la respiración anaerobia:

$$Glucosa \rightarrow 2\ lactato + 2H^+ \qquad \Delta G°` = -47.0\ kcal/mol$$

Donde $\Delta G\,°`$ es el cambio estandard de cambio de energía libre.
(Lehninger 1982).

1. Bolsa Cryovac PD-941. El brócoli tiene una tasa de respiración alta, lo cual puede significar una reducción significativa en la vida de anaquel si es empacado inapropiadamente.

La bolsa PD-941 es una nueva formulación de un material con varias capas de poliolefina diseñada para empacar productos con altas tasas de respiración. Esta bolsa mantiene frescos los floretes refrigerados de brócoli, por un mayor período de tiempo.

Esta bolsa tiene las rapideces de transmisión de O_2 y CO_2 necesarias para controlar la respiración de los productos. No hay acumulación de olores dentro de la bolsa.

La bolsa provee de una mejor sanidad durante el transporte y la manipulación. También ayuda a eliminar los problemas de sanitización en las áreas de refrigeración causados por agua sucia y partículas alimenticias.

Tiene propiedades excelentes de flexibilidad y un sello de fuerza superior para asegurar la integridad del producto. No se necesita ningún tipo de vacío después de ser sellado herméticamente.

TABLA No.6

Propiedades de la bolsa PD-941 de Cryovac

PROPIEDAD	MEDICIÓN	
Gauge (medición)	75	
Temperatura mínima a utilizar	0°F (17.8°C)	
Temperatura máxima de almacenamiento (2 años máx.)	90°F (32.2°C)	
Densidad @ 23°C (g/cc)	0.937	
Claridad (%)	76	
Brillo (%)	80	
Fuerza al estallido (cm/kg)	11	
Coeficiente de fricción, film a film	0.30	
	DL*	DT**
Fuerza de tensión (psi)	7,000	7,000
Ruptura en elongación (%)	175	175
Elasticidad (psi @ 23°C)	20,000	20,000
Propagación de ruptura (gramos)	16	16

* DL = Dirección longitudinal ** DT = Dirección transversal

TABLA No. 7

Propiedades de otros plásticos

	OTR[a] (cc/m^2/día)	CO_2TR[b] (cc/m^2/día)	MVTR[C] ($gm/100plg^2$/día)
Polipropileno	1120	4188	-------
Polietileno Linear de Baja Densidad	5100	16,800	0.38
Polietileno de Muy Baja Densidad	1855	8718	-------

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

(continuación de tabla no. 7)

	OTR[a] (cc/m^2/día)	CO_2TR[b] (cc/m^2/día)	MVTR[C] ($gm/100plg^2$/día)
Polietileno de Alta Densidad	4223	14329	0.47
PD-941 Cryovac	16,544	36,000	5.0

a - Pruebas realizadas a 73°F, 0% de Humedad Relativa

b - Pruebas realizadas a 100°F y 100% de Humedada Relativa

c - Pruebas realizadas a 100°F y 100% Humedad Relativa

(Datos proporcionados por Cryovac Co. en Guatemala).

K. Vida de anaquel

Las siguientes técticas se utilizan para alargar la vida de anaquel de verduras frescas:

1. Reducción de temperatura para disminuir la respiración y el envejecimiento.

2. Mantenimiento de una Humedad Relativa óptima, para disminuir las pérdidas de agua sin acelerar el deterioro.

3. Mantenimiento de un ambiente gaseoso óptimo para disminuir la respiración y el envejecimiento.

(Shewfelt, PhD., Robert L. 1990).

L. Presencia de microorganismos

1. Condiciones físicas necesarias para el desarrollo de bacterias. Los gases principales que afectan el desarrollo bacteriano, son el oxígeno y el dióxido de carbono. Las bacterias presentan una respuesta amplia y variable al oxígeno libre, y sobre esta base se dividen en cuatro grupos:

* Aerobias: bacterias que se desarrollan en ausencia de oxígeno libre. (Pelczar, *et.al.* 1990).
* Anaerobias: bacterias que se desarrollan en ausencia de oxígeno libre. (Pelczar, *et.al.* 1990).
* Anaerobias facultativas: bacterias que se desarrollan tanto en presencia como en ausencia de oxígeno libre. (Pelczar, *et. al.* 1990).
* Microaerofílicas: bacterias que crecen en presencia de pequeñísimas cantidades de oxígeno libre. Pelczar, *et.al.* 1990).

Cada especie de bacterias crece a temperaturas que están dentro de ciertos límites. De acuerdo con esto las bacterias se pueden dividir en los siguientes grupos:
* Psicrofílicas: capaces de desarrollarse a 0°C o menos, aunque crecen mejor a temperaturas superiores, cercanas a 15°C ó 20°C. (Pelczar, *et.al.* 1990).
* Mesófilas: crecen mejor en límites de temperatura que están entre 25 y 40°C. (Pelczar, et.al., 1990).
* Termófilas: crecen mejor entre 45 y 60°C. (Pelczar, et.al., 1990).

2. Cultivo de mohos y levaduras. Para estudiar los mohos se usan los mismos métodos generales de cultivo que para las bacterias. Casi todos, se desarrollan en condiciones de aerobiosis en los medios de cultivo bacteriológico usuales, a temperaturas que varían entre 20 a 30°C. La mayor parte lo hacen más lentamente que las bacterias, y así, cuando llegan a coexistir, el desarrollo de éstas sobrepasa con creces el de los mohos. (Pelczar, *et.al.* 1990).

Si se quiere aislar los mohos, resulta muy práctico usar un medio de cultivo que favoresca su desarrollo pero que no sea óptimo para las bacterias. Medios ácidos (pH 5.6) con concentraciones relativamente elevadas de azúcar son tolerados bien por los mohos pero inhiben a muchas bacterias. Los mohos toleran los azúcares, porque no son tan sensibles a la presión osmótica elevada. (Pelczar, *et.al.* 1990).

Las levaduras son capaces de crecer en un amplio margen de temperatura desde 0 a 47° C; algunas no se desarrollan a más de 15°C, aunque otras pueden hacerlo a mucho menores temperaturas. La óptima para la mayor parte está entre 20 y 30°C. Las variedades patógenas crecen bien entre 30 y 37°C. (Pelczar, *et.al.* 1990).

En general, se sostiene que las levaduras se desarrollan mejor en medios con reacción ácida. Crecen bien en medios con el pH ajustado entre 3.5 y 3.8, en donde se inhiben casi todas las bacterias. El grado de tolerancia a los ácidos varía según la cepa y la especie, desde pH 2.2 a 8.0 (Pelczar, *et.al.* 1990)

El oxígeno en abundancia incrementa el desarrollo de los cultivos de levaduras en el laboratorio. Muchos medios de cultivo bacteriológico usuales (variaciones de agar nutritivo y caldo nutritivo) son satisfactorios. (Pelczar, *et.al.* 1990).

Muchas fórmulas de los medios de cultivo para los mohos y las levaduras contienen peptona, algún carbohidrato y agar. (Pelczar, *et.al.* 1990).

3. Métodos utilizados en análisis microbiológico

a. Técnica de la placa vertida. El principio de la técnica de la placa vertida es la dilución de la muestra en tubos con agar fundido y enfriado. Se necesita hacer diluciones en más de un tubo para obtener colonias bien aisladas, si es que no se conoce la magnitud de la población bacteriana de la muestra antes de manejarla. El medio se mantiene al estado líquido a una temperatura de 45°C para permitir que el inóculo se distribuya adecuadamente en el medio. Una vez sembrado el medio se pone en cajas Petri, se deja solidificar y después se incuba. Como algunos microorganismos quedan atrapados entre el agar, se observarán colonias tanto en la superficie como entre el medio cuando éste solidifica (Pelczar, *et.al.* 1990).

Esta técnica se hace en forma cualitativa o cuantitativa. Cuando se emplea el procedimiento cuantitativo, podremos determinar el número de bacterias (de un tipo particular) en la muestra, así como aislarlas en un cultivo puro. (Pelczar, *et.al.* 1990).

b. Determinación del número más probable. El valor computado con este método es una estimación de la densidad de la población, y no un conteo directo de los organismos vivos. Los tubos positivos se indican con la presencia de gas y crecimiento microbiano. La teoría de probabilidades se aplica a los resultados y se leen tablas con los índices de MPN definidos para los límites de confiansa deseados (FDA Bacteriological Analytical Manual 1984).

M. Producción y exportación

TABLA No.8

Guatemala: Estimaciones sobre el área y producción de brócoli durante el período 1985-1989

AÑOS	BRÓCOLI
1985 T.M.	9,177
1986 T.M.	10,510
1987 T.M.	11,270
1988 T.M.	11,250
1989 T.M.	12,345

(Fuente: Estimaciones realizadas por el Centro de Cooperación Internacional para la Preinversiín Agrícola -CIPREDA- 1990).

La producción ha mostrado un crecimiento promedio anual de 61% al pasar de 9,177 T.M. en 1985 a 12,345 T.M. en 1989. El consumo interno de este producto no es tan

importante, obedeciendo su crecimiento a la expansión de las exportaciones a los Estados Unidos, país que en promedio absorbe el 86% de las exportaciones. (Hernández 1990).

TABLA No.9

Volumen de brócoli exportados a los Estados Unidos

(Unidades de volumen están dadas en 100,000 lbs.)

AÑO	DESDE GUATEMALA	DESDE CENTRO AMÉRICA
1985	0	0
1986	0	0
1987	0	0
1988	0	0
1989	6	6
1990	3	4

(Fuente: USDA (Fresh Fruit and Vegetable Shipments)/Proexag 1991).

En datos obtenidos para 1976-1986 en Estados Unidos el consumo per-cápita de brócoli aumentó 175%. (Bull 1987).

TABLA No.10

Exportaciones de brócoli (en kilogramos)

AÑO	BRÓCOLI EXPORTADO
1986	5,974,130
1987	12,389,432
1988	12,144,037
1989	11,898,643

(Fuente: DIGESA/GEXPRONT 1990).

El brócoli tuvo un aumento aproximado del 100% desde 1986 a 1989.

III. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país netamente agrícola con la necesidad de estudios en la industrialización hortofrutícola. La implementación de tecnología de Atmósferas Modificadas para lograr nuevos avances y mejoras, benefician tanto al productor y distribuidor como al consumidor. La utilización de tecnologías apropiadas que permiten ofrecer al consumidor un producto fresco o semiprocesado, satisfaciendo las demandas de la población.

El aumento del precio de los productos hortofrutícolas han llevado a la necesidad de encontrar nuevos caminos para reducir el deterioro y la pérdida de calidad de estos. La tecnología de Atmósferas Modificadas permite presentar al consumidor un producto con estándares de calidad específicos. Existen ventajas económicas debido a la reducción en el manejo de producto indeseado o de baja calidad. También se reducen las pérdidas de producto por manipulación y pérdida de agua.

El brócoli tiene elevadas tasas de respiración, lo cual hace difícil la elección de un empaque con las caractrísticas adecuadas de transferencia de gases para aumentar lo más posible la vida de anaquel. Para lograr que las bolsas de polietileno, generalmente utilizadas, tengan estas velocidades de transmisión de gases, habría que hacerlas demasiado delgadas lo cual sería inadecuado durante el transporte, distribución y manipulación. Las bolsas a utilizarse, fueron diseñadas para facilitar la transferencia de gases a través del plástico formado, lo cual ayuda a mantener la calidad de sus productos durante el almacenamiento.

Al final de la cadena de distribución, el consumidor obtiene un producto de mejor calidad porque mantienen sus cualidades nutritiva y su apariencia sin la adición de preservantes. Entre estas cualidades están la retención de color, madurez, vitamina C, acidez y retardo en la deshidratación.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivos generales

1. Aumentar la vida de anaquel del brócoli, como producto fresco, a través de la utilización de la tecnología de atmósferas modificadas.

B. Objetivos específicos

1. Mantener las cualidades del producto inicial, procesándolo deacuerdo a condiciones ya establecidas.

2. Determinar los cambios ocurridos con las distintas formas de empaque utilizadas.

3. Analizar las mejores condiciones de almacenamiento para ampliar el período de conservación y poder presentar un producto de calidad óptima.

V. HIPÓTESIS

El almacenamiento refrigerado de floretes de brócoli en empaques de laminados plásticos que permite una permeabilidad intermedia en la bolsa y con un llenado específico, son las condiciones más indicadas para obtener productos que conserven mejor la vitamina C y retarden los cambios de color indeseables en el producto por un mayor período de tiempo.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Metodología

1. Selección. El brócoli se acepta cuando:

a. Es de color verde intenso

b. Es compacto

c. Tiene un color blanco o cremoso en el centro de la cabeza, porque sólo indica falta de madurez.

d. No presenta ningún tipo de amarillamiento o cualquier tipo de marchitez.

