

**MANUAL DE PROCESAMIENTO Y CONSERVACION DE
LECHUGAS (*Lactuca sativa* L.) VARIEDADES VERDE Y
MORADA CRESPA MINIMAMENTE PROCESADAS**



Jesús Antonio Galvis Vanegas.
Gloria Helena González Blair.
Alexy Florez Vergara.

Fundación Universitaria Agraria de Colombia – UNIAGRARIA
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR
Hortifresco, Coomutsoa, Fundación Intal

**MANUAL DE PROCESAMIENTO Y CONSERVACION DE
LECHUGAS (*Lactuca sativa L.*) VARIEDADES VERDE Y
MORADA CRESPA MINIMAMENTE PROCESADAS**

Jesús Antonio Galvis Vanegas.
Gloria Helena González Blair.
Alexy Florez Vergara.

ISBN: 978-958-98315-3-3

**Fundación Universitaria Agraria de Colombia – UNIAGRARIA
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR
Hortifresco, Coomutsoa, Fundación Intal**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
1. GENERALIDADES DE LA LECHUGA	7
1.1 Valor nutritivo	7
1.2 Area sembrada y volúmenes de producción	8
1.3 Taxonomía y morfología (http://www.infoagro.com/hortaliza)	12
1.4 Tipos de lechuga	12
Acogollada de hojas crujientes	12
Romana	13
Sin cogollo	13
Acogollada de hojas mantecosas	14
1.5 Requerimientos de suelo y clima	14
Humedad Relativa (H.R.)	15
1.6 Prácticas Culturales	15
Siembra	15
Fertilización	16
Riego	16
1.7 Enfermedades y plagas de la lechuga	16
Anomalías de crecimiento de las lechugas	16
Hojas parcial o totalmente deformadas	17
Virus del mosaico de la lechuga	17
Virus de las nervaduras gruesas de la lechuga	18
Anomalías genéticas	18
Daños causados por pesticidas	19
Hojas con orificios y recortadas	20
Ataque de insectos	20
Daños por granizo	21
Deficiencias nutricionales	21
1.8 Cosecha	22
2. ELABORACION DE PRODUCTOS MINIMAMENTE PROCESADOS	25
2.1 Recolección	27
2.2 Acondicionamiento en el sitio de producción	27

2.3 Transporte.....	27
2.4 Recepción	28
2.5 Lavado y desinfección	28
2.6 Corte.....	29
2.7 Aplicación de antioxidantes	30
2.8 Secado superficial.....	30
2.9 Empaque	30
2.10 Almacenamiento.....	31
2.11 Transporte.....	31
3. FISIOLÓGÍA DE LOS PRODUCTOS MINIMAMENTE PROCESADOS.....	32
3.1 Respiración	32
3.2 Transpiración	33
3.3 Producción de Etileno.....	34
3.4 Degradación lipídica de la membrana.....	34
3.5 Metabolitos secundarios	35
3.6 Pérdida de firmeza	35
3.7 Pardeamiento oxidativo	36
Control del pardeamiento oxidativo.....	37
Uso de antioxidantes.....	37
Uso de atmósferas modificadas.....	39
Mezclas de gases.....	40
3.8 Estabilidad microbiológica	41
4. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS MINIMAMENTE PROCESADOS.....	42
4.1 Almacenamiento de lechuga verde crespa con aplicación de antioxidantes	42
Cambios químicos.....	42
Cambios bioquímicos	43
Análisis Sensorial.....	45
4.2 Almacenamiento de lechuga morada crespa en atmósfera modificada	46
Cambios químicos.....	47
Cambios bioquímicos	48
Cambios de color	50
Análisis sensorial.....	52
BIBLIOGRAFIA.....	53

INTRODUCCIÓN

El consumo de frutas y hortalizas en la dieta diaria presenta un efecto altamente beneficioso para la salud, ya que no solo son una excelente fuente de vitaminas, minerales y fibras, sino que además poseen fitoquímicos que contribuyen a la salud. Estos compuestos aunque no se consideran nutrientes esenciales, proporcionan una importante protección contra las toxinas, el cáncer y otros trastornos. Además, las frutas y hortalizas generalmente no son ricas en calorías y por lo tanto se adecuan a la tendencia actual de los consumidores.

El consumo de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas en Europa, principalmente en Francia, Alemania, Reino Unido, Italia y España representa entre un 10 y un 15% del consumo total, con una tasa de crecimiento anual de 7,4%. En los Estados Unidos representan entre el 8 – 10% de las frutas y hortalizas frescas comercializadas.

El aumento en el consumo está acompañado de un aumento en la diversidad de mezclas de productos consumidos, con preferencia por los productos novedosos y frescos. La introducción de una amplia gama de productos en los supermercados, entre ellos nuevas variedades, exóticos, orgánicos, hidropónicos o cultivados bajo invernadero y precortados, así como el incremento en el uso de frutas y hortalizas frescas en los menús de las cadenas de comidas rápidas, ha contribuido al dinamismo del sector del mercado de los productos frescos.

En Colombia actualmente la comercialización de los productos precortados es baja. Sin embargo se observa un crecimiento de la oferta. A pesar de no disponerse de suficiente información se puede observar las siguientes tendencias en los supermercados:

Aumento de la demanda de los productos de calidad, de los productos semiprocados y del consumo de hortalizas. De otra parte, en las plazas de mercados y tiendas de barrio es frecuente encontrar productos de IV gama procesados y comercializados sin cadena de frío, sin ser lavados y desinfectados. El comercio actual de los productos mínimamente procesados en Bogotá es inferior al 5%.

Las hortalizas mínimamente procesadas se obtienen a través de diferentes operaciones de preparación, entre ellas la selección, el pelado, el cortado, la reducción de tamaño, el lavado, el envasado y la aplicación en algunos casos de tratamientos químicos.

Algunos ejemplos de hortalizas frescas precortadas incluyen las lechugas en tiras, las zanahorias y tomates en rodajas o en cubos, trozos de coliflor y brócoli, cebollas picadas, ajos pelados, etc.

La finalidad de los productos mínimamente procesados refrigerados es proporcionar al consumidor un producto hortícola similar al fresco, con vida útil prolongada y al mismo tiempo garantizar la seguridad de los mismos, manteniendo una sólida calidad nutritiva y sensorial.

Estos productos presentan las ventajas de requerir espacio reducido durante el transporte y el almacenamiento, menor tiempo de preparación de las comidas, calidad uniforme, posibilidad de inspeccionar la calidad del producto en la recepción y antes del uso. Finalmente en algunas ocasiones resultan ser más económicos para el consumidor.

A pesar de las ventajas de los productos mínimamente procesados, su conservación es crítica como consecuencia de los daños que presentan los tejidos vegetales durante el proceso de elaboración. Como resultado el metabolismo del producto se acelera, provocando el deterioro de las características nutricionales y sensoriales, al igual que el desarrollo de microorganismos que conducen a una rápida pérdida de la calidad y a la disminución de la vida útil.

Se han investigado y aplicado métodos para disminuir la velocidad de deterioro de los productos de IV gama, constituyendo ellos uno de los principales retos de los investigadores del área de los alimentos. Las tecnologías más utilizadas en la conservación de los productos precortados son la refrigeración y el envasado en atmósferas modificadas.

Además de las dos anteriores tecnologías, existen otras que buscan alargar la vida útil de las hortalizas precortadas: el uso de soluciones desinfectantes, aplicación de antioxidantes, choques térmicos suaves, tratamientos con luz ultravioleta, adición de agentes estabilizantes de color y textura y el uso de recubrimientos comestibles.

El objetivo de este manual es presentar los resultados de las investigaciones en la conservación de lechuga verde crespa y morada crespa mínimamente procesadas, realizadas dentro del proyecto de investigación “Desarrollo Tecnológico para la Conservación de Lechuga, Tomate y Zanahoria Precortadas (alimentos mínimamente procesados)”, realizados en la Fundación Universitaria Agraria de Colombia- UNIAGRARIA- con la cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural- MADR- y con la participación de las empresas Hortifresco, Coomutsoa y la Fundación INTAL.

1. GENERALIDADES DE LA LECHUGA

La lechuga es la hortaliza de hoja que mas se consume cruda a nivel mundial. Por su naturaleza las hortalizas de hojas están expuestas a una serie de daños que se presentan principalmente durante el período de poscosecha, debido a procesos fisiológicos, ataques microbiológicos y daños físicos, dando como resultado pérdidas elevadas que pueden alcanzar hasta el 60% de la producción a nivel mundial (González R., 2004).

La corta vida de poscosecha de la lechuga, está dada principalmente por la deshidratación, presentando pérdidas de turgencia y amarillamiento como consecuencia de la degradación de la clorofila. Otro factor de deterioro de esta hortaliza es el pardeamiento enzimático, el cual ocasiona un aspecto desagradable en el producto (Salveit, 2002).

La lechuga mínimamente procesada es un producto de alto demanda, debido al incremento en el consumo de comidas rápidas y ensaladas preparadas. Sin embargo, presenta alta susceptibilidad al pardeamiento enzimático. El control de este daño es crítico para prevenir las pérdidas en productos mínimamente procesados (Roura et al, 2008).

1.1 Valor nutritivo

La lechuga es una fuente de vitaminas y minerales; sin embargo hay gran variación entre los tipos de lechuga (tabla 1).

Tabla 1. Contenido nutricional (unidades por 100 g de tejido de cuatro tipos de lechuga)

TIPO	Minerales (mg)					Vitaminas		Agua (%)	Fibra (g)
	Ca	P	Fe	Na	K	A (UI)	C(mg)		
Acogollada de hojas crujientes	20	22	0,5	9	175	330	6	95	0,5
Romana	35	26	2,0	9	264	970	8	95	0,5
Lechuga sin cogollo	25	25	1,4	9	264	1.900	18	94	0,7
Acogollada de hojas mantecosas	25	25	1,4	9	264	1.900	18	94	0,7

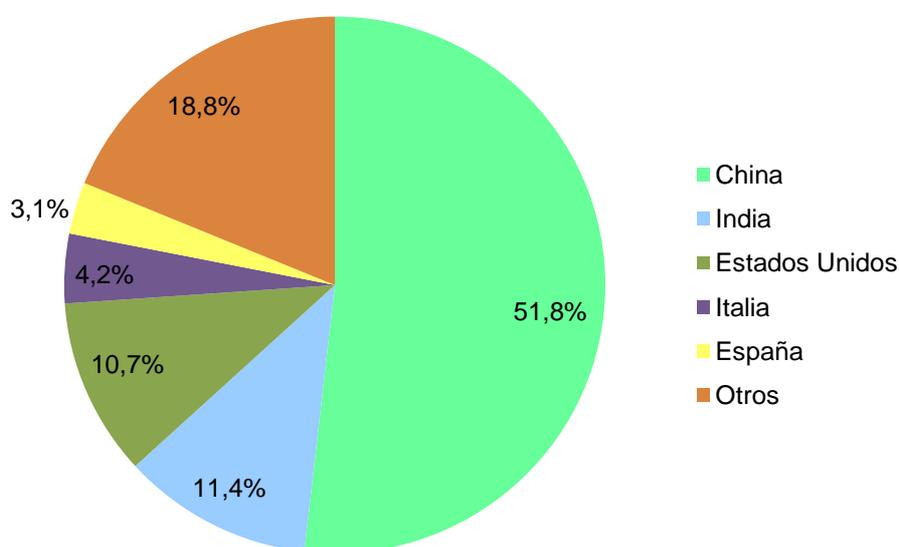
Fuente: Devis et al, 2002. Plagas y enfermedades de la lechuga.

1.2 Area sembrada y volúmenes de producción

Area cultivada a nivel mundial:

El área cultivada en el mundo para el año 2008 fue de 1'052.709 hectáreas, destacándose la China como el país de mayor área cultivada de esta hortaliza. La figura 1 presenta la participación en porcentaje de los principales países productores de lechuga.

Figura 1. Participación área cultivada (Ha) de lechuga a nivel mundial - año 2008

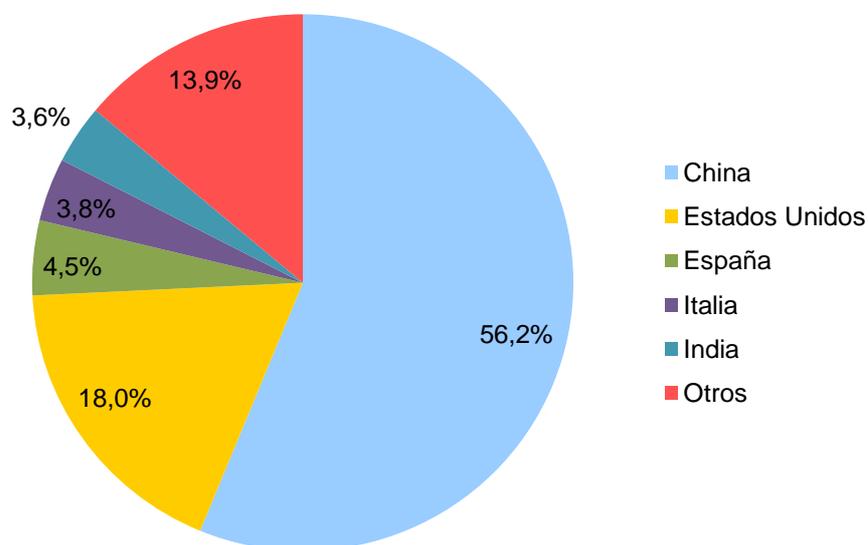


Fuente: Calculos del autor a partir de las estadísticas reportadas en: <http://faostat.fao.org>

Producción mundial:

La producción mundial en el año 2008 fue de 22'253.266 toneladas, destacándose la China como el primer productor. La figura 2 presenta la participación en porcentaje por países.

Figura 2. Participación producción (ton) de lechuga a nivel mundial - año 2008



Fuente: Calculos del autor a partir de las estadísticas reportadas en: <http://faostat.fao.org>

Mercado Internacional:

Los principales países exportadores de lechuga en el año 2007 según la FAO fueron: España, Estados Unidos, Holanda, Italia, Francia y México. El volumen total exportado fue de 1'581.869 toneladas.

Los principales países importadores de lechuga en el año 2007 según la FAO fueron: Canadá, Alemania, Reino Unido, Estados Unidos y Francia. El volumen total importado fue de 1'438.865 toneladas.