Cualquier tipo de decoloración que no se torne verde suave u oscuro durante el proceso de blanqueo, se considera como daño y se debe rechazar.

2. Preparación

a. Hacer un prelavado bajo un chorro de agua a alta presión.

b. Remover las cabezas dañadas, ya florecidas o infestadas con insectos. Remover las hojas externas y las demasiado grandes, y los pedazos podridos o marchitos.

c. Cortar el tallo principal.

d. Separar los floretes y cortarlos con un poco de tallo, aproximadamente dos pulgadas formando unidades uniformes.

3. Lavado. Los pedazos seleccionados se sumergen en una solución de 50 ppm de hipoclorito durante 2 minutos a 4°C.

4. Secado. Centrifugar a 1,800 rpm durante 1.5 minutos.

5. Empaque y almacenamiento

a. Atmósfera modificada: Empacar 14 bolsas PD-941 de Cryovac con 280g de floretes de brócoli, y otras 14 bolsas con 140g. Sellarlas herméticamente y almacenarlas en el cuarto frío.

b. Ambiente atmosférico normal: Empacar 14 bolsas perforadas PD-940 de Cryovac con 280g de floretes de brócoli, y otras 14 bolsas con 140g. Sellarlas y almacenarlas en el cuarto frío.

6. Análisis

a. Color: se medió con un tintómetro.

b. pH: se midió con un pH-metro

c. Ácido ascórbico: se utilizó un RQ Flex con tiras reflectoquant para medición de ácido ascórbico.

d. Temperatura de refrigeración: se midió con el termómetro.

e. Análisis microbiológico:

1) Conteo total de bacterias

a) Técnica: Placa vertida.

b) Agar: Peptona de caseina, extracto de levadura, dextrosa y agar agar.

c) Marca: Merck

d) Especificaciones: Este medio no contiene ningún inhibidor o indicador; se usa principalmente para determinar conteos totales microbianos.

e) Preparación: Disolver 22.5g/litro, autoclavear (15 minutos a 121°C). Si se desea, agregar 1.0g de leche descremada en polvo/ litro antes de la esterilización. pH: 7.0 ± 0.1. Las placas son claras e incoloras. Depués de hacer la inoculación, incubar a 35°C durante 2 días. Midiendo bacterias mesofílicas.

2) Recuento total de mohos y levaduras

a) Técnica: Rayar la muestra en la superficie del medio de cultivo.

b) Agar: Infusión de papa, dextrosa, agar-agar

c) Marca: Merck

d) Especificaciones: Para el cultivo, aislamiento y enumeración de mohos y levaduras de productos alimenticios y otros materiales.

e) Preparación: Disolver 39 g/litro, autoclavear (15 minutos a 121°C). pH: 5.6 ± 0.1. Si el pH tiene que ajustarse a 3.5, agregar aproximadamente 14ml de solución de ácido tartárico al 10%/litro a una temperatura de 45-50°C. Después de hacer la inoculación, incubar a temperatura ambiente hasta 5 días.

3) Detección de coniformes

a) Método: Fluorocultivo, utilizando el número mas probable

b) Caldo: Lauryl Sulfato

c) Preparación: Disolver 36.5g/litro, llenar los tubos de ensayo con tubos Durham, autoclavear (quince minutos a 121°C). pH: 6.8 ± 0.1. Inocular los tubos usando por lo menos 1mililitro de inóculo por 10 mililitros de caldo. Incubar 16-24 horas a 37°C.

d) Especificaciones: Para la detección de E.coli, tapar el cultivo con una capa de reactivo indol (KOVACS) de aproximadamente 5mm. Si la capa del reactivo se torna rojo cereza después de 1-2 minutos, la presencia de E.coli se confirma. La formación de gas en los tubos Durham significa que el cultivo contiene E.coli y/o otros organismos coliformes.

Para cuantificar los resultados, se utiliza la Tabla No.2 de el Apéndice III de la FDA Bacteriological Analytical Manual, 1984. Se usan límites de confianza del 95%.

B. Material y equipo

1. Equipo

a. Balanza

Marca: Ohaus

Capacidad: 2,610g

Incertidumbre: ± 0.01g

b. Balanza analítica

Marca: Sauter

Capacidad máxima: 200g e = 1mg

Capacidad mínima: 50mg d = 0.1mg

c. Tintómetro

Marca: Lovibond

Tipo: D

Especificaciones: Los resultados obtenidos con este aparato se dan en Unidades Lovibond de rojo, amarillo y azul, midiendo los grados de color. La escala de cada color se puede graduar de:

0.1 a 0.9 - rojo, amarillo y azul

1 a 9 - rojo, amarillo y azul

10 a 70 - rojo y amarillo

10 a 40 - azul

a. Centrífuga

Marca: Bock

Especificaciones: Tiene una capacidad de 30lb y alcanza un máximo de 1,800 rpm.

e. pH-Metro

Marca: Metrohm

Modelo: pH-metro 691

f. RQ Flex

Marca: Merck

Especificaciones: De acuerdo con el principio de reflectometría (fotometría de remisión) se mide la luz reflejada. Como en fotometría, la diferencia en intensidad entre la intensidad emitida y la reflejada permite una determinación cuantitativa del analito.

g. Termómetro

Marca: Delta Track

Rango de operación: -40°C a 150°C

Exactitud de 1°C

h. Cuchillo de acero inoxidable

i. Estufa

Marca: Sybron

j. Selladora

Marca: KOCH Packaging System

Modelo: (X-200) Double Chamber Vaccum Packaging Machine

k. Tubos de ensayo

l. Tubos Durham

m. Incubadora

n. Esterilizador

ñ. Mechero Bunsen

o. Batidora con vaso de metal

p. Pipetas

q. Buretas

r. Beakers

s. Erlenmeyers

2. Material

a. Bolsas PD-941 de la compañía Cryovac con dimensiones de 7 X 11 pulgadas.

b. Hipoclorito de sodio

c. Capas de Indol (KOVACS) - Merck

d. Agar de Peptona-caseina, Dextrosa y Levadura - Merck

e. Agar Patata Dextrosa - Merck

f. Caldo Lauryl Sulfato - Merck

g. Solución de Hipoclorito de Sodio al 9%. Grado alimenticio.

VII. DISEÑO EXPERIMENTAL

A. Unidad experimental

El factor bajo estudio fue la determinación de la efectividad de el empaque laminado y su cantidad de llenado bajo atmósfera modificada, utilizando bolsas Cryovac específicamente.

Las condiciones que variaron fueron: Perforaciones en la bolsa y la cantidad de floretes dentro de la bolsa.

B. Tamaño de la muestra

Hubo 7 muestras para cada variante de empaque como se explicó en la metodología. Cada una de éstas se hizo en duplicado.

C. Análisis estadístico

Se utilizó un análisis de varianzas.

VIII. RESULTADOS

El brócoli se cosechó en una finca de Tecpán Guatemala en Chimaltenango a las 14:00 horas. Se transportó a la ciudad capital por vía terrestre y a temperatura ambiente. Se almacenaron en un cuarto frío, y al día siguiente se procesaron y empacaron.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos mediante la metodología expuesta en la sección anterior. Los resultados se trabajaron con promedios de las muestras.

TABLA No. 11

Conteo total de bacterias, hongos y levaduras

antes y después de la desinfección

	Antes de desinfectar		Después de desinfectar		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 1	Corrida 2	Límite Máximo [1]
Conteo total de bacterias [2]	1,500	1,300	<10 col/g	20 col/g	< 100,000
Recuento hongos/levaduras	20	50	< 10col/g	< 10 col/g	< 100 col/g
Detección de coliformes	64 NMP	75NMP	< 3 NMP	< 3 NMP	< 100 NMP
Dil. 1:10	3/3.	1/3.	0/3.	0/3.	
Dil. 1:100	0/3.	1/3.	0/3.	0/3.	
Dil. 1:1,000	2/3.	1/3.	0/3.	0/3.	
Presencia de E.coli	negativo	negativo	negativo	negativo	

[1] Los datos de los límites máximos permitidos en brócoli congelado para exportación, se obtuvieron con la Licda. Sigrid Koper de AGRIPLAN.

[2] El conteo total de bacterias es de mesofílicas.

TABLA No.12

Determinación de ácido ascórbico
en el brócoli a través del tiempo
(mg de vitamina C/100g de brócoli)

	Muestra			
Día	A	B	C	D
1	127.0	127.0	127.0	127.0
4	117.5	113.5	117.7	112.5
7	113.4	106.0	112.3	103.3
11	108.0	99.0	105.5	93.5
15	102.0	86.5	99.0	82.5
18	98.0	74.5	91.0	69.8
21	88.5	60.0	80.5	57.2

% Retención Promedio	70	47	65	46

A = Bolsa con 280 g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones.

B = Bolsa con 280 g de bócoli, sellada y perforada.

C = Bolsa con 140 g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones.

D = Bolsa con 140 g de bócoli, sellada y perforada.

TABLA No.13

Determinación de pH del brócoli
a través del tiempo

	MUESTRAS			
Día	A	B	C	D
1	6.19	6.19	6.19	6.19
4	6.24	6.26	6.23	6.25
7	6.26	6.30	6.26	6.30
11	6.29	6.34	6.30	6.36
15	6.33	6.38	6.34	6.40
18	6.35	6.48	6.41	6.48
21	6.44	6.54	6.48	6.55

A = Bolsa con 280 g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones.

B = Bolsa con 280 g de bócoli, sellada y perforada.

C = Bolsa con 140 g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones.

D = Bolsa con 140 g de bócoli, sellada y perforada.

TABLA No. 14

Análisis del color del brócoli a través del tiempo

(Intensidades)

MUESTRA A	COLORES		
Día	AZULES	ROJOS	AMARILLOS
1	6.4	1.3	29.0
4	6.4	1.3	31.0
7	6.4	1.4	32.5
11	6.4	1.4	35.0
15	6.4	1.4	38.0
18	6.4	1.6	44.0
21	6.4	2.2	49.5

MUESTRA B	COLORES		
Día	AZULES	ROJOS	AMARILLOS
1	6.4	1.3	29.0
4	6.4	1.3	30.0
7	6.4	1.3	33.5
11	6.5	1.6	37.0
15	6.5	2.2	42.5
18	6.5	2.7	49.0
21	6.5	3.0	54.0

MUESTRA C	COLORES		
Día	AZULES	ROJOS	AMARILLOS
1	6.4	1.3	29.0
4	6.4	1.3	29.5
7	6.4	1.3	33.0
11	6.4	1.5	34.5
15	6.4	2.0	37.5
18	6.5	2.2	44.5
21	6.5	2.6	50.0

MUESTRA D	COLORES		
Día	AZULES	ROJOS	AMARILLOS
1	6.4	1.3	29.0
4	6.4	1.3	31.0
7	6.4	1.4	34.5
11	6.4	1.7	37.5
15	6.5	2.2	43.5
18	6.5	2.7	48.5
21	6.5	3.1	53.0

A = Bolsa con 280 g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones.

B = Bolsa con 280 g de bócoli, sellada y perforada.

C = Bolsa con 140 g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones.

D = Bolsa con 140 g de bócoli, sellada y perforada.

TABLA No.15

Resultados de Análisis de Varianza

EFECTOS	VITAMINA C DESVIACIÓN ESTÁNDARD	INTERPRETACIÓN
Llenado	0.041	significativo
Perforación	0.000	altamente significativo
Día	0.000	altamente significativo
Llenado-Perforación	0.974	no hay efecto
Llenado-Día	0.882	no hay efecto
Perforación-Día	0.000	altamente significativo
Llenado-Perforación-Día	0.990	no hay efecto

EFECTOS	pH DESVIACIÓN ESTÁNDARD	INTERPRETACIÓN
Llenado	0.204	no hay efecto
Perforación	0.001	significativo
Día	0.001	significativo
Llenado-Perforación	0.549	no hay efecto
Llenado-Día	0.854	no hay efecto
Perforación-Día	0.047	significativo
Llenado-Perforación-Día	0.914	no hay efecto

EFECTOS	AZUL DESVIACIÓN ESTÁNDARD	INTERPRETACIÓN
Llenado	0.883	no hay efecto
Perforación	0.306	no hay efecto
Día	0.343	no hay efecto
Llenado-Perforación	0.190	no hay efecto
Llenado-Día	0.981	no hay efecto
Perforación-Día	0.995	no hay efecto
Llenado-Perforación-Día	0.976	no hay efecto

EFECTOS	ROJO DESVIACIÓN ESTÁNDARD	INTERPRETACIÓN
Llenado	0.001	significativo
Perforación	0.000	altamente significativo
Día	0.000	altamente significativo
Llenado-Perforación	0.011	significativo
Llenado-Día	0.320	no hay efecto
Perforación-Día	0.000	altamente significativo
Llenado-Perforación-Día	0.020	significativo

EFECTOS	AMARILLOS DESVIACIÓN ESTÁNDARD	INTERPRETACIÓN
Llenado	0.886	no hay efecto
Perforación	0.000	altamente significativo
Día	0.000	altamente significativo
Llenado-Perforación	0.668	no hay efecto
Llenado-Día	0.998	no hay efecto
Perforación-Día	0.044	significativo
Llenado-Perforación-Día	0.939	no hay efecto

TABLA No.16

Control de temperatura de refrigeración del producto

Día	Hora	# Toma	Temperatura
1	09:00 a.m.	1	1.1
1	5:00 p.m	2	1.5
2	09:00 a.m.	3	3
2	5:00 p.m	4	2.3
3	09:00 a.m.	5	2.5
3	5:00 p.m	6	2.9
4	09:00 a.m.	7	2.8
4	5:00 p.m	8	2.4
5	09:00 a.m.	9	3
5	5:00 p.m	10	3.1
6	09:00 a.m.	11	1.01
6	5:00 p.m	12	3
7	09:00 a.m.	13	3.3
7	5:00 p.m	14	2
8	09:00 a.m.	15	3
8	5:00 p.m	16	3.5
9	09:00 a.m.	17	2.1
9	5:00 p.m	18	3.3
10	09:00 a.m.	19	2.1
10	5:00 p.m	20	3.02
11	09:00 a.m.	21	2.3
11	5:00 p.m	22	2.25
12	09:00 a.m.	23	1.8
12	5:00 p.m	24	2.85
13	09:00 a.m.	25	2.1
13	5:00 p.m	26	3.2
14	09:00 a.m.	27	2
14	5:00 p.m	28	3.1
15	09:00 a.m.	29	2.1
15	5:00 p.m	30	3
16	09:00 a.m.	31	2.1
16	5:00 p.m	32	3.2
17	09:00 a.m.	33	2.2
17	5:00 p.m	34	3
18	09:00 a.m.	35	2.3
18	5:00 p.m	36	3.2
19	09:00 a.m.	37	2.5
19	5:00 p.m	38	3.1
20	09:00 a.m.	39	2.02
20	5:00 p.m	40	3.1
21	09:00 a.m.	41	2.1
21	5:00 p.m	42	3

TABLA No.17

Decoloración y deshidratación inicial
en las muestras de brócoli

	Día	
Muestra	Decoloración	Deshidratación
A	17.5	21
B	9.5	18.2
C	17	21
D	9.5	18

Figura no.1

Cambios de color del brócoli en la bolsa sin perforar empacada con 280g de producto a través del tiempo

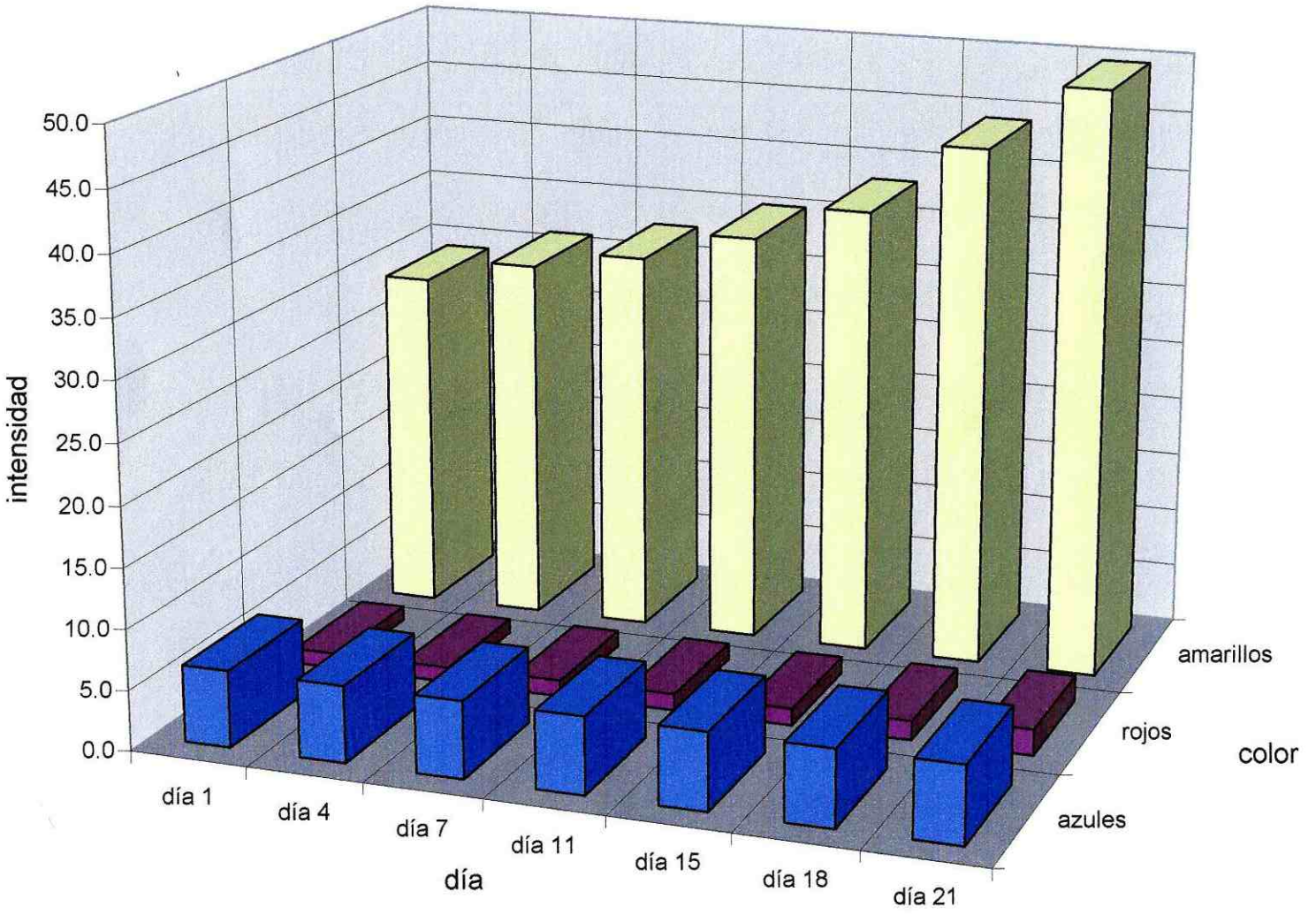


Figura no.2

Cambios de color del brócoli en la bolsa perforada empacada con 280g de producto a través del tiempo

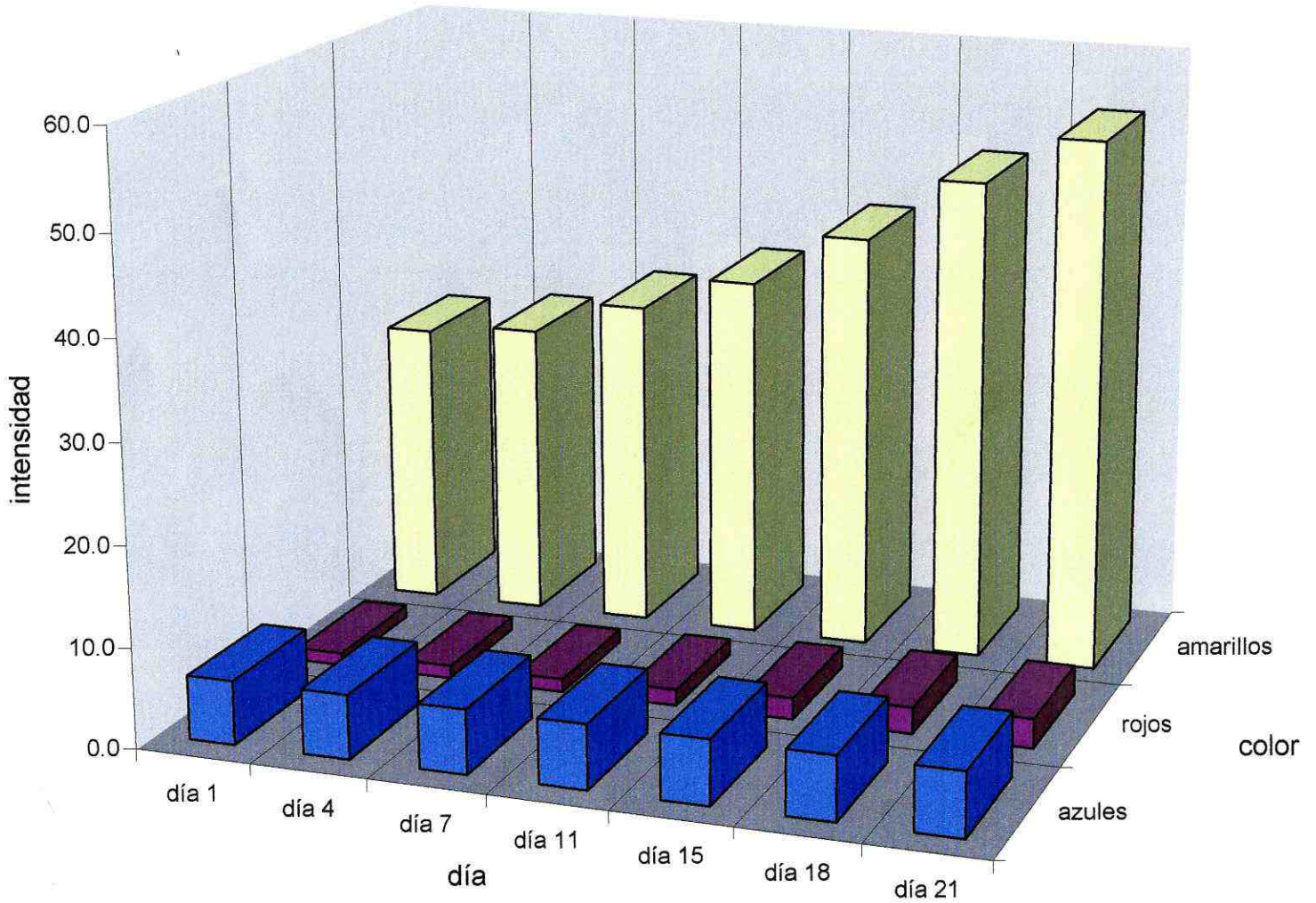


Figura no.3

Cambios de color del brócoli en la bolsa sin perforar empacada con 140g de producto a través del tiempo