Area cultivada y producción nacional:

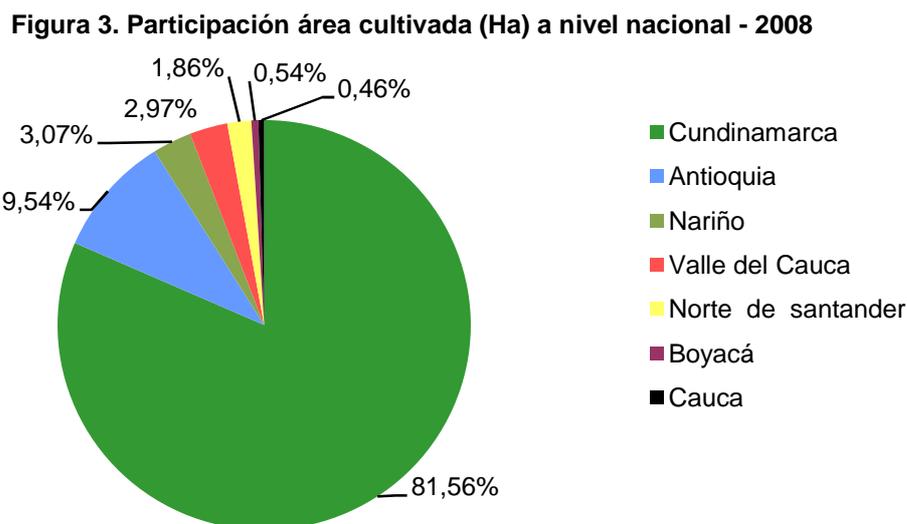
El área cultivada y la producción de lechuga en Colombia en los últimos diez años ha presentado variaciones fuertes con tendencia a la disminución en el área cultivada, pero por el contrario un aumento en la producción y en el rendimiento. La Tabla 2 presenta el comportamiento respecto al área cultivada, producción y rendimientos en el período 1997 – 2008.

Tabla 2. Area, producción y rendimiento de Lechuga en Colombia.

AÑO	AREA CULTIVADA (Ha)	PRODUCCION (ton)	RENDIMIENTO (ton/Ha)	PARTICIPACION PRODUCCION TRANSITORIOS (%)	PARTICIPACION AREA TRANSITORIOS (%)
1997	3093	28132	9,1	0,34%	0,19%
1998	953	14778	15,5	0,20%	0,07%
1999	1141	18737	16,4	0,23%	0,07%
2000	1094	18774	17,2	0,22%	0,07%
2001	1045	15968	15,3	0,18%	0,06%
2002	919	14716	16,0	0,17%	0,06%
2003	881	14261	16,2	0,16%	0,05%
2004	927	15759	17,0	0,17%	0,05%
2005	984	15259	15,5	0,17%	0,06%
2006	825	12527	15,2	0,14%	0,05%
2007	1602	29077	18,2	0,32%	0,10%
2008	2798	54411	19,4	0,59%	0,17%

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, www.agronet.gov.co, consulta 12 de Octubre de 2010

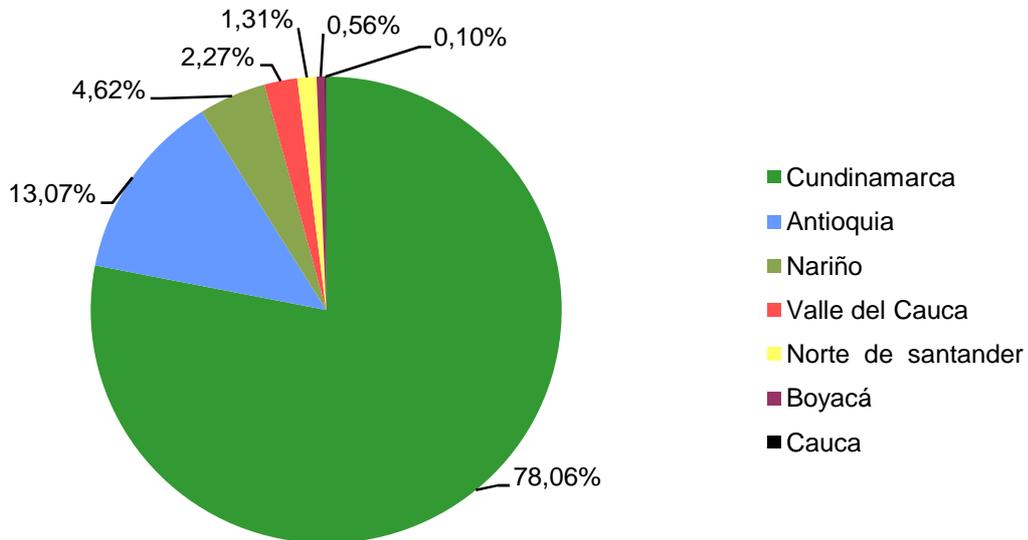
El departamento de Cundinamarca presenta la mayor área cultivada, seguida por los departamentos de Antioquia, Nariño, Valle del Cauca, Norte de Santander, Boyacá y Cauca, como se observa en la figura 3.



Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, www.agronet.gov.co

Para el año 2008 la producción del país fue de 54411 toneladas de lechuga, destacándose como mayor productor el departamento de Cundinamarca, como se observa en la figura 4.

Figura 4. Participación en la producción (ton) a nivel nacional - 2008

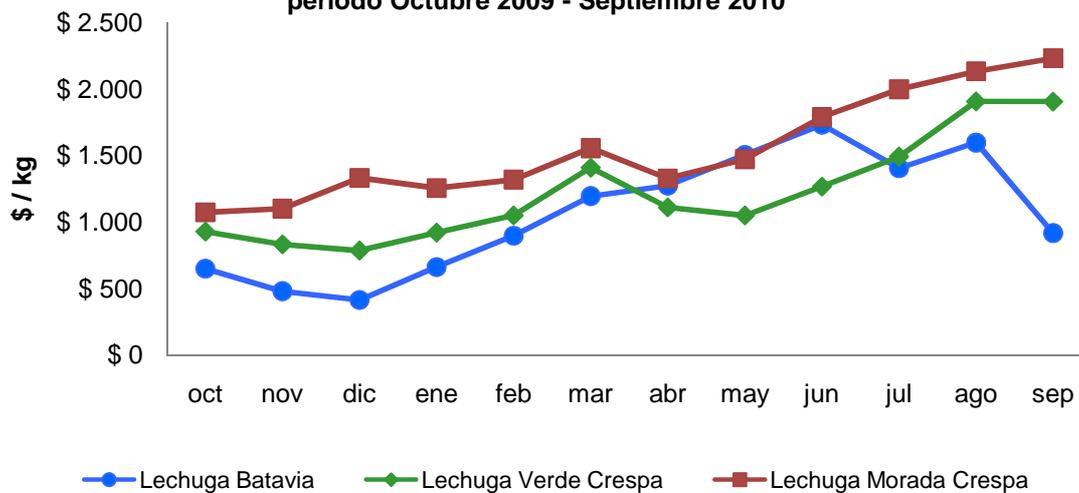


Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, www.agronet.gov.co

Precios de la lechuga:

En el período Octubre de 2009 – Septiembre de 2010, el precio de la hortaliza registró aumento; en la figura 5 se presentan las variaciones de precios al por mayor en Bogotá para tres variedades.

Figura 5. Variación de precios de lechugas en Corabastos Bogotá periodo Octubre 2009 - Septiembre 2010



Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, www.agronet.gov.co

1.3 Taxonomía y morfología (<http://www.infoagro.com/hortaliza>)

La lechuga es una planta autógama perteneciente a la familia Compositae y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa L.*

Las partes de la planta son:

Raíz: La raíz no sobrepasa los 25 cm. de largo, es pivotante, corta y con ramificaciones.

Hojas: Las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio. En algunos casos siguen así durante todo el desarrollo (variedades Romanas) y en otras se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado.

Tallo: Es cilíndrico y ramificado.

Inflorescencia: Son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos.

Semillas: Están provistas de un vilano plumoso.

1.4 Tipos de lechuga

En Colombia los principales tipos de lechuga son: Acogollada de hojas crujientes, Romana, sin acogollar de hojas verdes y moradas y acogolladas de hojas mantecosas.

Acogollada de hojas crujientes

La mayoría de los cultivares producen grandes y sólidos cogollos, que pesan entre 500 y 1000 g., con hojas exteriores intactas, más anchas que largas, de color verde oscuro, generalmente con tinte brillante. Las hojas interiores son de color blanco o amarillo cremoso. Los cogollos son sólidos, con textura crujiente y el gusto es relativamente suave (Davis et al, 2002).

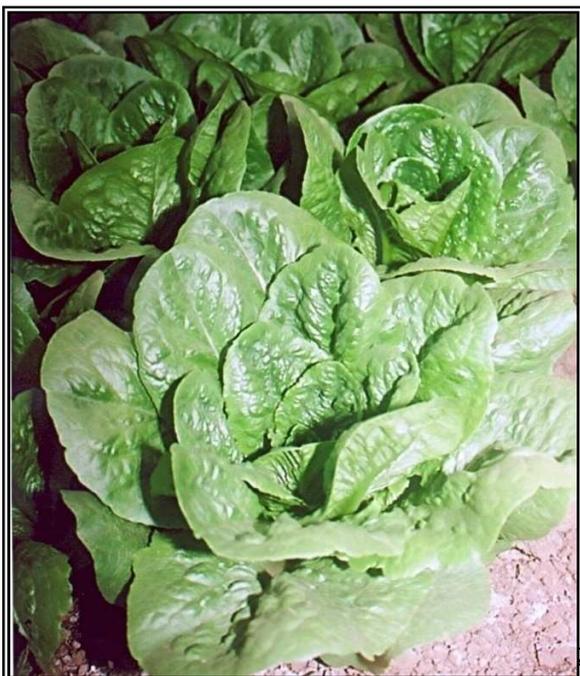


Figura 6. Lechuga acogollada de hojas crujientes

Romana

La lechuga romana o cos forma cogollos largos relativamente abiertos en la parte superior. Las hojas son mas largas que anchas y de forma en espátula. Poseen nervio central ancho. Su textura es basta o crujiente. Sus hojas exteriores son generalmente de color verde oscuro, mientras que las interiores son amarillentas. Los cogollos pesan alrededor de 800 – 1000 g. El sabor es más dulce y más fuerte que el del tipo acogollada de hojas crujientes.



Figura 7. Lechuga Romana.

Sin cogollo

Estas lechugas tienen gran variedad de tamaños, formas y colores. Presentan en común la formación de un ramo o roseta de hojas que pueden ser largas o anchas; redondas, espatuladas o lobuladas; de color verde oscuro o pálido y con o sin color morado.



Figura 8. Lechugas verde crespita y morada crespita

Pueden llegar a pesar hasta 500 g, con hojas intactas. Como consecuencia a su hábito de crecimiento mas abierto, presentan menos hojas descoloridas que los

tipos acogolladas de hojas crujientes. Lo cual le proporciona un sabor más fuerte y un contenido más alto en vitaminas y minerales. La textura varía de crujiente a suave.

Acogollada de hojas mantecosas

Se caracteriza por poseer textura suave y grasosa. Forma cogollos mucho más pequeños que los de la lechuga acogollada de hojas crujientes. Su peso puede alcanzar hasta 500 g. Sus hojas son plegadas, mas anchas que largas y arrugadas en el interior. Son de color verde pálido a oscuro en las hojas exteriores y amarillo cremoso las hojas interiores. En algunos cultivares se presentan pigmentaciones moradas. El sabor varía de insípido a relativamente dulce.



Figura 9. Lechuga acogollada de hoja mantecosa.
Fuente: <http://www.ecoargentina.org/fotos/lechuga1.jpg>

1.5 Requerimientos de suelo y clima

Para el cultivo de la lechuga se requiere de suelos fértiles y bien drenados, con pH alrededor de 6,0 – 7,0 . Esta hortaliza es tolerante a la sal. En suelos humíferos se puede desarrollar el cultivo, aunque si son demasiado ácidos es necesario encalar.

La temperatura óptima de germinación varía entre 18 – 20°C. Durante el crecimiento del cultivo la temperatura diaria debe oscilar entre 12 – 18°C y la nocturna entre 5 – 8°C, ya que esta hortaliza requiere que haya diferencias de

temperatura entre el día y la noche. Las noches frías son esenciales para obtener lechugas de óptima calidad.

Humedad Relativa (H.R.)

El sistema radicular de la lechuga es muy pequeño en comparación con la parte aérea, lo cual la hace muy sensible a la falta de humedad. Los períodos de sequía, así sean cortos, perjudican drásticamente la planta. La H.R., para el desarrollo del cultivo está en el rango del 60 – 80%. Bajo invernadero se pueden presentar problemas debido al incremento de la humedad relativa, es por ello que algunos investigadores recomiendan su cultivo a campo abierto, cuando son favorables las condiciones climáticas.

1.6 Prácticas Culturales

Siembra

La propagación de la lechuga generalmente se realiza con plantas procedentes de semillero (Figura 10). Se aconseja el empleo de bandejas plásticas, colocando la semilla en profundidades de 3 – 5 cm dentro del alveolo. Transcurridos 30 a 40 días después de la siembra de la semilla, se puede hacer el transplante al cultivo. Un criterio para realizar esta labor es que la plántula tenga de 5 – 6 hojas y una altura de 8 cm.

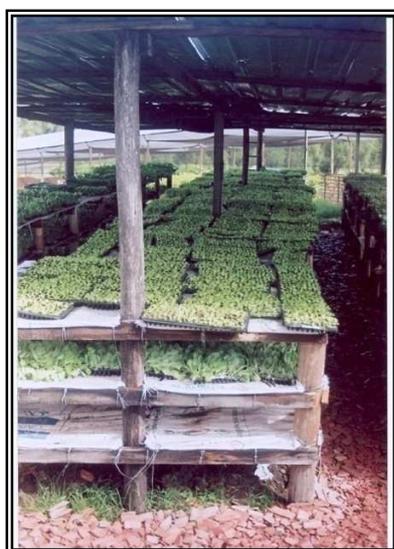


Figura 10. Semillero de lechuga verde crespá.

En algunos cultivos la propagación de la lechuga se hace mediante siembra directa a 0,5 – 1,0 cm de profundidad, en camas de aproximadamente 1 metro de ancho (2 – 7 líneas por cama). Es recomendable aclarar las plantas a 30 – 40 cm

entre plantas. El tiempo transcurrido desde la siembra hasta la cosecha es de 7 semanas, en condiciones de invernadero.



Figura 11. Cultivos de lechugas verde crespa y morada crespa.

Fertilización

El desarrollo y rendimiento de la planta está influenciado por la aplicación de fertilizantes, se recomienda utilizar 25 – 30 kg de N y K y 90 kg de P / ha. En suelos arenosos y francoarenosos la dosis recomendada es 40 – 50 kg de N y 75 – 100 kg de P y K / ha. En suelos francoarcillosos se recomienda utilizar 25 kg de N y K y 50 – 75 kg de P / ha. Sin embargo la fertilización debe depender de la disponibilidad de nutrientes y el estado de fertilidad del suelo con relación a los nutrientes principales (Deshpande et al, 2004).

Riego

Se utilizan diferentes sistemas de riego: riego en surcos, de superficie, por goteo y por aspersión. Deshpande, et al (2004), afirman que las aplicaciones frecuentes y ligeras son bastante eficientes y efectivas para obtener altos rendimientos y una producción de calidad. Después de plantar los cultivos se deben regar a intervalos de 8 ò 10 días. El riego por goteo aumenta el rendimiento alrededor de un 30% más que el riego por surcos.