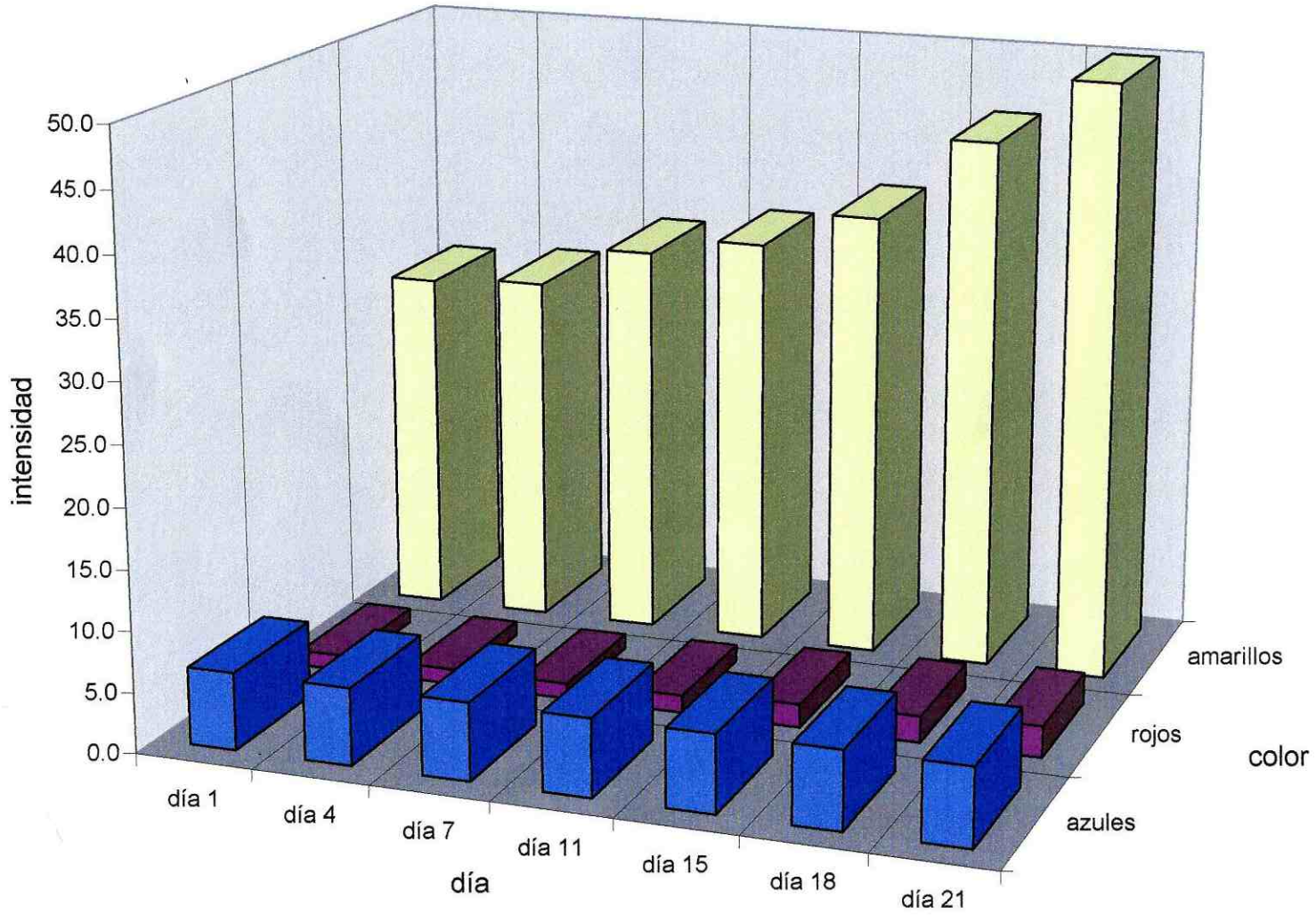


Figura no.4

Cambios de color del brócoli de la bolsa perforada empacada con 140g de producto a través del tiempo

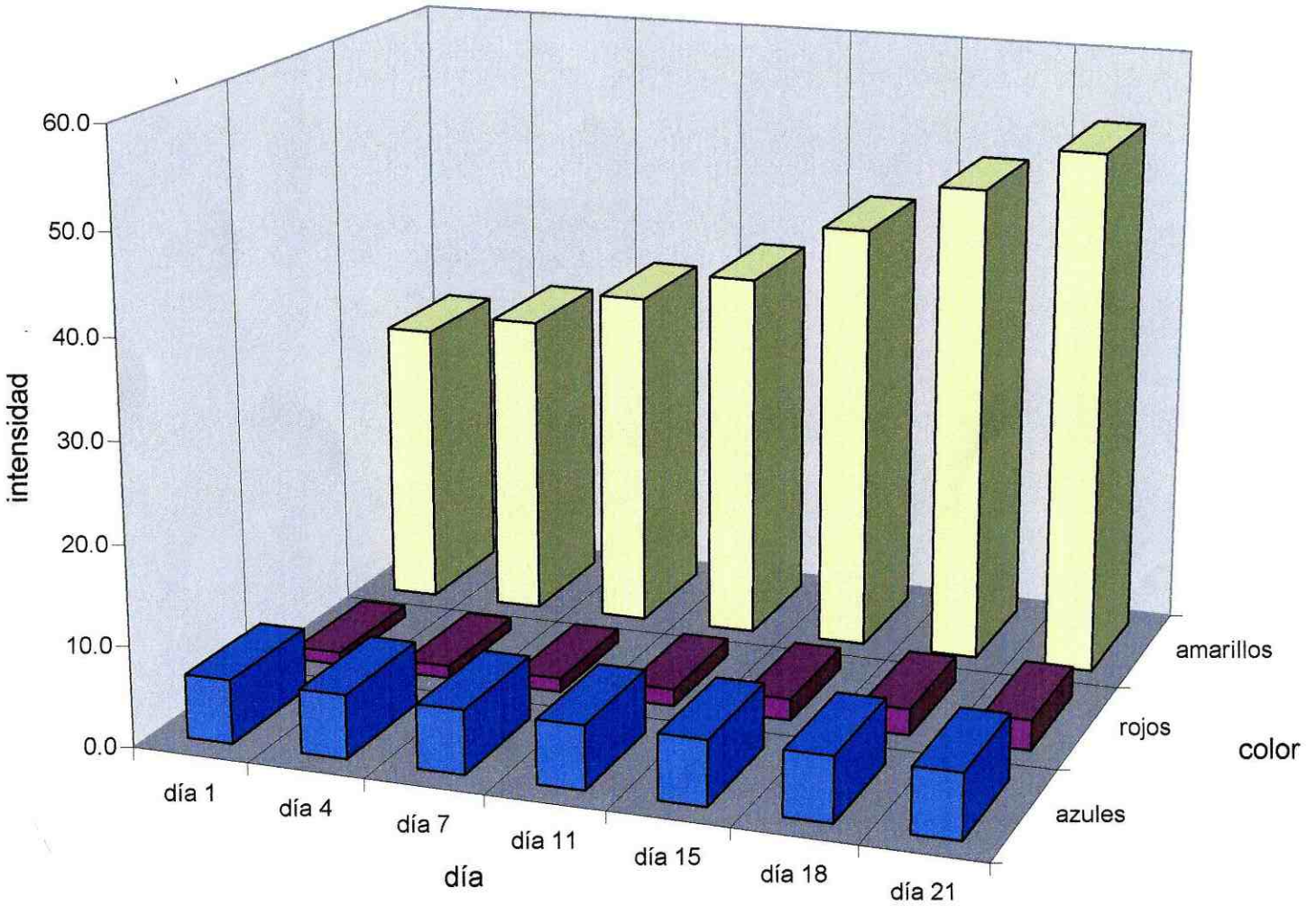
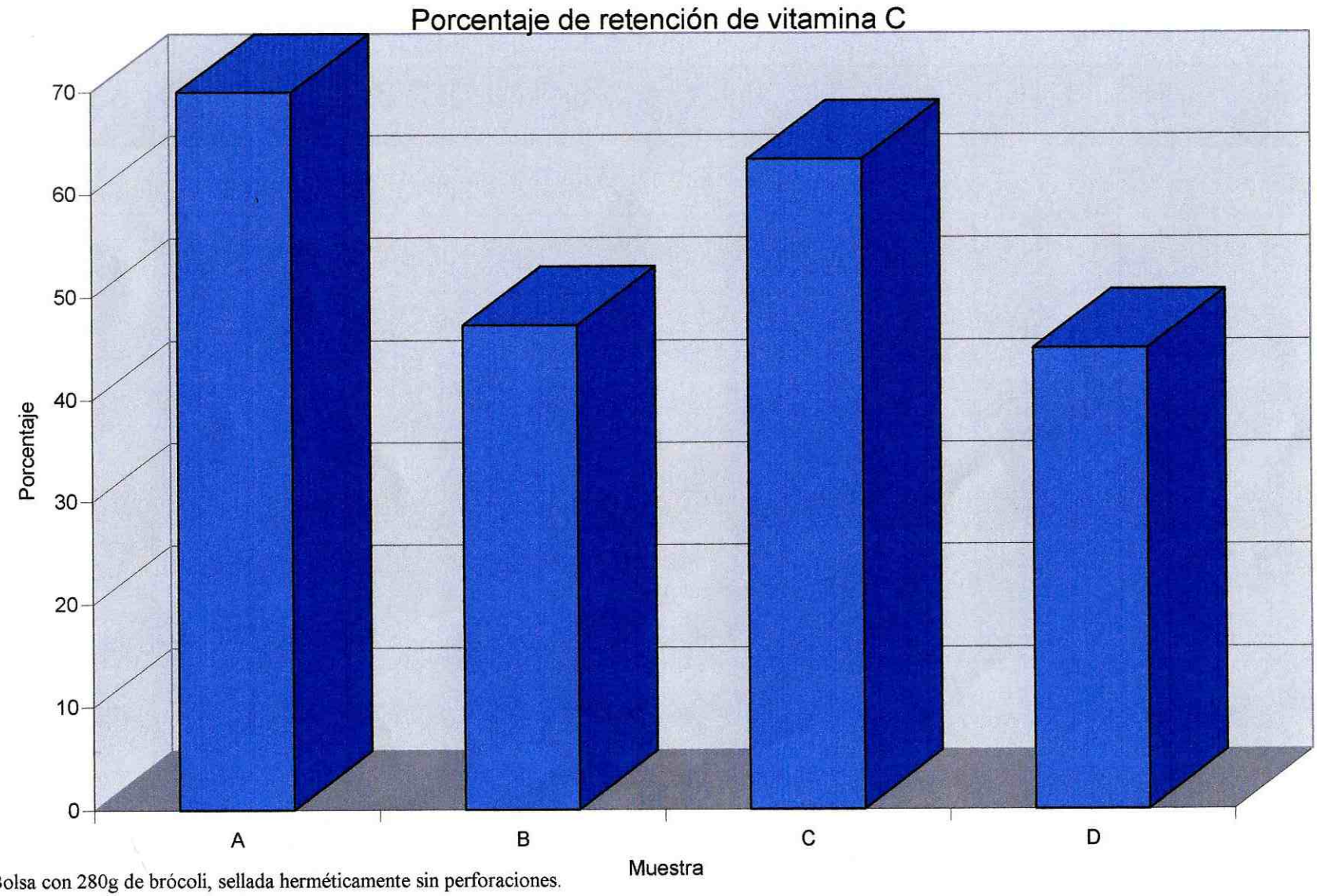


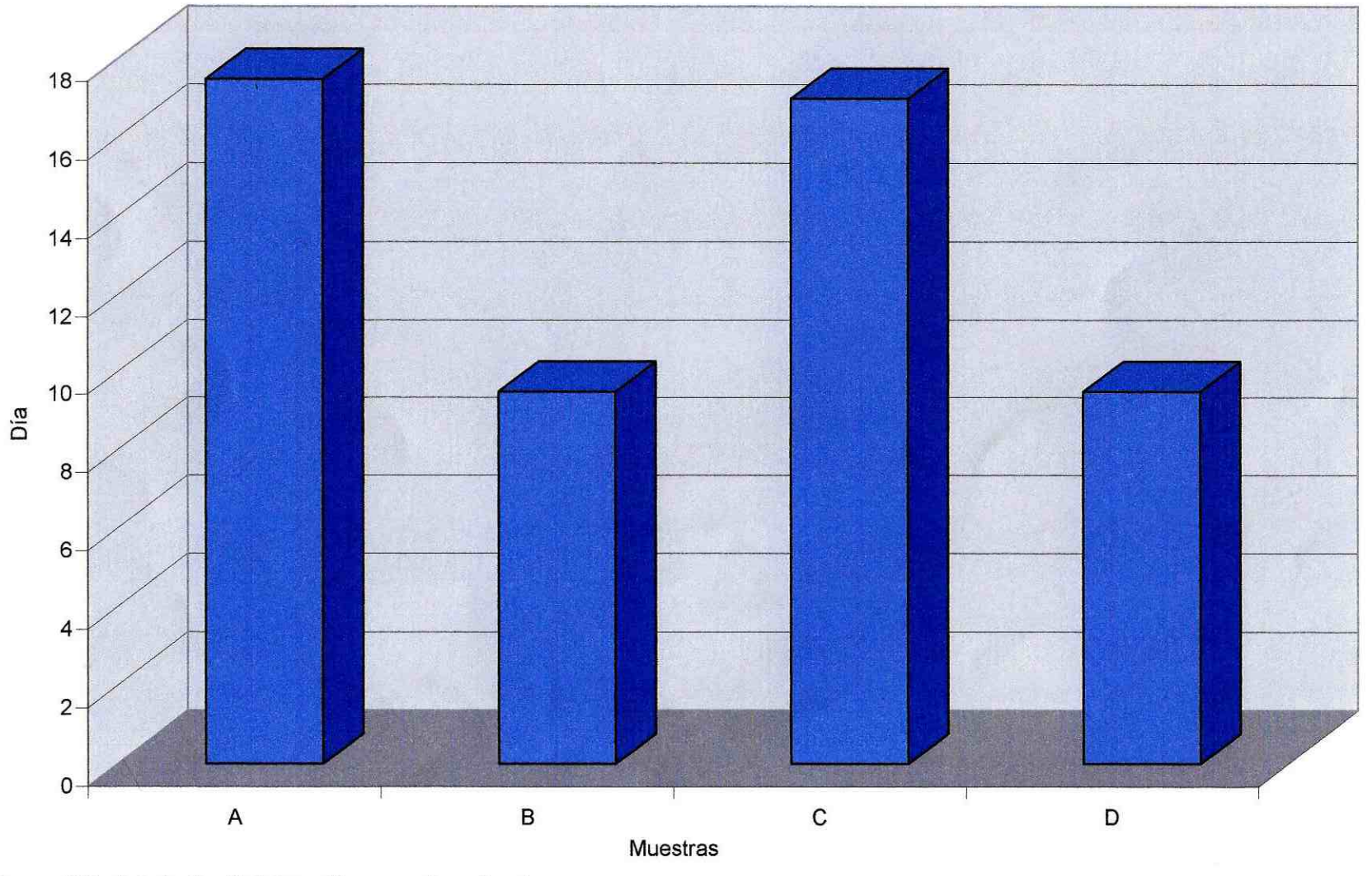
Figura no.5



A = Bolsa con 280g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones.
B = Bolsa con 280g de brócoli, sellada y perforada
C = Bolsa con 140g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones.
D = Bolsa con 140g de brócoli, sellada y perforada