1.7 Enfermedades y plagas de la lechuga

Anomalías de crecimiento de las lechugas

El crecimiento de las lechugas puede ser afectado en diversos grados en función de la naturaleza de la enfermedad y de la precocidad de su ataque. El desarrollo de las plantas a veces es perturbado desde muy temprano. Esto puede presentarse en suelos contaminados por hongos o por nematodos. Las plantas atacadas sufren alteraciones radiculares que perturban su desarrollo. Reducciones

en el crecimiento se pueden producir por ataques precoces de hongos como la *Botrytis cinerea*, los *Sclerotinia spp* y los nematodos (Dominique et al 2005).

La disminución del crecimiento de las lechugas será tanto más precoz cuanto más temprano hayan ocurrido las infecciones en el curso del ciclo de producción de la planta.

En ciertas situaciones, las lechugas pueden presentar, en una primera etapa, un crecimiento normal. Después, súbitamente durante el crecimiento, la yema puede quedar colapsada o desarrollarse moderadamente. En este caso, el tamaño de las hojas viejas contrasta con el de las más recientes. Ataques de un virus en el transcurso del cultivo o el aporte accidental de un herbicida pueden estar en el origen de tales daños.

Hojas parcial o totalmente deformadas

Los virus además de provocar múltiples anomalías de coloración (mosaicos, amarillamientos), inducen modificaciones en la forma del limbo. La naturaleza y la intensidad de estas alteraciones fluctúan en función de los virus y de las sepas atacantes. En el caso de epidemias del virus del mosaico de la lechuga, las hojas nuevas formadas en las plantas están frecuentemente más o menos abullonadas y/o hinchadas. A veces el limbo está incluso más recortado. El virus del mosaico del nabo además de mosaicos amarillos en las hojas ocasiona el raquitismo de las lechugas que presentan también hojas más estrechas y de dimensiones más pequeñas (Davis et al, 2002).

Virus del mosaico de la lechuga

Este virus es transmitido por pulgones y es considerado uno de los virus más dañinos de la lechuga. Sus ataques se pueden presentar muy temprano en el semillero, especialmente cuando las semillas están contaminadas o después de infecciones precoces de la planta por pulgones virulentos. Es corriente que el crecimiento de la hortaliza se bloquee y la planta no crezca. El virus del mosaico de la lechuga es responsable de jaspeados y mosaicos más o menos marcados (Figura 12).

La naturaleza y la intensidad de los síntomas provocados por el virus del mosaico de la lechuga varían en función del clima, de las cepas que intervienen y de los tipos de lechugas cultivadas.



Figura 12. Ataque del virus del mosaico de la lechuga

Fuente: Dominique et al (2005), página 54

Virus de las nervaduras gruesas de la lechuga

Es transmitido por un hongo del suelo. Los síntomas se sitúan principalmente en las nervaduras. Estas así como los tejidos contiguos, se aclaran progresivamente dando un aspecto de nervaduras gruesas a las hojas. (Figura 13). Los síntomas provocados por este virus se observan principalmente en lechugas cultivadas en invernaderos. Los suelos húmedos favorecen el desarrollo del hongo vector.



Figura 13. Hoja afectada por el virus de las nervaduras gruesas de la lechuga.

Fuente: Dominique et al (2005), página 62

Anomalías genéticas

Dominique et al (2005), afirman que algunas mutaciones ocasionan caracteres fenotípicos generalmente no deseados. Lo cual no es frecuente y por lo regular el número de plantas con estas anomalías es reducido. Las anomalías se manifiestan en la coloración y la forma de las hojas. Respecto a las deformaciones del limbo, se puede constatar:

- Hojas de tamaño reducido y apariencia más o menos arrugada
- Hojas enrolladas con respecto a su eje o a su plano
- Hojas reducidas y más recortadas

El mismo autor afirma que las quimeras foliares se caracterizan por un amarillamiento en ciertas partes del limbo. En este caso las hojas pueden presentar amplias zonas de color amarillo verde a blanco crema que le confiere a la hoja reluciente aspecto de jaspeado (Figura 14). Estas decoloraciones son causadas por una anomalía en el desarrollo de los cloroplastos.



Figura 14. Quimeras foliares en lechuga.

Fuente: Dominique et al (2005), página 88

Las anomalías genéticas no se transmiten a las plantas vecinas. Pueden ser transmitidas a la descendencia si las plantas afectadas son utilizadas en cruzamiento, lo cual debe evitarse. Este tipo de plantas deben ser retiradas del cultivo una vez identificadas.

Daños causados por pesticidas

Los efectos adversos de una aplicación indebida de un pesticida en lechuga, presenta características similares a las producidas por otros agentes como las virosis, tratamientos inadecuados con fertilizantes, salinidad del suelo o contaminantes del aire (Tickes et al, 1996).

Algunos pesticidas pueden causar fitotoxicidades que se manifiestan en el porte de las lechugas, malformaciones foliares y en ocasiones pueden ocasionar una interrupción del crecimiento. Los daños pueden manifestarse así:

- Limbos ligeramente dentados
- Desarrollo relentizado de las hojas, lo cual conlleva a que las plantas presenten un aspecto raquítrico
- Enrollamiento marcado de las hojas jóvenes, las cuales pueden ser mas cortas
- Enrollamiento total del limbo
- Arrugamiento de todas las hojas
-

El origen de la fitotoxicidad debe ser identificado. No es aconsejable eliminar las plantas inmediatamente. Es mejor cultivarlas y observar su evolución. Ello dependerá principalmente de la naturaleza del químico aplicado, de la dosis, del estado de crecimiento de la planta, del tipo cultivado y de la variedad.

Hojas con orificios y recortadas

Las causas posibles pueden ser debidas a enfermedades criptogámicas y específicamente *Microdochiumpanattonianum*; también el daño puede ser causado por bacterias. En este caso las condiciones muy húmedas favorecen el desarrollo de bacterias, las cuales se desarrollan en la periferia del limbo, destruyendo localmente los tejidos (Figura 15).

El hongo *Microdochiumpanattonianum* produce la antracnosis. Origina manchas que se desarrollan especialmente en las hojas basales de la lechuga, igual que en el limbo y en las nervaduras. Las partes del limbo afectadas oscurecen rápidamente, se necrosan y caen. Las hojas presentan numerosas perforaciones que les confieren un aspecto acribillado.



Figura 15. Limbo recortado por bacteriosis en lechuga.

Fuente: Dominique et al (2005), página 40

Ataque de insectos

Los insectos pueden llegar a devorar las hojas parcial o totalmente, según la magnitud del ataque. Las lechugas son apetecidas por las babosas y su ataque se puede producir en cualquier estado de desarrollo de la planta. Todos los cultivos de lechuga tanto a libre exposición como bajo invernadero son susceptibles a su ataque. En función del tipo de insectos y del estado de desarrollo de la planta, los daños pueden ser diferentes:

- Marchitamiento de la planta, desaparición de las mismas
- Consumo de raíces
- Seccionamiento del cuello.
- Consumo del limbo originando la aparición de agujeros

La tabla 3 presenta los principales insectos que atacan las lechugas durante su desarrollo.

Tabla 3. Principales plagas del cultivo de lechuga, causantes de perforaciones en las hojas.

Nombre de la plaga	Características de la plaga	Partes afectadas
<i>Bourletiellahortensis</i> (colémbolo de los jardines)	Adultos de color negro a verde oscuro, de 1,5 mm de longitud. Cabeza gruesa con largas antenas. Ojos negros prominentes enmarcados en amarillo.	Cuello roído y hojas cercanas al suelo ramoneadas.
<i>Agrotisspp</i> (gusano gris, noctuidos de tierra)	Orugas de 3,5 cm de largo, carnosas, de color variable, de grisáceas a verdosas, cubiertas de manchas o de bandas oscuras.	Cuello roído y hojas recortadas.
<i>Autographa gamma</i> (Noctuido gamma)	Orugas de 3,5 a 4,5 cm de largo, de color verde a verde negruzco. Tienen tres pares de falsas patas abdominales.	Hojas recortadas

Fuente: Dominique et al (2005), página 42.

Daños por granizo

Las hojas de lechuga son muy sensibles al granizo. Por el impacto de este las hojas pueden ser afectadas, ocasionándoles agujeros, desgarres, oscurecimiento de la superficie de impacto.

Deficiencias nutricionales

Las deficiencias nutricionales pueden inducir reducción del crecimiento de las lechugas de acuerdo con la severidad de la deficiencia. Dominique et al (2005), (Davis et al, 2002) presentan algunos síntomas de carencia de elementos en lechugas (Tabla 4).

En ciertos suelos ácidos, con pH inferiores a 4, las lechugas presentan un desarrollo bastante lento, además de una clorosis foliar. Las plantas de lechugas necesitan diferentes elementos minerales con el fin de asegurar su crecimiento y obtener productos de óptima calidad. Debido a que su ciclo es corto y su crecimiento es rápido, necesita de una fertilización bastante compleja especialmente con relación al nitrógeno. Las deficiencias nutricionales se manifiestan generalmente con amarillamiento de las hojas.

Tabla 4. Síntomas de algunas deficiencias nutricionales en lechuga.

Deficiencia	Síntoma	Principales funciones afectadas
Nitrógeno (N)	Hojas de color verde pálido; las más viejas presentan amarillamiento acentuado con tendencia a necrosarse y a secarse. Se limita el crecimiento de la planta.	Síntesis de proteínas (interviene en la composición de aminoácidos, de proteínas, de ácidos nucleicos).
Fosforo (P)	Hojas de color verde oscuro, en ocasiones presentan aspecto de bronceado a violáceo, específicamente en los cultivares con antocianinas. Las plantas son generalmente poco vigorosas.	Forma parte de enzimas, proteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos.
Potasio (K)	Manchas cloróticas localizadas en la periferia del limbo. Las zonas afectadas se necrosan. Se afecta el crecimiento de la planta.	Regulación osmótica de la planta (equilibrio iónico de las células, retención de agua en los tejidos, transporte de agua), Regulación del pH de las células (factor de calidad de las hortalizas).
Magnesio (Mg)	Clorosis internervial que se inicia por la periferia del limbo, pudiendo ocasionar al final de la evolución el blanqueo de las hojas. El crecimiento de la hortaliza disminuye en proporción a la severidad de la carencia.	Síntesis de clorofila (este elemento es constituyente de la clorofila), y cofactor de numerosas enzimas.
Calcio (Ca)	Las hojas jóvenes presentan en ocasiones una coloración más oscura. El crecimiento de las plantas se ve altamente reducido, especialmente las hojas del corazón.	Constituyente de la pared celular bajo la forma de pectato y de oxalato de calcio, implicado en la elongación y la división celular, influye en el pH de las células, en la estabilidad estructural y en la permeabilidad de las membranas celulares.
Boro (Bo)	Las hojas jóvenes son más gruesas y rígidas, ligeramente jaspeadas en el borde del limbo. Se presenta un oscurecimiento acentuado. El crecimiento es fuertemente reducido.	Implicado en el transporte de azúcares a través de las membranas celulares y en la síntesis de los componentes de la pared celular.

Fuente: Dominique et al (2005), Davis et al, (2002).

1.8 Cosecha

La cosecha de la lechuga se realiza cuando las plantas alcanzan un tamaño y firmeza aceptables y se requiere completar antes de que las hojas adquieran una consistencia dura y un sabor amargo y antes de que comiencen a espigar. El estado de madurez para la recolección depende de la variedad de la lechuga y el propósito para el que se destina. Las hojas de las plantas se pueden retirar en diferentes épocas durante el cultivo, retirando las hojas más grandes para su

utilización posterior y dejando las más pequeñas para su desarrollo (Salunkhe et al, 2004).

La cosecha se realiza generalmente utilizando una hoz afilada de mango largo o cuchillo liso. Es frecuente que inmediatamente después de la cosecha, se aplique sobre la superficie de corte una solución desinfectante (ácido cítrico o ácido ascórbico en concentraciones de 200 y 100 ppm respectivamente), para evitar el pardeamiento de la superficie de corte. Los agricultores utilizan para esta práctica pedazos de tela. Es aconsejable estar desinfectando frecuentemente la hoz.



Figura 16. Cosecha y desinfección de lechuga.

Una vez cosechada la hortaliza se embolsa (Figura 17); el tipo de película mas utilizado es el polietileno. Deshpande et al (2004), afirman que el embolsado reduce la podredumbre en las hojas de la lechuga en un 30 – 40%. Después del embolsado se colocan en canastillas plásticas, las cuales se encarran dentro de vehículos acondicionados para el transporte dentro de la finca (Figura 18) posteriormente son llevadas a la sala de inspección y acondicionamiento final, con el fin de dejarlas listas para el transporte a los sitios de distribución y consumo (Galvis, 2010).

Generalmente las salas de acondicionamiento poseen cuartos de almacenamiento refrigerado, con el fin de mantener la hortaliza a bajas temperaturas (alrededor de 1 – 2°C), mientras son transportadas a los centros de distribución. Desde el momento de la cosecha se recomienda el mantenimiento de la cadena de frío. Este se inicia con el preenfriamiento, el cual puede realizarse en seco en cámaras de refrigeración. En algunos países se emplea el preenfriamiento al vacío, en este caso las lechugas se colocan en cajas de cartón y se introducen dentro de la cámara de preenfriamiento.



Figura 17. Embolsado de lechuga.



Figura 18. Vehículo de transporte.

2. ELABORACION DE PRODUCTOS MINIMAMENTE PROCESADOS

En los últimos años la conciencia de los consumidores respecto a su salud se ha incrementado y esta preocupación se refleja en la introducción en el mercado de alimentos frescos y más saludables en su dieta.

La creciente demanda por productos frescos (frutas y hortalizas) ha hecho popular la tecnología de los productos mínimamente procesados, que como su nombre lo indica son frutas y hortalizas sometidos a operaciones de limpieza y desinfección, pelado, cortado, tajado o troceado, empaque y almacenamiento refrigerado, conservando su apariencia de fresca por algunos días, según las características del producto (Cantwell et al, 2002).

Los productos mínimamente procesados, al igual que las frutas y hortalizas intactas, sufren deterioro después de la recolección debido a la maduración fisiológica y a la alteración microbiológica. Además, las lesiones causadas durante el proceso de elaboración también producen la descompartmentalización celular, dando origen a diferentes alteraciones bioquímicas como el pardeamiento enzimático, olores desagradables y pérdida de textura. Además las operaciones de pelado y cortado pueden permitir la infección de los tejidos vegetales por microorganismos específicos y fitopatogénicos (Soliva et al, 2003).

La tecnología de los productos mínimamente procesados, ofrece grandes beneficios al consumidor como el poder disfrutar de productos frescos listos para el consumo, en las cantidades deseadas, principalmente a través de ensaladas o directamente consumidos. Sin embargo estos productos aunque presentan agradable sabor, aroma y características nutricionales, son altamente perecederos.

La lechuga mínimamente procesada es actualmente un producto de alta popularidad, debido al incremento en el consumo de comidas rápidas y ensaladas preparadas. Sin embargo presenta alta susceptibilidad al pardeamiento enzimático, el control de este daño es crítico para prevenir las pérdidas de la hortaliza mínimamente procesada (Martín – Diana et al, 2005).