Figura no.6

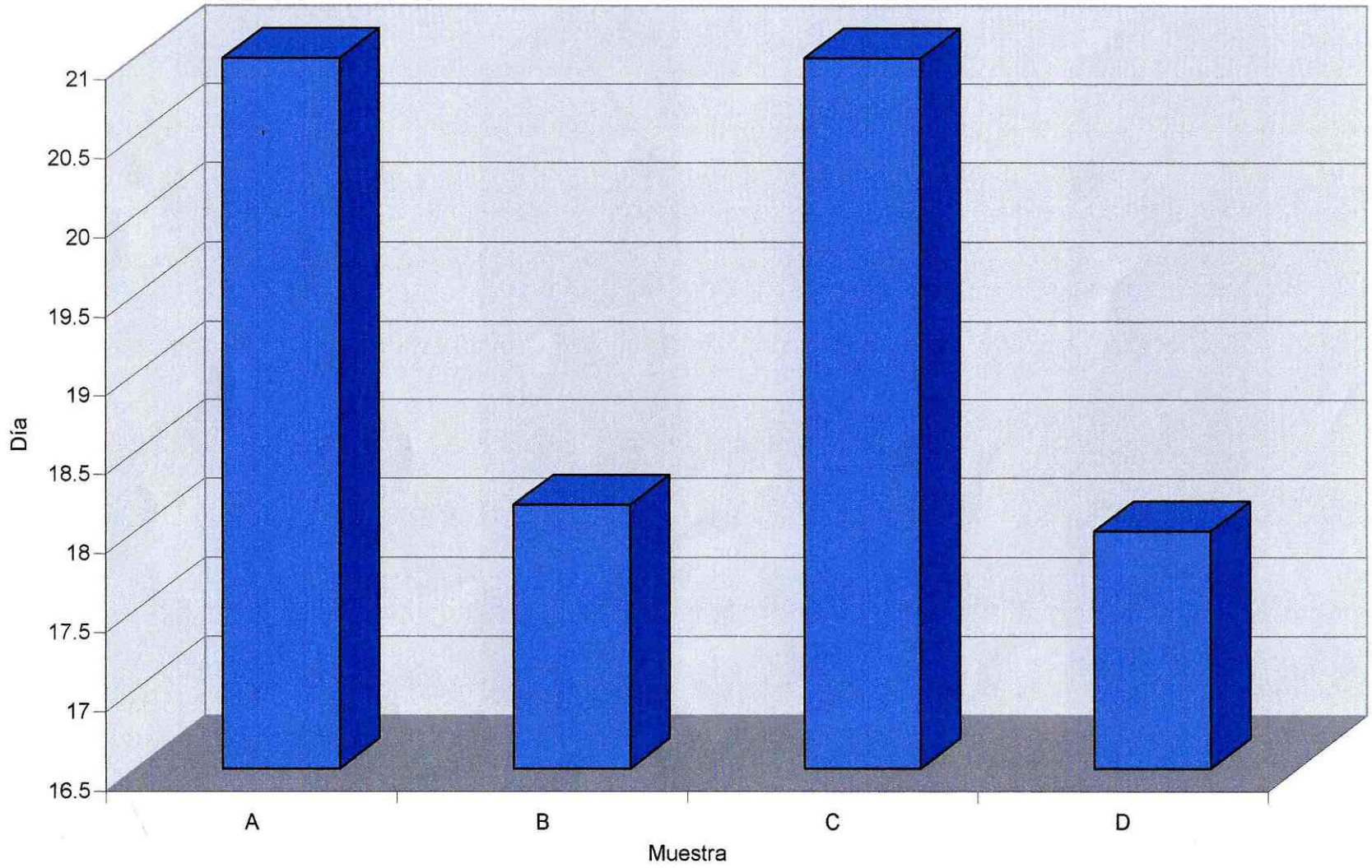
Día de decoloración inicial observada en las muestras de brócoli



A = Bolsa con 280g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones
B = Bolsa con 280g de brócoli, sellada y perforada
C = Bolsa con 140g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones
D = Bolsa con 140g de brócoli, sellada y perforada

Figura no.7

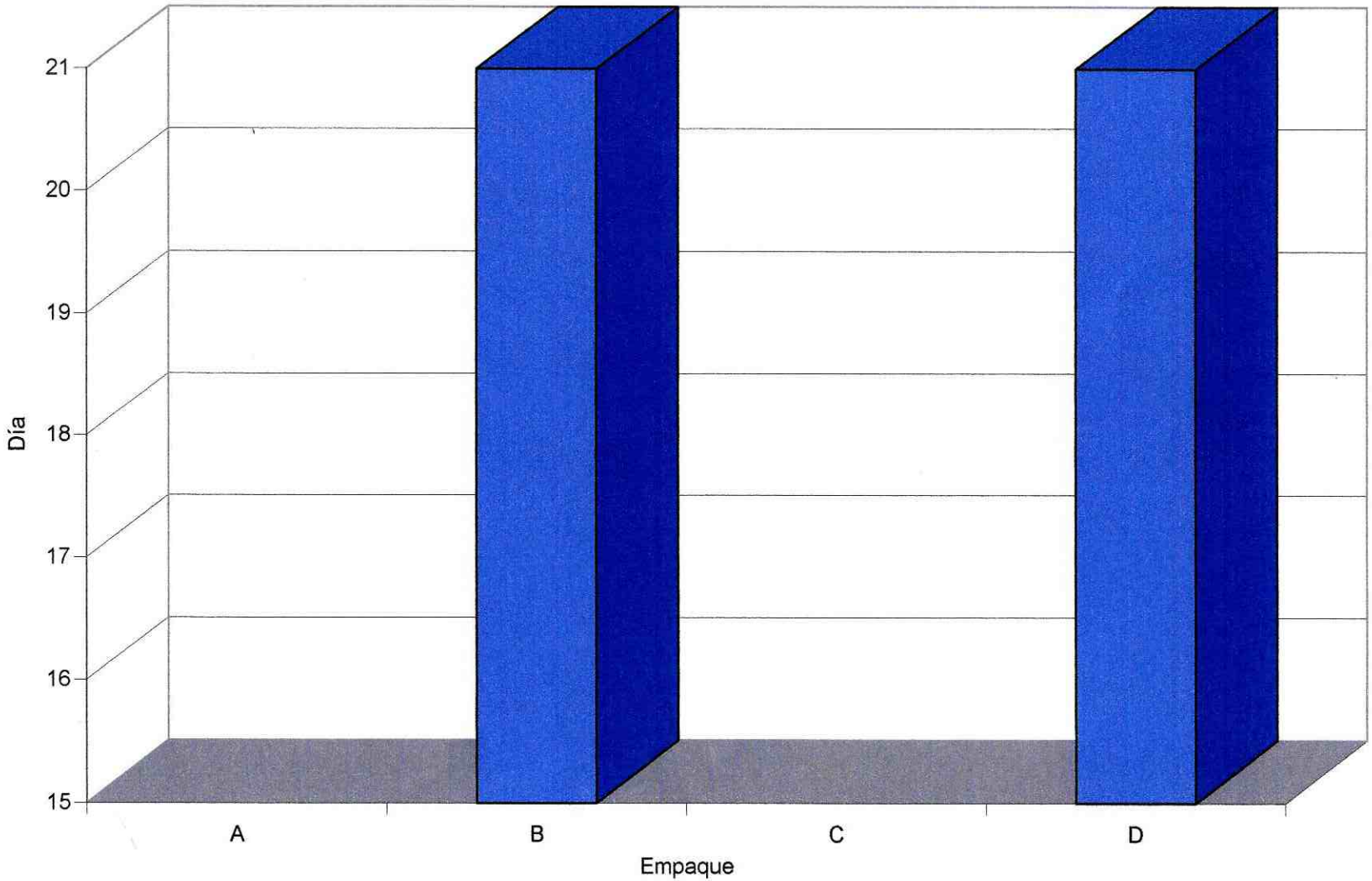
Día de deshidratación inicial observada en las muestras de brócoli



A = Bolsa con 280g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones
B = Bolsa con 280g de brócoli, sellada y perforada
C = Bolsa con 140g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones
D = Bolsa con 140g de brócoli, sellada y perforada

Figura no.8

Día de inicio de capa ligosa observada de las muestras de brócoli a través del tiempo



A= Bolsa con 280g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones
B= Bolsa con 280g de brócoli, sellada y perforada
C= Bolsa con 140g de brócoli, sellada herméticamente sin perforaciones
D= Bolsa con 140g de brócoli, sellada y perforada

Figura no.9

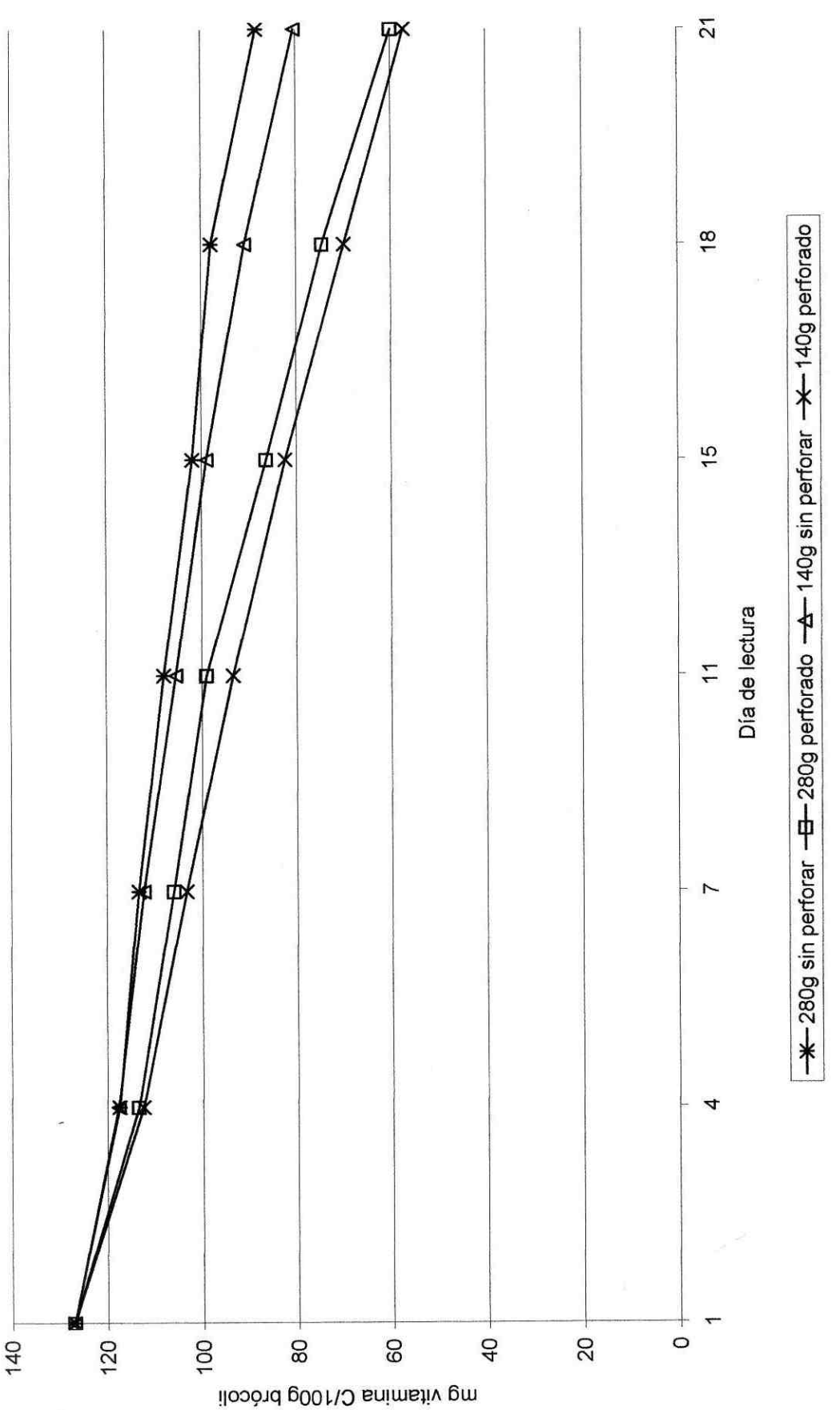

Vitamina C en el brócoli a través del tiempo, según llenado y perforación de empaque
mg vitamina C/100g brócoli
140
120
100
80
60
40
20
0
1
4
7
11
15
18
21
Día de lectura
280g sin perforar
280g perforado
140g sin perforar
140g perforado