Las lechugas destinadas al procesamiento mínimo, deben ser sometidas a una serie de operaciones cada una de las cuales requiere el máximo cuidado para garantizar la conservación de la calidad del producto fresco. La figura 19 presenta el diagrama de flujo del proceso de elaboración.

Las operaciones de recolección, transporte, preparación y distribución de la lechuga requieren una serie de fases que son de naturaleza física, aunque sus efectos pueden contribuir a cambios biológicos, químicos, y físicos de la hortaliza.

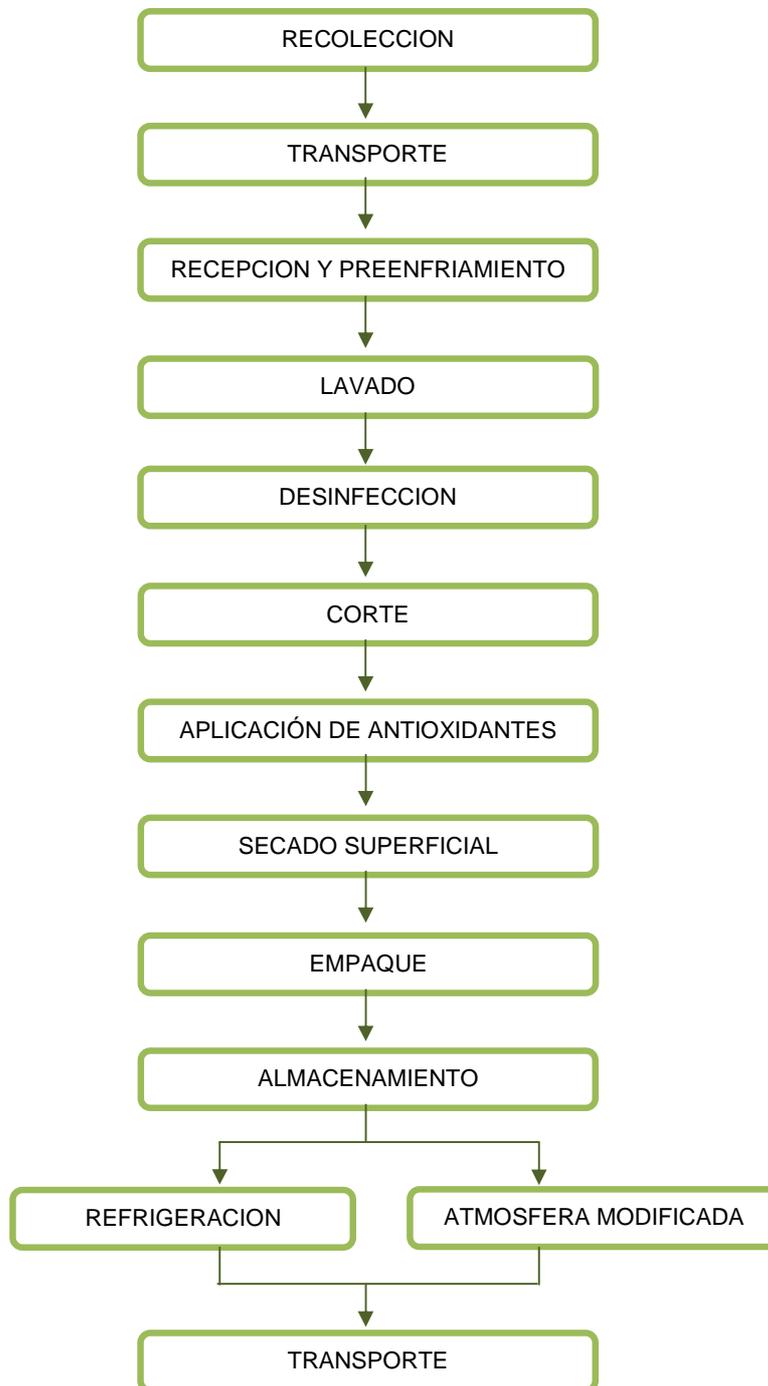


Figura 19. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de lechuga mínimamente procesada.

2.1 Recolección

La recolección en el momento adecuado del desarrollo de la lechuga es una operación extremadamente exacta. Esta fecha puede calcularse por anticipado en función de los sistemas de cosecha. Para mantener la calidad de la hortaliza durante la manipulación y el almacenamiento, es recomendable realizar la recolección durante las primeras horas de la mañana o bien entrada la tarde. La naturaleza frágil de la lechuga requiere una cuidadosa manipulación, de ahí que tanto para el mercado en fresco como para su elaboración como producto mínimamente procesado se recomienda que la cosecha se realice de forma manual.

2.2 Acondicionamiento en el sitio de producción

El procesado en el lugar de producción incluye la inspección del tamaño, observación de defectos, grado de desarrollo y preenfriado. El retiro de hojas quebradas debe hacerse en este lugar. El preenfriado rápido de la lechuga tiende a eliminar el calor de campo del producto y el que se genera como resultado de la respiración. Este preenfriamiento se realiza mediante cualquiera de las siguientes técnicas:

- Aire forzado
- Con agua
- Aire y agua (enfriamiento por pulverización de una fina niebla combinada con aire forzado)
- Al vacío

Todo el equipo de recolección debe mantenerse limpio para evitar alteraciones causadas por microorganismos. Los cuchillos deben limpiarse y desinfectarse frecuentemente durante la operación de cosecha para eliminar la suciedad y la tierra acumulada. Las cajas y otros recipientes utilizados en la recolección de la lechuga deben limpiarse y desinfectarse diariamente para evitar infecciones de origen microbiológico. La realización de la mayoría de las operaciones de acondicionamiento de la lechuga en el campo evitan costosos problemas de manejo de la materia prima en las áreas de consumo.

2.3 Transporte

La lechuga por ser altamente perecedera debe transportarse lo más rápidamente posible y de forma cuidadosa. El transporte de la hortaliza a granel presenta problemas con el calentamiento propio debido a la respiración. En el transporte deben utilizarse tanto contenedores como envases que eviten al máximo los daños mecánicos. El transporte en vehículos refrigerados es el más adecuado y deben estar provistos de termostatos para el control de la temperatura.

2.4 Recepción

Una vez transportada la hortaliza a la Planta de procesamiento, debe continuar la cadena de frío durante todo el procesamiento para garantizar la conservación de las características organolépticas del producto fresco. En la recepción la hortaliza debe ser pesada y sometida a selección para garantizar la uniformidad de la lechuga a procesar.

2.5 Lavado y desinfección

El lavado se realiza con el fin de eliminar los materiales extraños. Constituye la primera etapa del procesamiento, es una forma de separación relacionada con la eliminación de impurezas como arena, tierra, insectos, pesticidas y residuos de fertilizantes de la lechuga. Previo al lavado deben separarse las hojas con el fin de garantizar el lavado total (Figura 20).



Figura 20. Lavado y desinfección de la lechuga.

El agua utilizada en esta etapa debe ser potable. Una vez realizado el lavado inicial es recomendable aplicar al producto un agente desinfectante en lo posible de origen natural, con el fin de disminuir la carga microbiana de la hortaliza. En algunas ocasiones se usa la inmersión en solución clorada de hasta 200 ppm por un tiempo de 5 minutos. Seguidamente se enjuaga la hortaliza para eliminar el cloro residual. Es de resaltar que el cloro solamente actúa sobre la carga microbiana y no tiene ningún efecto benéfico en detener los desordenes bioquímicos y fisiológicos del producto (Ahvenainen, 1996).

El peróxido de hidrógeno ha mostrado buenos resultados en productos hortícolas precortados. Sapers y Simmons (1998) utilizaron este desinfectante en melones aumentando entre 4 – 5 días la vida útil del producto en comparación con los tratamientos con cloro. Algunos autores sugieren el uso de ácidos orgánicos tales como el ácido peroxiacético, el cual es un potente agente oxidante. La actividad antimicrobiana de los ácidos orgánicos depende tanto de su bajo pH como de su estructura.

Wiley (1997), afirma que en el lavado de la hortaliza se controlan tres parámetros:

- 1º cantidad de agua utilizada: 5 – 10 l/kg de producto
- 2º temperatura del agua: 4°C para garantizar el enfriamiento del producto.
- 3º concentración de cloro activo: 100 – 200 ppm.

Tomando en consideración que el cloro es débilmente soluble en agua, para la cloración de las aguas de lavado de hortalizas mínimamente procesadas se utilizan generalmente los hipocloritos de calcio y sodio. Los hipocloritos se utilizan fácilmente sin necesidad de equipo especial. La actividad germicida de los hipocloritos disminuye con la concentración, especialmente si el agua utilizada es alcalina ($\text{pH} \geq 8,5$), de ahí que sea necesario regular el nivel del pH del agua.

2.6 Corte

El corte en los productos acelera la respiración, provoca daños mecánicos y ablanda el tejido vegetal. Los tejidos que han sido sometidos a cortes presentan barreras menos eficientes a la difusión de los gases. Soportan concentraciones mayores de O_2 y niveles inferiores de CO_2 que los productos intactos. De este comportamiento surge la necesidad de mantener las bajas temperaturas en el proceso de elaboración de productos precortados.

Las hojas de lechuga pueden ser cortadas en tiras mediante el empleo de máquinas automáticas de alta velocidad. En Colombia todavía se hace el corte de forma manual y para ello se utilizan cuchillo de acero inoxidable de lámina plana bien afilados. La longitud de las tiras está en función del tamaño del producto inicial (Figura 21).



Figura 21. Corte manual de la lechuga.

Los mejores equipos de corte son aquellos que poseen cuchillas bien afiladas. El material de construcción de las cortadoras es acero inoxidable. Es recomendable que las cuchillas se afilen después de cada ocho horas de operación. Después de cada jornada de trabajo el equipo utilizado debe lavarse rigurosamente.

El uso de cuchillas de agua ha ido en aumento en el cortado de frutas y hortalizas. En este caso el corte se realiza por medio de una fina boquilla de agua a alta

presión ($P > 3000$ KPa). Las ventajas es que se obtiene mayor uniformidad en el corte y que mediante el proceso se lava el exudado celular de los productos.

2.7 Aplicación de antioxidantes

Una vez cortada la lechuga, se procede a hacer la inmersión de los trozos en soluciones de antioxidantes. El recipiente a utilizar en esta operación debe haber sido lavados y desinfectados previamente. En el caso de lechugas se estudiaron dos agentes: Acido ascórbico en concentración de 150 y 300 ppm y Acido cítrico en concentraciones de 250 y 500 ppm. Además, se aplicó tratamiento térmico empleando agua a temperaturas de 45 y 55°C.

2.8 Secado superficial

Después del lavado y/o de la aplicación de antioxidantes, la etapa siguiente es el secado superficial del producto. Esta operación en algunas ocasiones se realiza de forma manual, pero lo más aconsejable es realizarla a través de una centrífuga. En el caso de la lechuga es suficiente un tiempo de centrifugado de 5- 10 minutos dependiendo de la velocidad del equipo.

2.9 Empaque

El envase del alimento tiene como función contener y proteger al producto desde el momento y lugar de fabricación hasta el consumo. Las películas poliméricas han sido utilizadas desde hace varias décadas en el envasado de productos frescos con el objetivo de proteger las frutas y hortalizas de las contaminaciones ambientales. Además es una forma de disminuir las pérdidas de humedad, debido a la disminución del gradiente de vapor de agua entre el producto y su ambiente dentro del envase (Schilimme et al 1997). Las principales funciones del empaque en productos mínimamente procesados son:

- Proteger el producto de agentes biológicos, mecánicos y físicos externos durante el almacenamiento y el transporte.
- Retardar directa o indirectamente la descomposición química que conlleva a la disminución de la calidad del producto.
- Proporcionar una aceptable apariencia, color, diseño y posible etiquetado.
- Prevenir pérdidas por hurto

Películas poliméricas

Las películas poliméricas constituyen una clase de moléculas orgánicas de gran tamaño y elevado peso molecular (hasta 106) que son capaces de ser despolimerizadas en un número de unidades identificables químicamente, denominadas monómeros (Oswin, 1985). Entre las películas que se utilizan desde

la década de los noventa para el empaque de frutas y hortalizas mínimamente procesadas se encuentra el poliestireno Tereftalato PET. Algunas ventajas de esta película son:

- Apropiaada para elaborar frascos, botellas, películas, láminas y planchas.
- Transparencia y brillo.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Barrera a los gases.
- Fácil de imprimir con tintas.
- Excelente relación Costo/ Beneficio.

Otra película empleada es el polipropileno biorientado BOPP, las ventajas que presenta son:

- Alta transparencia y brillo
- Buenas propiedades mecánicas
- Excelente permeabilidad al vapor de agua
- Amplio rango de espesores
- Diferentes temperaturas de sello
- Versatilidad

2.10 Almacenamiento

Después del empaque, se procede al almacenamiento. El tipo de almacenamiento más común es el refrigerado, en el cual la hortaliza debe colocarse a temperatura entre 2 y 4°C con H. R. de 85 – 90%. Galvis et al (2010) estudiaron el comportamiento de lechugas verde crespa y morada crespa tratadas con Acido Cítrico en concentración de 500 ppm encontrando que el producto se conserva por un tiempo de 12 días bajo estas condiciones de almacenamiento.

Otro método de conservación son las atmósferas modificadas, en el cual la proporción de O₂, CO₂ y N₂ de la atmósfera inicial se cambia. Según Brown Stain (1997) Con atmósferas con bajo O₂ (1 – 3%) a temperaturas de 0 – 5°C puede ser obtenido algún beneficio en la vida de anaquel. Las atmósferas con bajo contenido de O₂ reducen la tasa de respiración y los efectos negativos del etileno.

Galvis et al (2010) encontraron que las mejores condiciones para el almacenamiento en atmósfera modificadas de lechugas verde crespa y morada crespa fueron 5% de O₂, 5% de CO₂ y 90% de N₂. En estas condiciones lechugas de las dos variedades tratadas previamente con solución de Acido cítrico en concentración de 500 ppm, alcanzaron una vida útil de 15 días en temperatura de 4°C.

2.11 Transporte

El transporte desde la Planta de procesamiento hasta los puntos de comercialización debe realizarse bajo refrigeración para no interrumpir la cadena de frío.

3. FISIOLÓGÍA DE LOS PRODUCTOS MINIMAMENTE PROCESADOS

El comportamiento de las hortalizas mínimamente procesadas es el típico que se observa en productos que han sido lesionados o expuestos a condiciones de estrés. Este comportamiento comprende incremento de la intensidad respiratoria (I R) y de la producción de etileno (C₂H₄). Las altas tasas de respiración indican mayor actividad metabólica y por consiguiente mayor velocidad de deterioro Salveit (2002). Elevadas tasas de respiración pueden también ocasionar mayores pérdidas de ácidos, azúcares y otros compuestos que inciden en el sabor y la calidad nutritiva del producto.

Otras consecuencias del daño están relacionadas con la naturaleza química y física, como las reacciones de pardeamiento oxidativo, la oxidación lipídica y el aumento de la pérdida de agua. Si se consigue minimizar los efectos negativos del daño ocasionado por el corte que se hace en las hortalizas mínimamente procesadas, se logra prolongar la vida útil y se mantiene la calidad nutricional, apariencia y sabor de estos productos (Robert S. et al, 2003; Baldwin et al, 1999).

3.1 Respiración

La velocidad de la intensidad respiratoria de un producto mínimamente procesado puede alcanzar valores de dos a siete veces respecto al producto fresco. Salveit (2002), afirma que el aumento en la intensidad respiratoria depende del tipo de producto, de la intensidad del daño por el corte y de la temperatura a la cual se realiza el procesamiento.

La lechuga presenta intensidad respiratoria alta, la cual duplica al repollo y al apio en la mayoría de temperaturas de almacenamiento. Namesny (1993), en un estudio de comparación del comportamiento fisiológico durante el almacenamiento, en lechugas, encontró que las lechugas de hojas respiran aproximadamente el doble que las lechugas de cogollo. La reducción de la intensidad respiratoria retarda los cambios que se producen en el producto, manteniéndose la calidad por mayor tiempo.

Las temperaturas bajas reducen la intensidad respiratoria tanto de las hojas enteras como de las precortadas. Kader (2002), presenta algunas variaciones de respiración de hojas de lechuga variedad Romana almacenadas en diferentes temperaturas.

La tabla 5 presenta la intensidad respiratoria de hojas de lechuga Romana entera y en trozos a diferentes temperaturas.

Como se observa en la tabla 5, a mayor temperatura mayor la intensidad respiratoria y los cambios de color (incluyendo el pardeamiento enzimático), el sabor, la textura y la calidad nutricional (Contenido de vitaminas, azúcares y ácidos) se afectan más rápidamente. Se requiere un control estricto de la

temperatura para minimizar el aumento en la respiración y el proceso metabólico de los productos mínimamente procesados.(Kader (2002)).

Tabla 5: Velocidades de respiración de hojas de lechuga Romana almacenadas a varias temperaturas.

Producto	Variaciones de la respiración (ml CO ₂ / K-h)			
	0°C	5°C	10°C	15°C
Hojas enteras	8	12	28	33
Hojas Pequeñas	14	21	42	57
Tiras de 2 X 2 cm	15	23	46	53

Fuente: Kader (2002).

En la tabla 5 también se observa que los trozos de lechuga presentan intensidad respiratoria aproximadamente el doble que las hojas enteras. El tamaño de las tiras y la forma del corte también influyeron en la intensidad respiratoria del producto. Kader (2002) encontró que las intensidades de respiración de las lechugas de la variedad Iceberg en tamaños de 2 a 3 cm aumentan hasta un 200% comparada con la lechuga entera. El mismo autor afirma que las velocidades de respiración y deterioro pueden ser minimizadas por enfriamiento rápido del producto y almacenamiento a temperatura igual o inferior a 5 °C.

3.2 Transpiración

La transpiración de los productos agrícolas conlleva a la pérdida de agua constituyente de los tejidos, con la consiguiente pérdida de turgencia y la aparición de marchites en el caso de las hojas. A mayor superficie expuesta por unidad de volumen mayor es la pérdida de agua (González, 2004). La mayoría de hortalizas disminuyen su valor comercial cuando la pérdida de agua excede el 3% del peso fresco a la cosecha.

En el producto fresco el agua de los espacios intercelulares no está directamente expuesta a la atmósfera exterior, pero al cortar o pelar una hortaliza, se exponen los tejidos internos y se incrementa rápidamente la velocidad de evaporación del agua.

Krarpv et al (1991), señalan que en el caso de la lechuga, la ausencia de células diferenciales en los tricomas, la presencia de una fina cutícula y la escasa o nula disposición de ceras, favorecen la deshidratación rápida. Adicionalmente la carencia de un mesófilo en empalizada, contribuye a la formación de espacios grandes intercelulares, favoreciendo el aumento del área de la superficie interna expuesta a la evaporación. Por consiguiente, la humedad relativa (HR) debe ser alta dentro de la cámara de almacenamiento, superior al 90%.

3.3 Producción de Etileno

El etileno (C₂H₄) acelera el deterioro y la senescencia en los tejidos vegetales. Los tejidos cortados inducen altas velocidades de producción de este gas, el cual contribuye a la síntesis de enzimas implicadas en el deterioro de los productos agrícolas. Este gas puede ser sintetizado por la misma planta o suministrado desde el exterior. Esta hormona se asocia a un receptor, formando un complejo que genera la reacción primaria de una serie de reacciones en cadena, que dan lugar a diferentes respuestas fisiológicas (López, 1992).

Kader (2002), afirma que entre las respuestas de las hortalizas a la acción del etileno están el ablandamiento acelerado, el aumento de la absorción y la inducción de desórdenes fisiológicos, los cuales afectan la calidad final de la hortaliza. La lechuga presenta alta susceptibilidad al etileno. El punteado pardo y la pérdida de color verde por degradación de la clorofila, son los síntomas más comunes. La velocidad de producción de etileno de la lechuga es muy baja, menor a 0,1 µl/Kg-h.

En la operación de cortado para la obtención de rodajas Valerie et al (2007), establecieron que cuando estas se obtienen con máquina cortadora presentan mayores niveles de compuestos volátiles. Sin embargo durante el almacenamiento, mayor reducción de los compuestos volátiles se presentó comparados con aquellas peladas y cortadas manualmente. Los niveles de etileno fueron mayores en los productos cortados con máquina comparados con los cortados manualmente. Los autores concluyeron que la mayor producción de etileno fue la causa de la mayor liberación de compuestos volátiles.

La dirección del corte parece jugar un papel importante en la respuesta a las heridas de algunas hortalizas. Abe et al (1999), establecieron que a mayor espesor del corte y si este se hace perpendicularmente a la dirección de la fibra, la producción de etileno es menor.

3.4 Degradación lipídica de la membrana

Los productos mínimamente procesados presentan degradación lipídica de la membrana. La degradación enzimática ocurre en los sistemas de membrana lesionada, originando pérdidas de compuestos lipídicos y pérdida de afinidad entre enzima y sustratos. El etileno producido una vez hecho el corte juega un papel importante en este proceso, mediante el incremento de la permeabilidad de las membranas y la reducción de la biosíntesis de los fosfolípidos (Wiley, 1997).

Ohta y Sugawara (1995), encontraron que las hojas de lechugas cortadas con cuchillos lisos afilados presentaron menor daño por corte y por lo tanto su calidad fue superior a aquellas picadas con cuchillos dentados o aserrados, ya que las primeras mantuvieron la turgencia por mayor tiempo. Esta respuesta es debida a que los cuchillos afilados causan un daño menor en la membrana; por el contrario

los cuchillos aserrados ocasionan mayor ruptura de la célula, permitiendo la liberación del fluido del tejido.

3.5 Metabolitos secundarios

En respuesta a la lesión, los productos mínimamente procesados pueden sintetizar una serie de compuestos secundarios, algunos de los cuales aparecen como defensa contra el ataque de insectos y microorganismos. En ciertos casos, estos compuestos pueden afectar el aroma, el sabor, la apariencia y el valor nutritivo. Algunos compuestos del aroma y el sabor pueden ser muy volátiles, lo cual se traducirá en pérdidas de sabor después de un período muy corto de almacenamiento; por el contrario, algunos olores y sabores desagradables pueden persistir (Lai et al, 2007).

Niveles de O₂ bajos y niveles de CO₂ altos, además de reducir la respiración y la síntesis de etileno, pueden inhibir o retardar las reacciones enzimáticas, disminuir los desordenes fisiológicos y preservar la calidad del producto (Senessi et al, 1999).

3.6 Pérdida de firmeza

La degradación de la textura de los productos mínimamente procesados durante el almacenamiento, es ocasionada principalmente por la hidrólisis de los componentes de la pared celular. Las células lesionadas por el corte liberan enzimas proteolíticas y pectinolíticas que se difunden hacia el interior de los tejidos, ocasionando el ablandamiento rápido (Lana et al, 2005).

El calcio juega un importante rol en el mantenimiento de la calidad de frutas y hortalizas respecto a la integridad estructural de las membranas y células de la pared (Galvis et al 2002). El calcio une los grupos aniónicos de todas las membranas para formar puentes entre los componentes estructurales, manteniendo la permeabilidad de la célula y la compartimentalización e integridad estructural (Conwal et al, 1992). Izumi y Watada (1995), reportaron los efectos de los tratamientos de calcio sobre la extensión de la vida útil de frutas y hortalizas. Los efectos de los tratamientos fueron reducción de la respiración, suspensión de la producción de etileno, hubo aumento de la retención de la firmeza, y se redujo la incidencia de los desórdenes fisiológicos y el daño.

Luna et al (2000) estudiaron la influencia de las inmersiones en CaCl₂ sobre las respuestas fisiológicas en melón precortado; estos investigadores concluyeron que el tiempo de inmersión no tuvo influencia sobre la velocidad de respiración y la producción de etileno. Los mismos investigadores concluyeron que la temperatura de la solución tiene mayor influencia sobre la efectividad de los tratamientos. La temperatura de 60°C fue mejor que las temperaturas de 40°C y 20°C, probablemente debido a que los procesos de difusión se incrementan con el

aumento de la temperatura. Sin embargo en productos donde la acción de la polifenoloxidasas es la principal causa del pardeamiento, la inmersión debe hacerse a temperaturas no mayores a 20°C.

Roura et al (2003), estudiaron los efectos de tratamientos de inmersión con cloro, ácido cítrico, ácido ascórbico y cloruro de calcio sobre la vida de almacenamiento de hojas de lechuga Romana. Concluyeron que la unión de las cadenas de poligalacturonatos con los iones de calcio hicieron que las paredes de las células fueran menos accesibles a las enzimas que causan el ablandamiento del tejido o las enzimas que degradan la célula.

3.7 Pardeamiento oxidativo

El pardeamiento oxidativo en la superficie del corte constituye un factor limitante en el almacenamiento de productos mínimamente procesados. El oscurecimiento se presenta en la superficie de corte como resultado de la alteración que ocurre, permitiendo que sustratos y enzimas oxidasas entren en contacto.

Reacciones enzimáticas y no enzimáticas con compuestos fenólicos producen pardeamiento en los pigmentos de los tejidos. Algunos productos como la lechuga contienen niveles altos de compuestos fenólicos y rápidamente se pardean en contacto con el aire. La prevención del pardeamiento requiere de la inactivación de las enzimas responsables de este. Por ejemplo se han utilizado tratamientos con aplicación de antioxidantes químicos, aplicación de choques térmicos suaves y empleo de atmósferas modificadas (Tavarini et al, 2007, Chiesa et al, 1997).

Las enzimas que catalizan la oxidación de los fenoles, son las fenolasas, las polifenoloxidasas (PPO), las tiroxinasas o catecolasas. El pardeamiento se produce cuando los tejidos han sido dañados y se encuentra oxígeno y cobre presentes (Richardson et al, 1993). La PPO tiene un rango óptimo de acción en pH entre 5 y 7, con temperaturas que varían entre 25°C a 35°C. Arzu et al (2008), aislaron la enzima en lechuga fresca y encontraron que la temperatura y pH óptimos fueron 40°C y 7 respectivamente.

A 10°C la actividad de la PPO fue baja y aumentó hasta 40°C, presentando disminución gradual de su actividad a temperaturas superiores. En pH de 4 la actividad de la PPO es mínima y va aumentando hasta pH de 7; a partir de este valor comienza a disminuir. Esta enzima cataliza básicamente dos reacciones en cadena en presencia de oxígeno: la primera reacción es la hidroxilación de monofenoles a difenoles y posteriormente, los difenoles formados se transforman en quinonas.

Las reacciones del pardeamiento progresan en una segunda fase no enzimática a partir de las ortoquinonas formadas. Al final se obtienen polímeros de alto peso molecular con diversas coloraciones llamadas melaninas, dependiendo de los sustratos fenólicos que los originaron y del pH (Mc Evely et al, 1992).

El pardeamiento enzimático generalmente resulta en pérdidas de características nutricionales, funcionales y organolépticas las cuales se manifiestan a través del oscurecimiento, el ablandamiento y la aparición de sabores desagradables. Arzu et al (2008), afirman que la intensidad del pardeamiento depende principalmente del contenido de fenoles y de la actividad de la enzima Polifenol oxidasa (PPO).

La intensidad del daño durante la producción de la lechuga mínimamente procesada afecta de manera directa su respuesta fisiológica y la velocidad de cambio en la actividad de la PPO durante los primeros días de almacenamiento (Pereira et al, 2005). A mayor intensidad del pardeamiento, la calidad visual del producto se reduce. Por lo tanto es importante reducir las reacciones de pardeamiento.

Control del pardeamiento oxidativo

Para retardar el pardeamiento en los productos agrícolas susceptibles a él, se han empleado diferentes técnicas entre las que se incluyen el empleo de bajas temperaturas de almacenamiento, la aplicación de atmósferas modificadas o controladas con concentraciones bajas de oxígeno (O₂) y altas de dióxido de carbono (CO₂), aditivos químicos o el uso de choques térmicos suaves.

Roura et al (2003), afirman que tomando en consideración que los productos hortícolas difieren en su estructura morfológica, en su composición y en general en su fisiología, es lógico que los requerimientos y recomendaciones respecto a los tratamientos a aplicar para alcanzar la máxima vida útil diferirán según el producto.

Para el control del pardeamiento enzimático en frutas y hortalizas mínimamente procesadas se han utilizado tanto métodos químicos como físicos, que retardan y en muchos casos inhiben el proceso de oxidación, alargando la vida útil del producto.

Uso de antioxidantes

La finalidad de los antioxidantes no es otra que la de preservar el producto fresco, para lo cual se trata de relentizar los procesos fisiológicos de post recolección y el desarrollo microbiano, de forma que se retrase el mayor tiempo posible cualquier síntoma de oscurecimiento o pudrición.

Para que una sustancia sea considerada como antioxidante debe poseer algunas características:

1° Uso seguro.

2° No alterar el olor, color y sabor del alimento.

3° Ser efectivo a bajas concentraciones.

4° Ser de fácil incorporación en el producto.

5° De fácil adquisición y bajo costo.

Algunos antioxidantes empleados son el ácido ascórbico, el ácido cítrico, el ácido fosfórico, el ácido oxálico el ácido tartárico y tiol compuestos como la cysteina. El compuesto mas utilizado para evitar el pardeamiento enzimático es el ácido ascórbico. Este es un compuesto reductor moderadamente fuerte, de naturaleza ácida, forma sales neutras con los álcalis y es altamente soluble en agua. Galvis et al (2008) impidieron el oscurecimiento en mango variedad Van Dyke mínimamente procesado usando un tratamiento de inmersión con ácido ascórbico en concentración de 500 ppm.