Figura no.10

pH del brócoli a través del tiempo según llenado y perforación del empaque

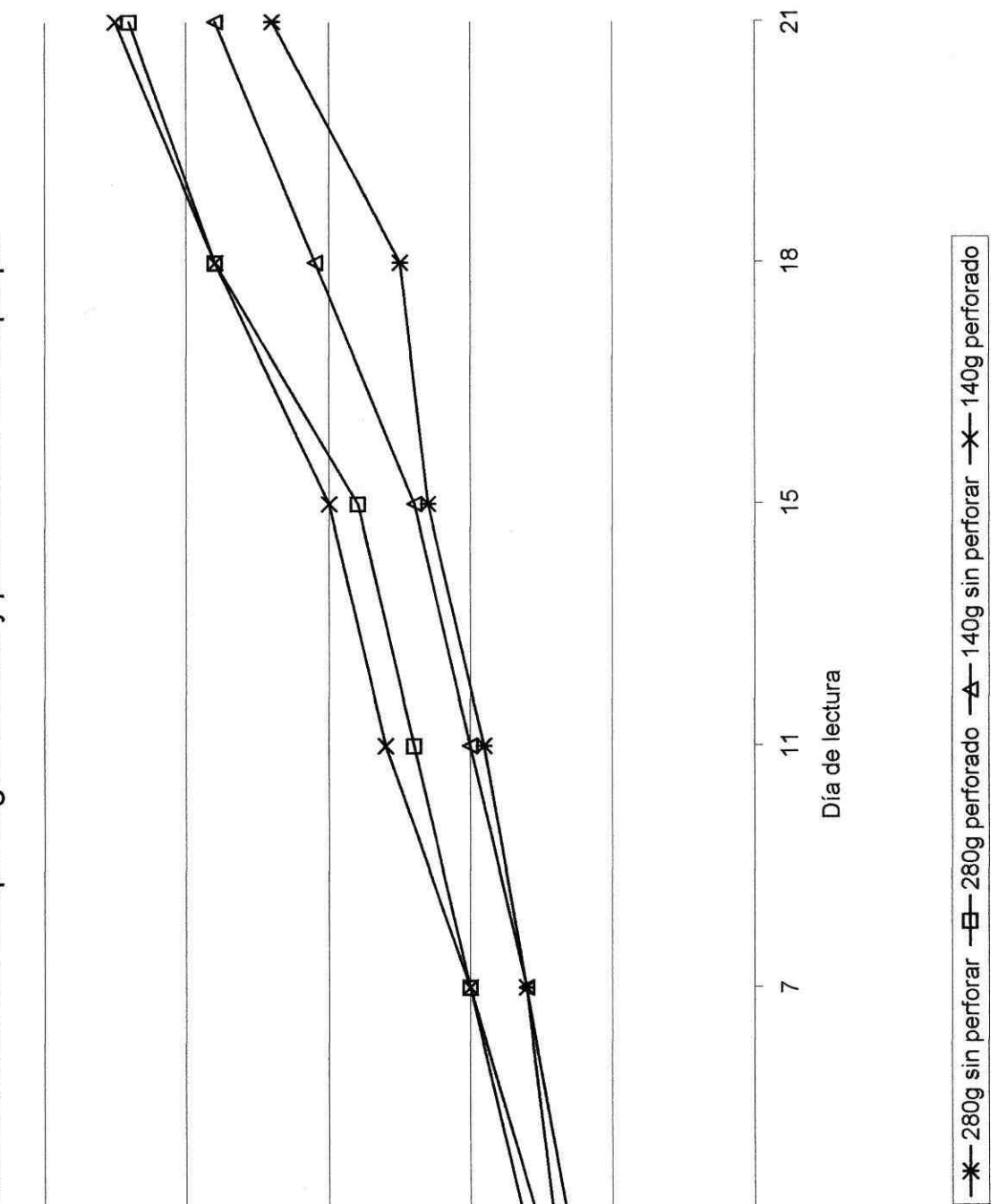


Figura no.11

Cambios en el color amarillo del brócoli a través del tiempo según llenado y perforación del empaque

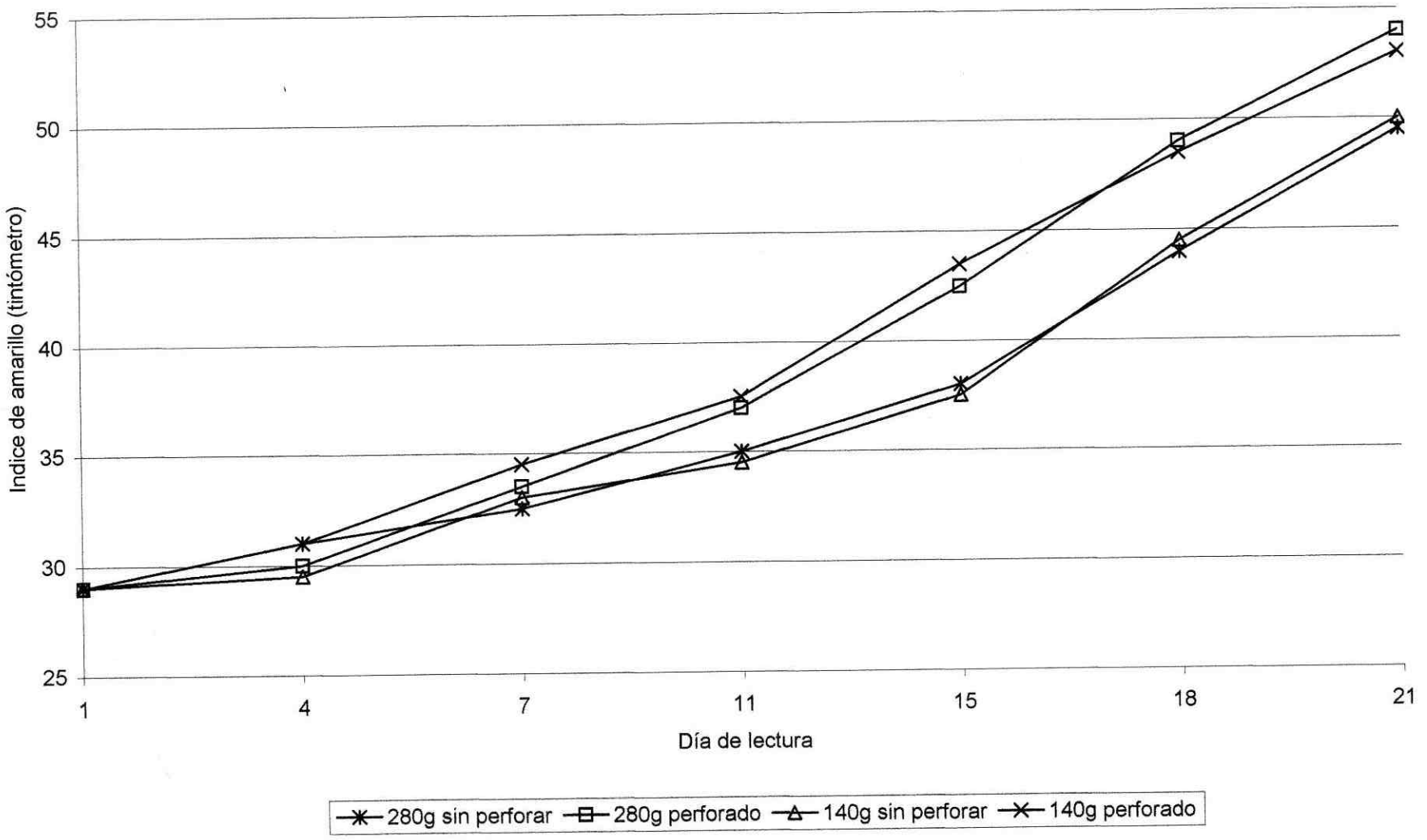


Figura no.12

Cambios en el color rojo del brócoli a través del tiempo, según llenado y perforado del empaque