El ácido ascórbico es un antioxidante soluble en agua que actúa como un agente reductor para algunos oxidantes, reduciendo la velocidad de pardeamiento en frutas y hortalizas. Tratamientos de inmersión con ácido ascórbico retardan el pardeamiento enzimático en hortalizas precortadas. Roura et al, (2008) encontraron que lechugas precortadas sometidas a tratamiento de inmersión con ácido ascórbico en concentración de 500 ppm, incrementaron su vida de almacenamiento en cerca del 10% respecto al testigo.

Arzu et al (2008), en un estudio sobre los efectos de varios inhibidores de pardeamiento enzimático en lechuga fresca, encontraron que el empleo de ácido ascórbico y de cysteina incrementaron la actividad antioxidante de la lechuga, mientras que los ácidos cítrico y oxálico no tuvieron efecto sobre la actividad antioxidante total. Concluyeron que los fenoles en la lechuga fueron protegidos de la oxidación por el ácido ascórbico y la cysteina.

Otro antioxidante utilizado es el Ácido cítrico que inhibe el crecimiento bacteriano e inactiva algunas enzimas. La concentración recomendada para el ácido cítrico varia en el rango de 100 – 500 ppm (Dziezak, 1986).

El ácido cítrico inhibe las bacterias débilmente ácidas de jugos de tomate enlatados. Existen diversos estudios que han sugerido que la actividad antimicrobiana de este ácido es debida a la quelación de los iones metálicos que son esenciales para el desarrollo microbiológico. El ácido cítrico puede utilizarse para prevenir el pardeamiento al quelar el cobre de la polifenoloxidasas (PFO).

Barberan et al, 2000 utilizaron ácido cítrico (100 ppm), EDTA (5 ppm) y ácido acético (100 ppm) con el fin de retrasar el pardeamiento enzimático en rodajas de tallos de lechuga iceberg, siendo el ácido cítrico el más eficiente por su mayor penetración en los tejidos, se determino que el efecto antioxidante del ácido cítrico se debe a la inhibición de la actividad fenilalanina amonioliasa (PAL). Esta enzima actúa al inicio de la ruta biosintética de los compuestos fenólicos impidiendo la formación de metabolitos fenólicos inducidos en los productos mínimamente procesados.

Los tratamientos con calor son efectivos como un medio no químico para mantener la calidad en poscosecha de algunas variedades de productos hortícolas. Un choque térmico corto a 45°C por 90 segundos interrumpió la inducción de la actividad de la enzima PPO, detuvo y disminuyó la acumulación de compuestos fenólicos y el pardeamiento del tejido en apio precortado (Loaiza et al, 1997).

Respecto al ácido oxálico, Yoruk et al (2004), afirman que aunque es un componente natural presente en un gran número de plantas, como el espárrago, el brócoli, la col de Bruselas, la zanahoria, el ajo, la lechuga, la cebolla de bulbo, el tomate y la espinaca, no es un aditivo apropiado para alimentos. Son et al (2001), encontraron que el ácido oxálico mostró inhibición no competitiva de la PPO de la alcachofa e inhibición competitiva en apio.

Los tratamientos con choques térmicos suaves constituyen un nuevo método desarrollado para el control de las reacciones de pardeamiento. Saltveit (2002), afirma que la facilidad de aplicación del choque térmico a las hortalizas y la ausencia de residuos químicos peligrosos hacen de esta técnica una alternativa bastante atractiva para conservar los productos hortícolas precortados. Murata et al (2004) mostraron que el tratamiento con choque térmico es útil para prolongar la vida de almacenamiento de lechuga variedad Romana precortada, bloqueando la actividad de inducción de la enzima Fenilamina Amoniliasa (PAL), y la acumulación de compuestos fenólicos durante el almacenamiento y previene el pardeamiento del tejido. Moreira et al (2006), encontraron que los tratamientos suaves de calor a 50°C redujeron el pardeamiento enzimático en lechuga Romana.

Uso de atmósferas modificadas

Esta técnica de conservación de alimentos aplicable a frutas y hortalizas, enteras o precortadas, empacadas en películas plásticas con permeabilidad definida, se fundamenta en el cambio de las condiciones gaseosas iniciales alrededor del producto, bien sea por modificación inicial (atmósfera activa), o como consecuencia del metabolismo (atmósfera pasiva). El proceso de respiración de los productos hortofrutícolas modifica las condiciones atmosféricas iniciales, dicha actividad consume el Oxígeno presente en el aire produciendo dióxido de carbono y vapor de agua que cambian la atmósfera (Aaron, 1996)

Yahia et al (2001), afirman que las atmósferas modificadas (AM), se fundamentan en la aplicación de una atmósfera dentro del empaque conteniendo el producto con concentraciones bajas de O₂ y altas de CO₂. Este tipo de almacenamiento presenta grandes ventajas para el manejo de los productos hortícolas. Estas ventajas incluyen:

1. Retardan los procesos de maduración y senescencia, logrando alargar la vida de poscosecha.

2. Previenen y/o controlan algunos desordenes fisiológicos como el daño por el frío y el escaldado
3. Controlan o previenen enfermedades y pudriciones ocasionadas por microorganismos
4. Controlan el ataque de insectos
5. Conservan la calidad nutritiva de las frutas y hortalizas

Las atmósferas modificadas se emplean para el empaque, el transporte y el almacenamiento de diversos alimentos, entre ellos las frutas y hortalizas mínimamente procesadas.

Según Brown Stain (1997), el almacenamiento de lechuga en atmósferas con bajo contenido de O₂ (1 – 3%) a temperaturas de 0 – 5°C presenta beneficios en la vida de anaquel de la hortaliza. Las atmósferas con bajo contenido de O₂ reducen la velocidad de respiración y los efectos negativos del etileno.

El envasado en atmosferas modificadas es un proceso dinámico en donde el envase cerrado interactúa con el producto para finalmente alcanzar un equilibrio con la atmosfera gaseosa interna que reducirá la velocidad de respiración, la sensibilidad al etileno y la pérdida de peso (por transpiración) así aumentará la fase de latencia del desarrollo microbiológico (Hotchkiss, 1998).

Galvis et al., (1995) afirman que la mezcla de los gases depende de la naturaleza del producto y de sus principales formas de deterioro. En las composiciones atmosféricas utilizadas en la conservación de las frutas y las hortalizas mínimamente procesadas, el oxígeno se mantiene en concentraciones bajas (1-5%) reduciendo de esta forma el ritmo respiratorio del producto a la vez que disminuye o evita el desarrollo de microorganismos aerobios.

Lee et al., (1995) concluyeron que las concentraciones inferiores al 8% de O₂ reducen la producción de etileno, retrasando la maduración del producto, así mismo su influencia en la inhibición del pardeamiento enzimático. Sin embargo niveles de O₂ excesivamente bajos (\leq 1%), pueden favorecer procesos fermentativos que van acompañados de destrucción de los tejidos y generación de sabores extraños en el producto, además de favorecer el desarrollo de microorganismos patógenos (Zagory et al, 1997).

Mezclas de gases

El uso de gases supone el cambio de la atmósfera que rodea a los alimentos por aire con una composición distinta a la del aire normal, usualmente se reduce el contenido de oxígeno y se aumenta el contenido de CO₂. Los métodos que se utilizan para ello son los de flujo de gas (métodos de barrido) y la evacuación seguida de introducción de gas nuevo. (Artés, 2000).

En el envasado en atmósfera modificada la composición de la mezcla se controla a través de la selección adecuada de las propiedades de permeabilidad del material utilizado (Wiley R. C.1997).

El Dióxido de Carbono (CO₂) es un inhibidor del desarrollo de las bacterias aeróbicas. Su efecto bacteriostático se logra cuando está disuelto en la superficie de los alimentos. Al aumentar la temperatura del alimento se disminuye su solubilidad (Schlimme D., Rooney M., 1997). El CO₂ actúa alargando la fase vegetativa del crecimiento microbiano. El dióxido de carbono no es totalmente inerte y puede influir sobre el color, la consistencia y otros atributos de la calidad de las hortalizas.

El Monóxido de carbono (CO) se usa en niveles del 1%; inhibe levaduras y mohos, igualmente previene el marchitamiento en poscosecha de frutas y hortalizas. Sin embargo existen problemas de seguridad con este gas, por ello su uso no es muy común. (Wiley, 1997)

El Dióxido de azufre (SO₂) es un gas muy conocido por su efectividad frente a mohos, levaduras y bacterias. Sin embargo los sulfitos están prohibidos en frutas y hortalizas, por su toxicidad. (Wiley, 1997)

El Nitrógeno (N₂) se usa como un gas que rellena las cavidades y compensa la diferencia de presión en el interior y exterior de la película, en aquellos casos en los que el producto absorbe CO₂. (Schlimme D., Rooney M., 1997)

3.8 Estabilidad microbiológica

La condición microbiológica de los productos mínimamente procesados, la composición y las propiedades fisicoquímicas y las operaciones de procesamiento son importantes porque ellos determinan las fuentes de contaminación durante el almacenamiento. En este sentido, la microflora inicial de los productos mínimamente procesados, compuesta principalmente por hongos, es generalmente sustituida por bacterias.

Las frutas y hortalizas precortadas con pH mayores a 4,6 y aw mayor a 0,85 son altamente perecederas cuando ellas no son sometidas a procesos de preservación que retardan cambios indeseables tanto biológicos como bioquímicos.

Hortalizas como la zanahoria, la lechuga y el tomate presentan alta aw y generalmente tienen valores altos de pH, por lo tanto la acidificación de la superficie del producto precortado es recomendada para asegurar su inocuidad frente al daño por patógenos superficiales del alimento (vera et al, 2006).

4. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS MINIMAMENTE PROCESADOS

Una vez elaborados los productos mínimamente procesados y colocados en empaques plásticos flexibles o rígidos, se procede al almacenamiento que bien puede ser refrigerado (se recomienda temperaturas entre 2 y 4°C) y/o en atmósferas modificadas.

4.1 Almacenamiento de lechuga verde crespa con aplicación de antioxidantes

A continuación se presenta el comportamiento químico, bioquímico y sensorial presentado durante el almacenamiento a 4°C de lechuga verde crespa mínimamente procesada tratada con dos tipos de antioxidantes (Acido ascórbico en concentración de 150 y 300 ppm, Acido Cítrico en concentración de 250 y 500 ppm) y Aplicación de tratamiento térmico (Agua a 45 y 55°C), embolsadas en empaque BOPP; en todos los tratamientos la inmersión se hizo por un tiempo de 90 segundos (Acosta et al, 2010).

Cambios químicos

Contenido de sólidos solubles (°Brix)

La figura 22 muestra el comportamiento de los °Brix durante el almacenamiento de la lechuga verde crespa. La lechuga se caracteriza por tener un valor bajo de °Brix. La tendencia general de las hojas en la lechuga verde crespa fue a disminuir, a excepción de los trozos provenientes del tratamiento con ácido ascórbico en concentración de 150ppm empacado en película BOPP donde el contenido de sólidos se mantuvo. La disminución de los °Brix es el comportamiento que presentan la mayoría de las hortalizas de hoja durante el almacenamiento, debido a que los azúcares son consumidos en el proceso respiratorio. El análisis estadístico no mostró diferencias altamente significativas entre las tiras de los seis tratamientos durante el almacenamiento (12 días).

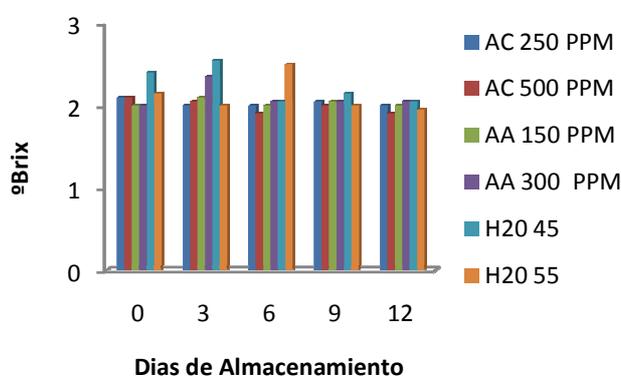


Figura 22. Variación del contenido de sólidos solubles (°Brix) de la lechuga verde crespaminimamente procesada durante el almacenamiento.

Contenido de acidez

La variación del contenido de acidez de las lechugas provenientes de todos los tratamientos fue mínima a lo largo del almacenamiento (Figura 23). El comportamiento presentado por las lechugas en el presente estudio indica que los tratamientos de antioxidantes aplicados y la temperatura de almacenamiento afectaron la actividad de las enzimas hidrolasas, responsables de la degradación de los ácidos. Se puede afirmar que los tratamientos aplicados favorecieron la conservación de la hortaliza respecto al porcentaje de acidez. La menor variación la presentaron los trozos provenientes del tratamiento con ácido cítrico en concentración de 500 ppm.

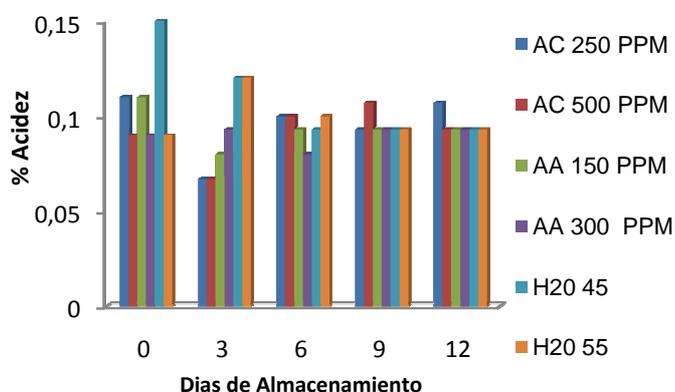


Figura 23. Variación del contenido de acidez (% acidez) de la lechuga verde crespa mínimamente procesada durante el almacenamiento.

Cambios bioquímicos

Contenido de Acido Málico

El Acido Málico fue el ácido predominante en las lechugas. Los trozos provenientes de los diferentes tratamientos presentaron disminución de este ácido durante el almacenamiento (figura 24); este comportamiento es el esperado ya que los ácidos son consumidos principalmente durante el proceso respiratorio en el ciclo de Krebs. La mayor pérdida la presentaron las lechugas provenientes del tratamiento con agua a 45°C y 55°C. La menor pérdida se presentó en los trozos provenientes del tratamiento con Acido cítrico a 500 ppm. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que ninguno de los tratamientos bloqueó la actividad de la enzima malato hidrogenasa, responsable de la hidrólisis del ácido málico. El ANAVA mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos. La prueba de comparación de Tukey mostró diferencias significativas entre el tratamiento con ácido cítrico en concentración de 500 ppm y los demás tratamientos.

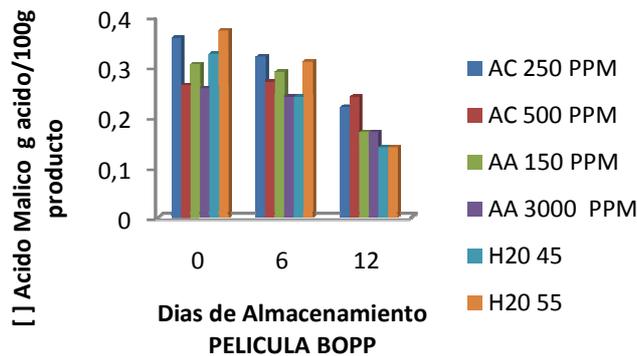


Figura 24. Variación de la concentración de Acido Málico de lechuga verde cresa provenientes de los tratamientos.