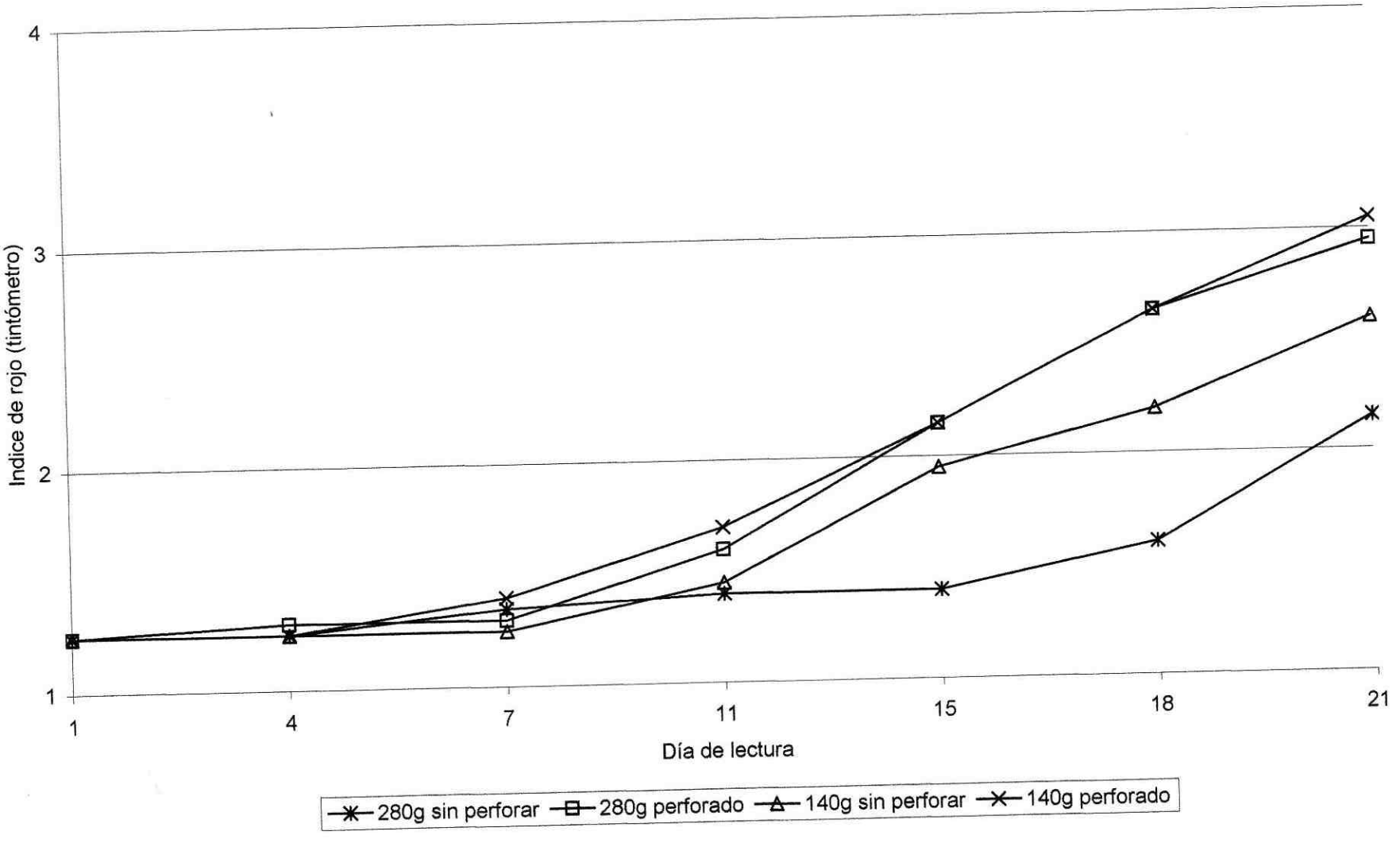
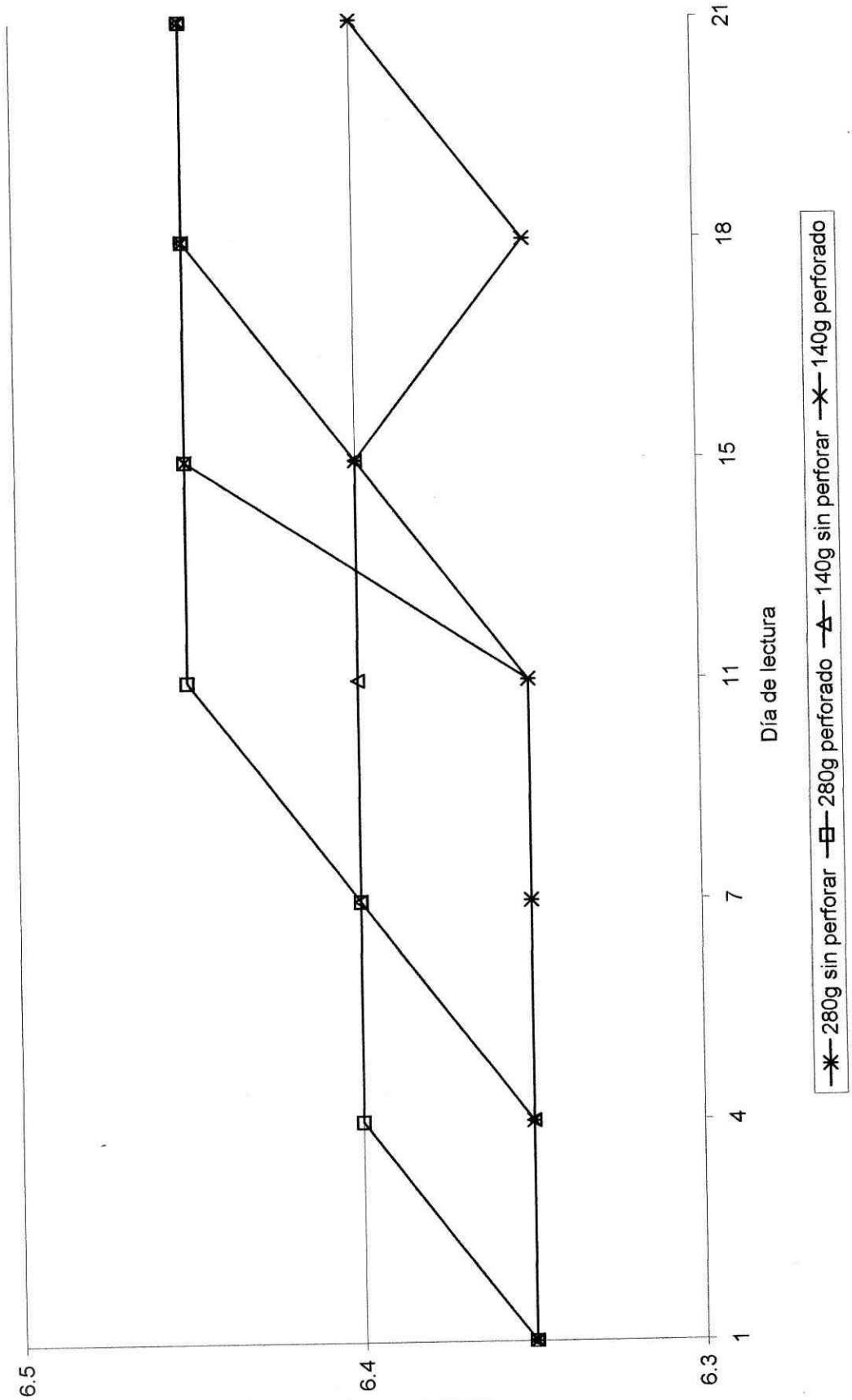


Figura no.13

Cambios en el color azul del brócoli a través del tiempo según llenado y perforación del empaque



IX. DISCUSIÓN

Se evaluaron dos puntos que se consideraron claves para la calidad nutricional y la calidad percibible del producto. El ácido ascórbico, por tener la actividad de la vitamina C la cual es una vitamina hidrosoluble, se ve afectada en perecederos de humedades relativas elevadas como lo es el brócoli. El brócoli es rico en vitamina A y C. La vitamina A, siendo liposoluble, no tiene una degradación tan importante como la que puede llegar a sufrir la vitamina C. Por esa razón se escogió la vitamina C como índice de el deterioro nutricional. Esto evaluará con eficiencia la calidad no perceptible del producto.

El color se evaluó a través del tiempo y se hicieron dos tipos de mediciones. Una con el tintómetro y otra visual analizando el desarrollo de encafecimiento en los bordes de corte y su deshidratación superficial. La evaluación visual es de suma importancia para ayudar a evaluar la calidad del producto. A continuación se discutirán los resultados obtenidos en los análisis.

El lavado y desinfectado del brócoli fue necesario debido a que el tejido del brócoli sigue vivo, respirando y transpirando, pudiendo ser atacado por microorganismos que aceleran su deterioro. Al lavarse el producto se removieron tierra, mohos, insectos etc. y se utilizó una solución de 50ppm de hipoclorito de sodio a 4°C para desinfectar y matar bacterias.

Se escogió esta solución desinfectante por tener una rápida actividad microbiana y ser económico. De los resultados obtenidos en el análisis microbiológico de las muestras (Tabla No.11 en la sección de Resultados) se puede comprobar que la desinfección fue satisfactoria ya que los datos están por debajo de los límites máximos estipulados para el comercio de exportación de brócoli congelado.

‹‹Almacenar a bajas temperaturas y atmósferas modificadas puede limitar el crecimiento de microorganismos.›› (Shewfelt, Ph.D. Robert L. 1990). Iniciar con una materia prima con un bajo conteo microbiano es deseable debido a que durante el almacenamiento pueden crecer microorganismos, que aceleran el deterioro del tejido.

Los conteos microbianos obtenidos de los análisis están abajo de los límites requeridos por las exportadoras de brócoli, lo cual indica que se inició con un producto de buena calidad en el sentido microbiano.

Se trató de mantener un estándard de medida en el tamaño del florete, aproximadamente 2 pulgadas para que no se viera afectada la velocidad de respiración del producto por los diferentes tamaños de florete. Las bolsas que se utilizaron para el empaque de los floretes de brócoli fueron las PD-941 de "Cryovac". Estas están elaboradas con varias laminaciones de plásticos que permiten un intercambio de gases distinto al del polietileno común. El plástico laminado utilizado controla los gases que entran y salen a través de la bolsa por su capacidad semipermeable. Se establece un equilibrio entre las velocidades de transmición de O_2 y CO_2, y la velocidad de respiración, permitiendo que haya una modificación en la atmósfera dentro del empaque. Por la elevada velocidad de respiración del brócoli (19-21 mg CO_2/kg brócoli/hr a 0°C), se disminuye la concentración de O_2 dentro de la bolsa (NOTA: el aire tiene 21% de O_2), retardando así la respiración y consecuentemente la senecencia del brócoli. La tasa de respiración de este perecedero aumenta con rapidez al incrementar la temperatura (32-37mg de CO_2/kg de brócoli/hr. a 4-5°C) lo cual puede provocar un incremento en la concentración de CO_2 adentro de la bolsa.

A. VITAMINA C

1. Del análisis de varianza se obtuvo que las muestras con 280g de brócoli tuvieron mayor contenido de vitamica C que las que contenían 140g ($\rho = 0.041$).

2. Las bolsas sin perforar retuvieron un mayor contenido de vitamina C que las perforadas ($\rho < 0.001$). El contenido de vitamina C decayó con el tiempo ($\rho < 0.001$), pero este decaimiento fue más acelerado en las muestras con bolsa perforada (interacción perforado X día de lectura es altamente significativa, $\rho < 0.001$).

El deterioro de la vitamina C se debió a la oxidación del ácido ascórbico, el cual es una sustancia fuertemente reductora. La actividad fisiológica de la vitamina C depende en gran parte de la oxidación reversible a ácido dehidroascórbico, la cual ocurre en presencia de O_2. Se explica en la siguiente reacción:

Acido ascórbico + O_2 $\leftrightarrow$ Acido dehidroascórbico + H_2O_2 ó H_2O

‹‹Esta oxidación puede ser catalizado por la ascorbato oxidasa, o ser simplemente una autooxidación.›› (Braveman 1980). Tanto el ácido ascórbico como el dehidroascórbico tienen la actividad biológica de vitamina C, con la diferencia de que el primero es estable y el segundo no lo es. El ácido dehidroascórbico deteriora fácilmente su poder de vitamina C al transformarse en 2,3-dicetogulónico.

Se puede decir que la disminución en el contenido de vitamina C en las bolsas perforadas se debió a una mayor concentración de O_2 que en las no preforadas. En las bolsas no perforadas, existió una modificación atmosférica, donde hubo acumulación de CO_2 y disminución de O_2. En las bolsas con un mayor contenido de producto, el O_2 pudo ser desplazado de la bolsa en una mayor proporción que la bolsa con menor contenido de producto. Por esta misma razón, la vitamina C disminuyó mas en la bolsa con 140g de producto. La más rápida aparición de deshidratación en los brócolis con bolsa perforada (ver gráfica No.4 de resultados), puede indicar una menor retención de agua en esas bolsas que las que no tenían perforaciones. La retención de humedad en las bolsas sin perforar también pudo ayudar a una mayor retención de vitamina C. Esto porque al disminuir el contenido de H_2O, la dirección de la reacción reversible aumenta en torno a

la oxidación del ácido ascórbico y si el contenido de H_2O aumenta, ocurre la reacción opuesta.

Según los datos obtenidos en la literatura para contenidos de ácido ascórbico en el brócoli, oscilan entre 94 y 113mg/100g de porción comestible. El contenido de ácido ascórbico en el brócoli examinado al inicio del proceso fue satisfactorio, presentando un promedio de 127mg/100g de brócoli. La cantidad recomendada de vitamina C varía según la fuente de referencia. Según datos recabados en el INCAP, la recomendación de ingestión diaria en el área Centro Americana es de 60mg/día. Lo cual nos indica que la degradación de vitamina C en las muestras a través del tiempo no es suficiente para destruir su calidad nutricional. El único dato registrado menor a este mínimo estipulado fue un promedio de 57mg de ácido ascórbico/100g de brócoli en la bolsa perforada.

B. pH

1. En este caso la cantidad de brócoli dentro de la bolsa no tuvo ningún efecto sobre el cambio de pH.

2. En promedio el pH en las bolsas perforadas fue mayor que en las bolsas sin perforar ($\rho < 0.001$). Se notó que el aumento del pH con el tiempo, también es significativo ($\rho < 0.001$) y que el pH aumentó más rápido en las muestras perforadas ($\rho = 0.47$).

El aumento de pH en las muestras se puede explicar, en parte por la oxidación del ácido ascórbico, debido a que la concentración de vitamina C (ácido ascórbico) disminuye con el tiempo y con mayor rapidez en las bolsas perforadas. La reacción de oxidación de el ácido ascórbico se escribió con anterioridad.

$pH = - \log[H^+]$, el pH aumenta a medida que disminuye la concentración de los inoes H^+.

Se puede decir que no se llegó a una anaerobiosis dentro de los empaques debido al poco cambio que sufrió el pH. De haberse presentado condiciones de anaerobiosis el pH hubiera disminuido debido a una glicólisis (respiración anaerobia) donde se liberan iones H^+.

C. COLORES

Para la medición del color se uso un sistema de graduación, se anotaron las variaciones en la intensidad de los colores primarios: rojo, amarillo y azul.

1. Amarillos

a. Las bolsas con perforaciones tuvieron más amarillos que las sin perforar ($\rho < 0.001$).

b. El color amarillo aumenta con el tiempo ($\rho < 0.001$), y en las bolsas perforadas el color aumenta más rápido ($\rho = 0.44$).

2. Rojos

a. En promedios, las bolsas con 140g tienen más rojos que las de 280g ($\rho = 0.001$).

b. Las bolsas perforadas, en promedio, tienen más rojos que las no perforadas ($\rho < 0.001$).

c. Mientras más interacciones, menos consistentes son los efectos principales. Para estos casos específicos se recomienda ver las gráficas.