Contenido de Acido Cítrico

El contenido de ácido cítrico de la lechuga es muy bajo comparado con otras hortalizas. Los valores encontrados para los ácidos junto con el porcentaje de acidez, explican el sabor insípido de esta hortaliza. En todos los tratamientos se presentó disminución en el día doce respecto al día cero (figura 25), como era de esperarse. En el tratamiento de inmersión en agua a 45°C los trozos presentaron el menor valor al final del almacenamiento, por el contrario las lechugas provenientes del tratamiento con ácido cítrico en concentración de 500 ppm presentaron la menor pérdida. Hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos. Se presentaron diferencias significativas entre el tratamiento con ácido cítrico en concentración de 500 ppm y los demás tratamientos en los días seis y doce según la prueba de Tukey.

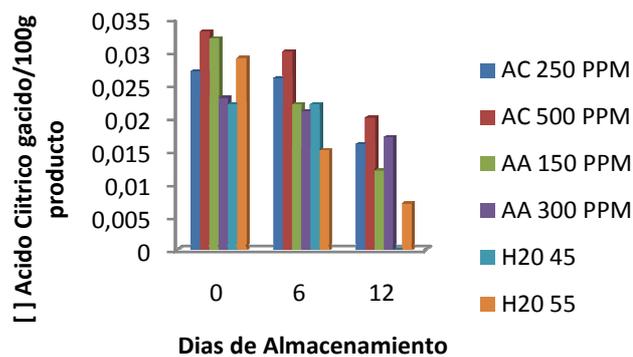


Figura 25. Variación de la concentración de Acido cítrico de lechuga verde cresa provenientes de los tratamientos

Análisis Sensorial

Se realizó, en el día 6 y 12 de almacenamiento, con el fin de evaluar la calidad de la lechuga mínimamente procesada sometida a los seis tratamientos. Se utilizaron 10 panelistas semientrenados para examinar la apariencia general, olor, sabor, color y textura de las tiras. Se empleó una escala hedónica 1 a 5, en donde el grado de gusto o disgusto se expresó así:

1 = Pésima 2 = Regular 3 = Moderada 4 = Buena 5 = Excelente

La tabla 6, presenta los resultados obtenidos del análisis sensorial.

Tabla 6. Calificaciones de las características sensoriales de la lechuga verde crespa mínimamente procesada tratada con antioxidantes y almacenada a 4°C por doce días

	COLOR		OLOR		SABOR		TEXTURA		APARIENCIA	
	6	12	6	12	6	12	6	12	6	12
TRATAMIENTO										
AC 250 ppm	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
AC 500 ppm	5	4	4	4	4	4	3	3	4	4
AA 150 ppm	3	1	4	2	3	1	3	2	2	1
AA 300 ppm	4	2	4	3	3	2	4	3	2	2
H ₂ O 45°C	4	3	4	3	4	2	4	3	3	2
H ₂ O 55°C	2	1	2	2	2	1	3	1	1	1

Las mayores calificaciones fueron obtenidas por las lechugas provenientes del tratamiento con ácido cítrico en concentración de 500 ppm, seguidas por las tiras del tratamiento con ácido cítrico a 250 ppm, los valores más bajos fueron los correspondientes a los tratamientos con agua a 55°C, en el cual se observa que desde el día seis la calificación fue de regular, obteniendo valores de pésimo en el día doce en los atributos de color, sabor, textura y apariencia. El estado general de la hortaliza proveniente del tratamiento con ácido cítrico (500 ppm) y con agua a 55°C se observa en la figura 26.

De este trabajo se concluye que el mejor tratamiento antioxidante y que conserva las características organolépticas de la lechuga verde crespa mínimamente procesada es el de inmersión en solución de ácido cítrico en concentración de 500 ppm en un tiempo de 90 segundos. El tratamiento con agua a 45°C no fue efectivo

en la conservación de la hortaliza y la inmersión en agua a 55°C ocasionó los daños más graves.



Figura 26. Apariencia general de Lechuga verde crespa en el día doce de almacenamiento (a) Acido Cítrico 500 ppm (b) Agua a 55°C

4.2 Almacenamiento de lechuga morada crespa en atmósfera modificada

El estudio del comportamiento físico, químico y sensorial de lechuga morada crespa mínimamente procesada, tratada previamente con ácido cítrico en concentración de 500 ppm, almacenada durante quince días a 4°C y H.R. 90%, en atmósferas modificadas (Tabla 7), realizado por Sánchez et al (2010), se presenta a continuación:

Tabla 7. Tratamientos de atmósferas modificadas aplicados a la lechuga morada crespa mínimamente procesada.

Tratamiento	Concentración de atmosfera	Tipo de Empaque
T1	5% O ₂ - 5% CO ₂ – 90% N ₂	BOPP/PEBD
T2	5% O ₂ - 5% CO ₂ – 90% N ₂	PET
T3	3% O ₂ - 5% CO ₂ – 92% N ₂	BOPP/PEBD
T4	3% O ₂ - 5% CO ₂ – 92% N ₂	PET
T5	Testigo: atmósfera normal, empaque PEBD	

El proceso de elaboración se realizó siguiendo el diagrama de flujo mostrado en la figura 19. La tabla 8 presenta los valores medios de las variables químicas alcanzadas por la hortaliza durante el almacenamiento en atmósfera modificada.

Tabla 8. Valores promedio de las características químicas de la lechuga morada crespa mínimamente procesada

Característica	Día	T1	T2	T3	T4	T5
pH	0	6,1	5,9	6,1	6,1	6,2
	5	6,0	5,9	5,9	5,9	6,2
	10	6,1	6,0	5,9	5,8	6,4
	15	6,1	6,2	6,2	6,2	6,4
Sólidos solubles	0	3,3	3,4	3,5	3,5	3,3
	5	3,2	3,1	3,3	3,1	3,2
	10	3,0	3,0	3,0	2,8	3,0
	15	3,0	3,1	3,0	3,0	3,0
Porcentaje acidez	0	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11
	5	0,11	0,10	0,11	0,11	0,12
	10	0,09	0,10	0,11	0,10	0,12
	15	0,07	0,08	0,07	0,08	0,09

Cambios químicos

El pH de los trozos de lechuga aumentó en todos los tratamientos; siendo mayor en las lechugas testigo. Comportamiento contrario presentó el porcentaje de acidez, el cual disminuyó en todos los tratamientos. Con relación a los sólidos solubles en las lechugas de todos los tratamientos se presentó disminución siendo mayor en las lechugas testigo. El comportamiento presentado era de esperarse debido a que los azúcares y los ácidos son consumidos en el proceso respiratorio.

Pérdida de peso

Respecto a la pérdida de peso en la figura 27 se observa la influencia tanto de las atmósferas como del empaque en este parámetro. Las lechugas provenientes del tratamiento testigo fueron las que presentaron las mayores pérdidas de peso. Este comportamiento era de esperarse ya que en este tratamiento la atmósfera que rodea el producto es la normal y el empaque permite una mayor transpiración y respiración del producto.

Al comparar los tratamientos T1 y T2 (que tienen igual mezcla de gases) se observa que en el tratamiento T2 hubo mayor pérdida de peso debido a que el empaque PET es más permeable que el empaque BOPP. Al comparar los tratamientos T3 y T4 (donde la mezcla de gases es igual), el comportamiento fue

similar. El tratamiento T4 (empaque PET) presentó mayor pérdida de peso que el tratamiento T3.

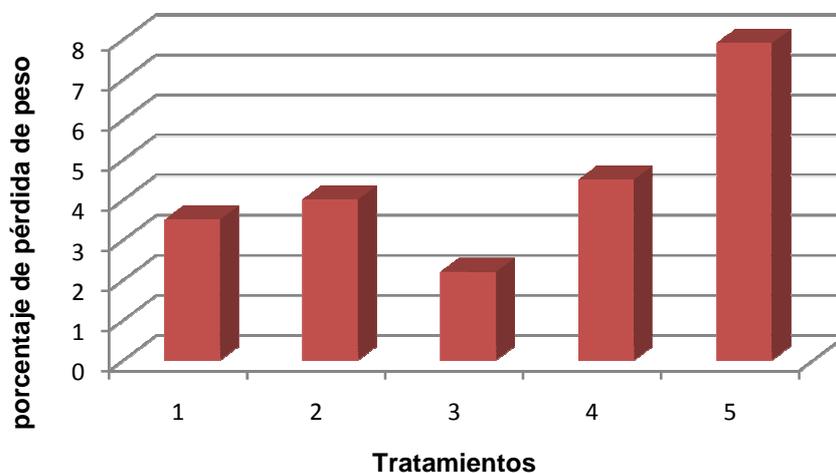


Figura 27. Porcentaje de pérdida de peso de la lechuga morada crespita mínimamente procesada, para los cinco tratamientos

Con relación a la mezcla de gases, si se comparan las pérdidas de peso en las lechugas de los tratamientos T1 y T3, empacadas en la película BOPP, en el tratamiento T3 se presentó menor pérdida de peso respecto al tratamiento T1, lo cual puede explicarse si se tiene en cuenta que las tiras de lechuga del tratamiento T3 fueron sometidas a una mezcla de gases donde el contenido de O_2 es menor que las lechugas del tratamiento T1; idéntica conclusión se puede hacer al comparar los tratamientos T2 y T4.

Cambios bioquímicos

Acido Málico

Este ácido fue el predominante en la lechuga morada crespita; se presentó disminución a lo largo del almacenamiento en las lechugas procedentes de todos los tratamientos (figura 28). La menor disminución la presentaron las tiras provenientes del tratamiento T4 (3% O_2 , 5% CO_2 , 92% N_2 colocadas en empaque PET) y la mayor disminución se encontró en las lechugas del tratamiento T1 (5% O_2 , 5% CO_2 , 90% N_2 BOPP/PEBD).

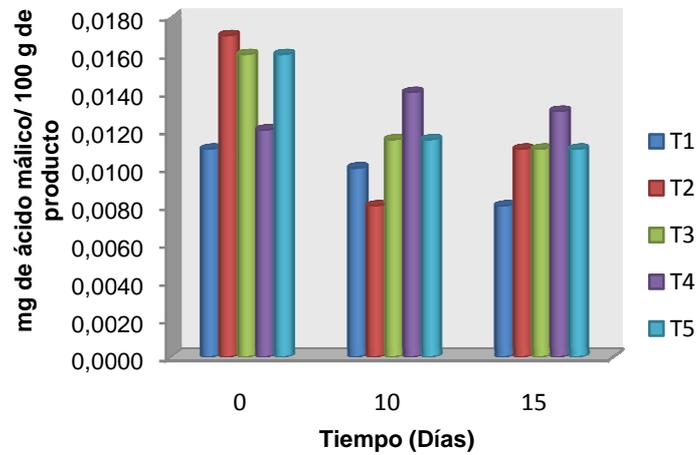


Figura 28. Variación del ácido málico de la lechuga morada crespa mínimamente procesada almacenada en atmósfera modificada.

Acido cítrico

Al igual que el ácido málico hubo disminución a lo largo del almacenamiento en las lechugas procedentes de todos los tratamientos. La mayor disminución la presentaron las tiras provenientes del tratamiento T5, mientras que la menor disminución la presentaron las lechugas provenientes del tratamiento T4 (figura 29), la aplicación de las atmósferas modificadas influyó en la menor degradación de este ácido.

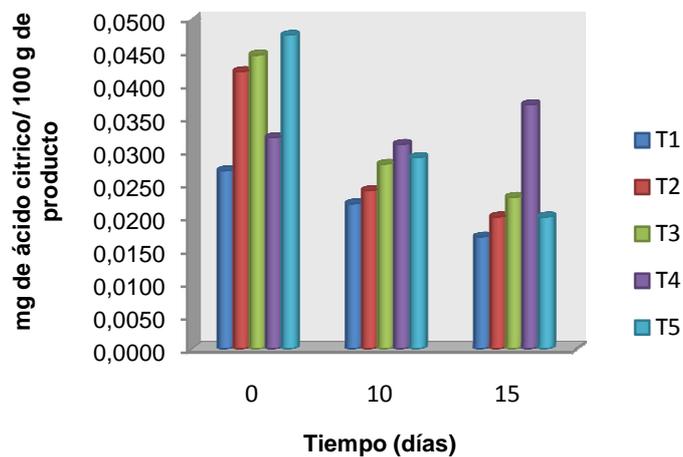


Figura 29. Variación del ácido cítrico de la lechuga morada crespa mínimamente procesada almacenada en atmósfera modificada.

Cambios de color

Los parámetros que describen el cambio de color (a^* y b^*) y el brillo (L^*) determinados por el método de imagen digital por transformación a los valores de L^* , a^* y b^* a través del software Image J, aumentaron en las lechugas provenientes de los diferentes tratamientos (Figura 30).

El brillo L^* aumentó en las lechugas testigos y en las sometidas a Atmósfera Modificada, el mayor aumento lo presentaron las tiras provenientes del tratamiento T2 y el menor las lechugas del tratamiento testigo. El comportamiento presentado indica que las atmósferas modificadas conservan el brillo de la lechuga en mayor intensidad que la atmósfera normal. En el comportamiento de la hortaliza también influyó la baja temperatura de almacenamiento ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$).

El parámetro a^* que corresponde al color rojo oscuro de la hoja de lechuga también se intensificó durante el almacenamiento, este comportamiento puede estar relacionado con la pérdida de peso. Al migrar el agua desde el interior de la hoja hay concentración de los pigmentos, esto explica porque las lechugas testigo que presentaron la mayor pérdida de peso también presentaron la mayor intensidad respecto al color rojo. Por el contrario las tiras provenientes del tratamiento T3 las cuales presentaron la menor pérdida de peso igualmente mostraron la menor variación en la intensidad del rojo.

El parámetro b^* que indica la intensidad de los pigmentos amarillos también aumentó aunque visualmente no fueron detectados, en las lechugas provenientes de todos los tratamientos. El comportamiento fue similar al presentado por la lechuga respecto al parámetro a^* . Los testigos mostraron mayor intensidad de este parámetro y las lechugas provenientes del tratamiento T3 (menor contenido de O_2 dentro del empaque) la menor variación.