Se debe notar que en los resultados obtenidos en las mediciones del tintómetro, la intensidad de los colores (rojo, amarillo) fueron siempre incrementando a través del tiempo. El amarillo en mayor proporción a los demás. Se encontró que los cambios con el color azul no tienen un patrón consistente ($\rho > 0.5$), siendo esto significativo.

No se puede decir con certeza qué pigmento afectó en estos cambios de color. Entre los pigmentos que se conocen están presentes en el brócoli son la clorofila, las antocianinas y los carotenoides.

A continuación analizaremos más a fondo los cambios de color en el producto:

1. Color amarillo. De los resultados estadísticos, se obtuvo que el color amarillo aumenta con el tiempo y que en las bolsas perforadas el color aumenta más rápido, estas diferencias son altamente significativas. ‹‹El amarillamiento es una señal de envejecimiento y la exposición del producto a etileno lo acelera, especialmente a temperaturas de 4.4°.›› (Ryall & Lipton 1972). La producción de etileno incrementa a través del tiempo aumentando así el amarillamiento. Al dañar el tejido del brócoli (con el corte) ocurre una aceleración en la respiración, y por tanto, la producción de etileno. La tempratura en el cuarto frío osciló entre 3.3 y 4.4° lo cual también pudo influir en este fenómeno. En los resultados también se obtuvo que las bolsas sin perforaciones tienen más amarillos que las sin perforar (diferencia altamente significativa). ‹‹El amarillamiento se retarda un poco al disminuir el nivel de oxígeno a 2%.›› (Ryall & Lipton 1972). Esto se puede deber a que al tener una atmósfera con una menor cantidad de oxígeno, como en las bolsas sin perforar, se vea influenciada la producción de etileno y que esto retarde el fenómeno.

El amarillamiento visual fue difícil de determinar. En las observaciones se notó un amarillamiento de aproximadamente tres días antes en las bolsas con perforaciones en comparación a las no perforadas. La razón del cambio de este color se discutió con anterioridad.

2. Encafecimiento. En las observaciones tomadas, se puede ver que las bolsas sin perforaciones y con 280g de brócoli, tardaron mas en desarrollar un encafecimiento. Las bolsas perforadas desarrollaron encafecimientos aproximadamente 1 semana antes que estas. Estos encafecimientos se pueden deber a los pardeamientos enzimáticos que

ocurren. Esto es causado por oxidación en las áreas de corte. Al cortar el florete con el cuchillo se destruye el tejido y se rompen las células iniciándose la descomposición del producto. Al destruirse la estructura de la célula, se lastima la pared celular liberándose la membrana de lípidos y mezclandose las enzimas.

‹‹Las enzimas responsables de los cambios de color son las oxidasas, clorofilasas, lipoxigenasas y peroxidasas.›› (Barret y Theerakulkait 1995).

Las fenolasas intervienen en el pardeamiento enzimático, el ‹‹...pH óptimo para la mayoría de estas enzimas en los alimentos está en la vecinidad de 7.›› (Braverman 1980). El pH en todas las muestras de brócoli se mantuvo siempre bastante contstante, entre 6.7 y 6.52 a través del tiempo. El ácido ascórbico, con su poder reductor, ayuda a retardar el pardeamiento enzimático. Al ir disminuyendo este a través del tiempo, también lo hace su poder dejando así que se realicen las reacciones de oxidación enzimática. En las bolsas sin modificación atmosférica (perforadas), hay una mayor cantidad de oxígeno, lo cual acelera las reacciones de pardeamiento enzimático, lo contrario ocurre en las no perforadas con una menor concentración de oxígeno.

3. Cambios en pigmentos. Puesto que el pigmento que se encuentra en mayor cantidad en el brócoli es la clorofila, la degradación de ésta explica mayormente los cambios de color que se ven durante el almacenamiento. Estos cambios que sufre la clorofila se deben a:

a. Acción de la clorofilasa: remueve el grupo fitol de las clorofilas, formando los clorofilidos que al disolverse en agua, se reemplaza el Mg que tienen por H, creandose así los feofórbidos que son de un color café-opaco.

b. Fotooxidación: La fotosíntesis ocurre inicialmente con necesidad de energía luminosa. Las bolsas se almacenaron todas con la misma exposición a las luz del cuarto

frío donde estubieron almacenadas durante las tres semanas de análisis. Esto influyó a la pérdida de color verde, en forma de clorofila.

c. Degradación oxidativa: oxidación enzimática de lípidos explicada anteriormente.

La formación de feofitinas no creo que tome una parte importante en la degradación de la clororfila puesto que requiere de la acción de un ácido debil para llevarse a cabo y el pH que se mantuvo en las muestras (pH 6.17-6.52) me parece que no es suficiente.

‹‹El ácido ascórbico forma parte de un complejo anti-oxidante en los cloroplastos, lo cual puede mantener la clorofila en el tejido del brócoli reduciendo la oxidación de los componentes del cloroplasto.›› (Thompson *et.al.* 1987. J of F.Sc.Vol.58 No.1 1993). Esto puede explicar que el color se mantuvo en mejor estado en las bolsas sin perforar que retuvieron mejor el ácido ascórbico.

Las antocianinas, pigmentos color violeta en medio neutro, son polifenoles que se pudieron haber degradado por oxidaciones enzimáticas. ‹‹La destrucción de las antocianinas aumenta al aumentar el pH.›› (Fennema 1985), lo cual pudo influir también. Por otro lado los carotenoides, comúnmente de colores que varían desde el amarillo-naranja al púrpura, son pigmentos que pueden llegar a desarrollar colores tales como el azules y negros al formar complejos proteína-corotenoide al estar en los plastidos de la planta. La molécula de corotenoides posee muchos dobles enlaces que son fácilmente oxidados. Esta oxidación puede ser catalizada por la lipoxidasa y llega a causar la ruptura de la molécula eliminando el color característico de estos pigmentos.

D. Otas observaciones visuales

1. Deshidratación. La deshidratación, o pérdida de humedad, se observó principalmente en el área de corte. La pérdida de humedad (visible) se notó de 5 a 6 días

antes en las bolsas perforadas, en comparación con las no perforadas. Esta deshidratación es obviamente más acelerada en las bolsas que no tienen atmósfera modificada, porque la bolsa no provee de una barrera entre el agua de el producto y el aire fuera de la bolsa. En cambio con las bolsas selladas, ocurre lo contrario.

2. Capa ligosa. La aparición de una capa ligosa, aunque fue muy poco, sobre la superficie de la fisura del brócoli empacado en bolsas perforadas se pudo deber a un deterioro por mohos. El brócoli es un producto de elevada humedad relativa (NOTA: Aproximadamente unos 90% de Humedad Relativa (Albrecht, *et.al* 1990).) Las oxidaciones que ocurren a causa del deterioro del producto generan calor, esto también pudo influenciar en el crecimiento de mohos. Como se mantuvieron bajas temperaturas, se inhibio el crecimiento de los mohos por bastante tiempo.Según Pantástico, 1975 se cree que al aumentar la concentración de CO_2, se retarda el crecimiento de mohos. Lo que pudiera estar sucediendo es que como el CO_2 desplaza al O_2, eso disminuye la oxidación. Esto también podría explicar el porque en las bolsas sin perforaciones no hubo aparecimiento de la capa ligosa.

X. CONLUSIONES

A. El tratamiento de los floretes de brócoli pre-cortados con una solución de 50 ppm de hipoclorito de sodio a 4°C durante dos minutos resulta satisfactoria para la desinfección del producto.

B. La pérdida de vitamina C en las muestras no fue suficiente para disminuir su calidad nutricional.

C. El pH aumenta a través del tiempo en todas las muestras pero aumenta mas rápido en las muestras perforadas. Estos resultados fueron significativos de acuerdo al análisis de varianza realizado.

D. El desarrollo de encafecimiento y el aumento de amarillamiento son mas lentos en los brócolis empacados en bolsas sin ninguna perforación y con 280g de producto.

E. La deshidratación aparece más rápidamente en las bolsas perforadas que las sin perforar.

XI. RECOMENDACIONES

A. Llevar a cabo el procesamiento del producto en un cuarto frío cuya temperatura oscile entre los 0 y 4°C.

B. Evaluar las ventajas y desventajas del producto posterior al blanqueo.

C. Realizar un estudio de la degradación de la clorofila y otros pigmentos a través de HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Presión).

XII. BIBLIOGRAFÍA

USA. 1984. Food and Drug Administration. *Bacteriological analytical manual.* 6th. ed.

Barrett, Diane M. y Chockchai Theerakulkait.1995. ‹‹Quality indicators in blanched, frozen, stored vegetables››. *Food Technology.* (1): 62-65.

Barth, M.M; E.L. Kerbel; A.K. Perry y S.J. Schmidt. 1993. ‹‹Modified atmosphere packaging affects ascorbic acid, enzime activity and market quality of broccoli››. *Journal of Food Science.* (1): 140-143.

Bastrash, Sylvie; Joseph Makhoulf; Francois Castaigne y Claude Willemot. 1993. ‹‹Optimal controlled atmosphere conditions for storage of broccoli florets››. *Journal of Food Science.* (2): 338-341.

Braverman, J.B.S. 1980. *Introducción a la bioquímica de los alimentos.* Editorial el Manual Moderno, S.A. de C.V. México, D.F. 358 págs.

Brecht, Patric E. 1980. ‹‹Use of controlled atmospheres to retard deterioration of produce››. *Food Technology.* (3): 45-50.

Bull, Robert. 1987. ‹‹Professional produce managers manual››. *Food Business Associates, Inc.* 2ª ed. USA.

Day, Brian P.F. 1989. ‹‹ Modified atmosphere packaging of selected prepared fruit and vegetables››. The Campden Food and Drink Research Association. USA. 65págs.

De La Plaza, Jose Luis. 1992. ‹‹Tecnologías no contaminantes en el mantenimiento de la calidad de frutas y hortalizas en fresco››. *Ibérica.* (339): 60-69.

Dept. de Investigación y Desarrollo de Abelló Linde, S.A. 1993. ‹‹Gases para el envasado de alimentos››. *Ibérica.* (349): 17-19.

Giese, James H. 1991‹‹Sanitation: the key to food safety and public health››. *Food Technology.* (12): 74-80.

Hernández, P.A. José Antonio. 1990. Centro de Cooperación Internacional para la Preinversión Agrícola. *Estimaciones de área y producción de algunas hortalizas y frutas en Guatemala, durante el período 1985-1989.* Guatemala.

Hoard, Norman F. y D.K. Salunkhe. 1975. *Postharvest biology and handling of fruits and vegetables.* The AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut.

Kader, Adel A. 1980. ‹‹Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres››. *Food Technology.* (6): 51-54.

Luh, Bor S. y Jasper Guy Woodroof, Ph.D. 1976. *Commercial vegetable processing.* 2ª ed. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. 755págs.

Pantastico, Er. B. 1975. *Postharvest physyology, handling and utilization of trapical and subtropical fruits and vegetables.* The AVI Publishing Company, Inc.Westport, Connecticut. 560págs.

Pelczar, Michael; Roger D. Reid, y E.C.S. Chan. 1990. *Microbiología.* 2ª ed. McGraw-Hill. México. 826págs.

Ryall, A. Lloyd, M.S. y Werner J. Lipton, Ph.D. 1972. *Handling, transportation and storage of fruits and vegetables.* The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. Vol.1 473págs.

Santos, Dr. Mariano. 1990. ‹‹Potabilidad bacteriológica de las aguas››. *Ibérica.* (326): 587-597.

Saravia, R., Milton E. 1990. ‹‹Olericultura››. *Universidad Rafael Landivar, Facultad de Ciencias Agrícolas.* Guatemala. 201págs.

Shewfelt. Ph.D., Robert L. 1990. ‹‹Quality of fruit and vegetables››. *Food Technology.* (6): 99-106.

Guatemala. 1961. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) - Comite Interdepartamental de Nutrición para la Defensa Nacional (ICNND). *Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina.*

USA. 1975. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). *Tabla de composición de alimentos.*

USA. 1986. Departamento de Agrícultura de los Estados Unidos (USDA). *The commercial storage of fruits, vegetables stocks.*

Torun, Benjamín; María Teresa Menchú y Luiz G. Elías. 1996. ‹‹Recomendaciones dietéticas diarias del Incap››. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Organización Panamericana de la Salud (OPS). Guatemala. 137págs.

Watada, Alley E; Kazuhiro Abe, y Naoki Yamuchi. 1990. ‹‹Physiological Activities of Partially Processed Fruits ans Vegetables››. *Food Technology.* (5): 116-122.