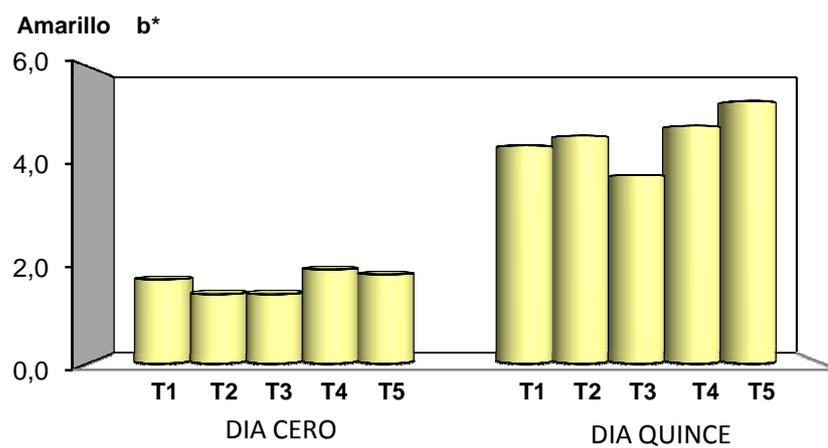
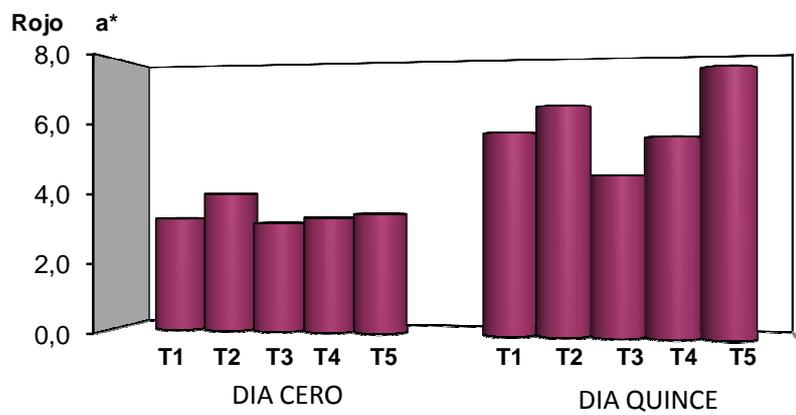
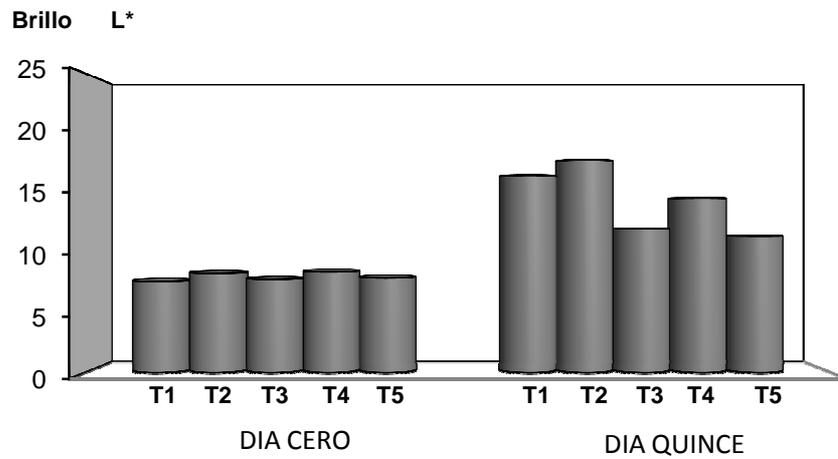


Figura 30. Variación del brillo (L*), color rojo (a*) y amarillo (b*) durante el almacenamiento de lechuga morada crespa mínimamente procesada en AM

Análisis sensorial

En la tabla 9 se resumen los valores alcanzados en los atributos sensoriales para las tiras de lechuga provenientes de los diferentes tratamientos en los días 10 y 15 de almacenamiento.

Tabla 9. Calificaciones de las características sensoriales de la lechuga morada crespa mínimamente procesada almacenada en atmósfera modificada a 4°C por quince días

		COLOR		OLOR		SABOR		TEXTURA		APARIENCIA	
TRATAMIENTO	DIA	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15
	T1 (5% O ₂ - 5% CO ₂ – 90% N ₂) BOPP/PEBD		5	4	5	4	5	4	5	4	5
T2 (5% O ₂ - 5% CO ₂ – 90% N ₂) PET		5	4	5	4	5	3	5	3	5	4
T3 (3% O ₂ - 5% CO ₂ – 92% N ₂) BOPP/PEBD		4	3	5	2	5	1	4	2	4	3
T4 (3% O ₂ - 5% CO ₂ – 92% N ₂) PET		4	3	5	3	4	2	4	3	4	2
T5 Testigo (Atmósfera normal) PEBD		3	2	4	3	4	1	3	2	2	1

1 = Pésima 2 = Regular 3 = Moderada 4 = Buena 5 = Excelente

Las mejores calificaciones fueron obtenidas por las lechugas provenientes del tratamiento T1 (5% O₂, 5% CO₂, 90% N₂ empacadas en BOPP/PEBD), seguidas por los trozos provenientes del tratamiento T2 (5% O₂, 5% CO₂, 90% N₂ empacadas en PET).

Las tiras de lechuga provenientes del tratamiento T3 obtuvieron calificaciones muy bajas el día 15, debido a la baja concentración de O₂ y la baja permeabilidad del empaque BOPP. Por el contrario las lechugas provenientes del tratamiento T4 aunque se almacenaron en la misma atmósfera del tratamiento T3, presentaron calificación más alta atribuida a la permeabilidad del empaque PET.

De acuerdo con los resultados obtenidos respecto al comportamiento de las variables analizadas, se puede concluir que el mejor tratamiento para la conservación de la lechuga morada crespa mínimamente procesada y almacenada en atmósfera modificada fue el tratamiento T1 (5% O₂, 5% CO₂, 90% N₂ y BOPP/PEBD). En este tratamiento la lechuga conservó sus características fisicoquímicas y sensoriales durante los 15 días de almacenamiento. Las bajas concentraciones de O₂ son perjudiciales para la conservación de la hortaliza, debido a que se pueden inducir condiciones anaerobias que perjudican características como el sabor y el olor.

BIBLIOGRAFIA

Acosta, L., B., Mongui, J., A. 2010. Control del pardeamiento enzimático en lechuga (*lactuca sativa*) verde crespa mínimamente procesada mediante la aplicación de antioxidantes. Trabajo de grado: Ingeniería de Alimentos, Fundación Universitaria Agraria de Colombia – UNIAGRARIA. 109 Páginas.

Artés, F., 2006. El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortifrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Vol 2 pag: 15-22

Arzú, Altunkaya, 2008. Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). Food Chemistry Vol. 107 pag. 1173–1179

Ave, K., Tanase, M. & Chachin, K., 1998. Studies on Physiological and chemical changes of fresh-cut bananas. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. Vol :67 pages: 123-129.

Ahvenainen, R., 1996. New approaches in improving the shelf – life of minimally processed fruit and vegetables. Trends Food Science Technology vol: 7 pages: 179-187.

Asociación Hortifrutícola Colombiana- ASOHOFRUCOL., 2008. Hortalizas: cultivo de la lechuga. Vol 7.

Baldwin, E.A., Nispero-Carriedo, M.O. & Baker, R.A., 1995. Use of edible coating to preserve quality of lightly processed products. In: critical Reviews in Food Science and Nutrition. Vol 35 pages. 509- 524.

Blancard, D., Lot, H., Maisonneuve, B., 2005. Enfermedades de las lechugas. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España 2ª edición, 375 páginas.

Brown Stain 1997. Plagas y enfermedades de la lechuga. España Madrid Parte II, Pág. 57

Cantwell, M. 2002. The dynamic fresh cut sector of the horticultural industry. In: Encontro Nacional sobre processamento de frutas e hortaliças, 2. Vicosa. Palestra: Universidade federal de Vicosa. Pages: 147-155.

Chiesa, A., Monaco, E., Trincherò, G., Faschina, A., 2005. Selección de películas poliméricas para su empleo con lechuga en atmósfera modificada. RIA Vol. 34. Nº 1. Pages: 59 – 70. INTA. Argentina.

Davis, R.M., Subbarao, K.V., Raid, R.N., Kurtz, E.A., 2002. Plagas y enfermedades de la lechuga. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 2ª edición, 79 páginas.

Galvis, J. A., 2010. Cosecha e Índices de cosecha de la lechuga. Proyecto de investigación: Desarrollo Tecnológico para la conservación de Lechuga, Tomate y Zanahoria precortados. Informe Técnico. 20 páginas.

Galvis, J.A., Arjona, H., Fischer, G. and Martinez, R., 2005. Using modified atmosphere packaging for storing Van Dike Mango (*manguijera Indica L*). In. Agronomía Colombiana. Vol. 23. Nº 2.

Galvis, J.A., Arjona, H., 2000. Influencia de la temperatura y el tiempo de almacenamiento en la conservación del mango (*manguijera Indica L*) Variedad van Dyke. En: Memorias 2º Congreso Iberoamericano de Tecnología poscosecha y agroexportaciones. Vol. 3. Páginas: 79 – 86.

Gonzalez, R., 2004. Aplicación de Antioxidantes naturales en la conservación de lechuga. Tesis de maestría Universidad de Santiago de Chile, 75 páginas.

Hotchkiss, J.H., Banco, M.J., 1992. Influence of new packaging technologies on the growth of microorganisms in produce. Journal Food Protection. Vol. 55, Pages: 815–820.

Izumi, H., and Watada, A.E., 1995. Calcium treatment to maintain quality of zucchini squash slices. Journal Food Science. Vol. 60. Pages 789 – 793.

Kader, A.A., 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California Agriculture and natural Resources. Publication 3311. Third Edición, 535 pages.

Kavrayan, D., & Aydemir, T. (2001). Partial purification and characterization of polyphenoloxidase from peppermint (*Mentha piperita*). Food Chemistry, Vol. 74 Nº 2, Pages: 147–154.

Lana, M. M., Tijssens, L.M.M. and Van Kooten, O. 2005. Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. Postharvest Biol. Technol. Vol. 35, Pages: 87–95.

Lee L, Arul J, Lencki R, Castaigne F. 1996. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: physiological basis and practical aspects - part 2. Packaging Technology Science, 9:1-17.

Liu, Yong Biao, 2007. Ultralow oxygen treatment for postharvest control of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), on iceberg

lettuce: II. Effects of pre-treatment storage on lettuce quality. *Postharvest Biology and Technology* Volume 49, Issue 1, July 2008, Pages 135-139

Loaiza – Velarde, J. G., Tomás – Barderán, F.A. and Salveit, M.E., 1997. Effect of intensity and duration of heat – shock treatments on wound – induced phenolic metabolism in iceberg lettuce. *Journal American Society Horticultural Science*. Vol 122. Page 873 – 877.

Luna Guzman, I.; Barret, D.M., 2000, Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 19, pages: 61 – 72.

Martin D., Rico A. B., D., Barry R., Mulcahy C., Frias J., and Henehan, G. T. M. 2005. Effect of heat shock on browning-related enzymes in minimally processed iceberg lettuce and crude extracts. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, Vol. 69 N^o9, Pages: 1677 –1685.

Mattos, L.M., Moretti, C.L., Chitarra, A.b., Prado, M.E., 2007. Qualidade de alface Crespa minimamente processada armazenada sob refrigeracao em dois sistemas de embalagem. *Horticultura Brasileira*. Vol 25, No 4 pages 55-66.

Moreira, M., Ponce, A., del Valle, C., R. Ansorena and Roura, S.I., 2006. Effects of abusive temperatures on the postharvest quality of lettuce leaves: ascorbic acid loss and microbial growth. In: *Journal of Applied Horticulture*, Vol. 8 N^o 2. Pages: 109 – 113.

Murata, M., Tanaka, E., Minoura, E., and Homma, E., 2004. Quality of cut lettuce treated by heat shocks: Prevention of enzymatic browning, repression of phenylalanine ammonia-lyase activity and improvement on sensory evaluation during storage. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, Vol. 68 Pages: 501–507.

Pereyra, L., Roura, S. I., and Del Valle, C. E., 2005. Phenylalanine ammonia lyase activity in minimally processed Romaine lettuce. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technology*, Vol. 38, pages: 67–72.

Roura, S.I., Pereyra, L., Del Valle, C.E., 2008. Phenylalanine ammonia-lyase activity in fresh cut lettuce subjected to the combined action of heat mild shocks and chemical additives. *Science Direct*. Vol 41, pages: 919-924.

Roura, S.I., Moreira, M.R., Ponce, A., Del valle, C. 2003. Dip treatments for fresh Romaine lettuce. *Journal Food Science* Vol 3 No 5, pages: 405-415.

Salveit, M.E., 2000. Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock: *Postharvest Biology and Technology*. Vol 21, pages: 61-69.

Salunkhe, D.K., Deshpande, S.S., 2004. La lechuga. En tratado de Ciencia y Tecnología de las hortalizas. Editorial Acribia. Zaragoza (España) Páginas: 505-522.

Sánchez, J., W., Andrade, M., A., 2010. Estudio de la influencia de la atmósfera modificada en la conservación de lechuga verde crespa y morada crespa (*Lactuca sativa*) mínimamente procesada. Trabajo de grado: Ingeniería de Alimentos, Fundación Universitaria Agraria de Colombia – UNIAGRARIA. 95 Páginas.

Sapers, G. M., and Miller, R. L., 1998. Browning inhibition in fresh – cut pears. Journal Food Science. Vol 63. Page: 342 – 346

Schlimme, D.; Rooney, M., 1997. Envasado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. En: Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Wiley R. Ed. Acribia, Zaragoza. España. 137-178.

Senessi, E. and Galvis, J. A., 1999. Quality indexes and internal atmosphere of packaged fresh- cut pears (abate fetel and kaiser varieties). Italian Journal Food Science. Vol 11. N°2. Pages: 35 – 39.

Soliva – Fortuny, R. C., and Beloso, O.M., 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh –cut fruits: a review Trends in Food Science & technology. Vol 14 pages: 341-353.

Son, S. M., Moon, K. D., and Lee, C. Y., 2001. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. Food Chemistry, Vol. 73 N° 1, Pages: 23–30.

Tickes et al, 1996. Lettuce Injury from preplant and preemergence herbicides. Arizona University. In: Plagas y enfermedades de la lechuga. Ediciones Mundi-prensa.

Wiley, R.C. 1997. Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Editorial Acribia. Zaragoza (España). 362 páginas.

Yahia, E., Arias, R., 2001. Uso de atmósferas modificadas y atmósferas controladas en la conservación de frutas y hortalizas. En: Revista Extra. México. Páginas 80 – 88

Yoruk, R., Yoruk, S., Balaban, M. O., and Marshall, M. R., 2004. Machine Vision Analysis of antibrowning potency for oxalic acid: a comparative investigation on banana and apple. Journal of Food Science, Vol. 69 N° 6, Pages: 281–289.

Zagory D. 1997. Principles and practice of modified atmosphere packaging of horticultural commodities. In: Farber JM, Dodds KL, editors. Principles of modified-

atmosphere and sous-vide product packaging. Lancaster, PA: Technomic Publishing Co Inc. p 175-204.

Páginas Web consultadas

www.agronet.gov.co,

<http://www.infoagro.com/hortaliza>

<http://www.ecoargentina.org/fotos/lechuga1.jpg>

<http://faostat.fao.org>

<http://www.nalusda.gov/fnic/cqi-bin/nutsearchpl>