

Este manual es uno de los productos derivados del proyecto “VALIDACIÓN DE CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO DE CEBOLLA EN ATMÓSFERAS CONTROLADAS EN LA REGIÓN CENTRO SUR DE CHIHUAHUA” del Ejercicio 2013 y financiado por Fundación Produce Chihuahua A. C



[www.ciad.mx](http://www.ciad.mx)

FUNDACION  
**PRODUCE**  
CHIHUAHUA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y  
DESARROLLO A.C UNIDAD DELICIAS



# MANUAL DE ALMACENAMIENTO DE CEBOLLA EN ATMÓSFERAS CONTROLADAS

**1 Celia Chávez Mendoza**

**2 Misael Odin Vega García**

**3 Alexandro Guevara Aguilar**

**4 Rolando Hernández Sigala**



# MANUAL DE ALMACENAMIENTO DE CEBOLLA EN ATMÓSFERAS CONTROLADAS

**PUBLICACIÓN PARA PRODUCTORES**

<sup>1</sup>Celia Chávez Mendoza

<sup>2</sup>Misael Odín Vega García

<sup>1</sup>Alexandro Guevara Aguilar

<sup>1</sup>Rolando Hernández Sigala

---

<sup>1</sup>CIAD Unidad Delicias.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa.

Diseño y formación de la obra:

**Celia Chávez-Mendoza**

Corregida y Editada:

**Misael Odín Vega García y Fundación Produce Chihuahua A.C**

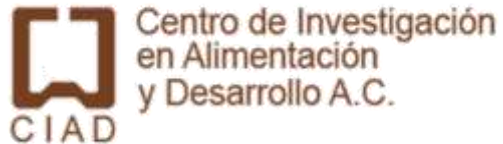
ISBN: 978-607-7900-18-4



1ª Edición Octubre 2015

Tiraje: 500 ejemplares

Propiedad de:



Avenida Cuarta Sur No. 3820.  
Fraccionamiento Vencedores del Desierto.  
Ciudad Delicias, Chihuahua, México. CP. 33089.

Impreso en México por:

Impresos P Ay CAR, Avenida 10ª Poniente No. 705 Cd. Delicias, Chihuahua, México.  
Tel. (639) 474-70-76.

**Reservados todos los derechos. No esta permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los autores o propietarios**

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	5
2.1 Tecnología de atmósferas controladas (AC).....	5
2.1.1 Porque almacenar frutas y hortalizas en atmósferas controladas.....	6
2.1.2 Ventajas del uso de las Atmósferas Controladas .....	7
2.1.3 Gases utilizados en las Atmósferas Controladas .....	8
2.2 Tecnología de Atmósferas Modificadas (AM) .....	9
2.3 Sistemas de almacenamiento en AC .....	10
2.4 Aplicación de las atmósferas controladas.....	13
2.5 Construcción y equipos necesarios para una cámara de AC.....	14
2.5.1 Necesidades para una cámara de AC. ....	16
2.5.2 Desventajas del uso de las Atmósferas controladas .....	30
2.5.3 Medidas de seguridad en el uso de AC .....	31
2.5.4 Procedimientos de operación generales para el manejo de cámaras de atmósfera controlada. ....	32
<b>3. CONSERVACIÓN DE CEBOLLA</b> .....	34
3.1 Criterios de calidad de la cebolla.....	35
3.2 Factores que afectan la conservación de la cebolla .....	40
3.3 Almacenamiento de cebolla en atmósferas controladas.....	43
3.3.1 Composición química de la cebolla.....	44
3.3.2 Índice de cosecha de la cebolla .....	45
3.3.3 Fisiología de la cebolla.....	45
3.3.4 Cosecha y curado de la cebolla. ....	45
3.3.5 Condiciones de almacenamiento de cebolla en atmósferas controladas.....	46
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	55

## 1. INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa*) botánicamente está incluida en la familia de las Liliáceas y las especies se encuentran en una amplia gama de latitudes y altitudes en Europa, Asia, Norteamérica y África (Griffiths *et al.*, 2002). De acuerdo al volumen de su producción, ocupa el segundo lugar entre las hortalizas que se cultivan a nivel mundial. En México para el año 2013 se sembraron 43561.98 hectáreas de cebolla y se produjeron 1, 270,059.51 toneladas (SIAP, 2013). De esta producción un 88% se destina al mercado en fresco y un 12% se utiliza para procesos de industrialización (SAGARPA-SIAP, 2003).

Chihuahua es el primer productor a nivel nacional, así como el Estado donde se obtienen los mayores rendimientos, en el 2013 se produjeron 237,402.65 toneladas contribuyendo con un 16.22% de la producción del país, siendo el municipio de Delicias el principal productor, seguido por Meoqui, Jiménez y Rosales (SIAP, 2013). La cebolla ocupa el segundo lugar de producción de hortalizas en el Estado, sin embargo, en el cultivo de este producto existe una marcada estacionalidad de la producción la cual se concentra en ciertas épocas del año debido a que a nivel nacional no existe un escalonamiento productivo lo que afecta seriamente los precios pagados al productor, quienes reciben precios muy bajos por su producto los cuales no son suficientes para cubrir los costos de producción lo que ocasiona severas pérdidas en el cultivo por lo que se requiere de nuevas alternativas que permitan conservar la calidad comercial de la cebolla hasta que las condiciones en el mercado sean más atractivas. El almacenamiento de la cebolla en atmósferas controladas (AC) se presenta como una opción hacia el productor para conservar su producción debido a que este es un proceso tecnológico avanzado en el que se cambia la composición atmosférica en el almacenamiento de productos hortofrutícolas frescos para incrementar su vida poscosecha dos o tres veces más comparada con los métodos tradicionales (Cerón-Carrillo y Rodríguez-Martínez, 2007).

Con el presente manual se pretende dar a conocer al productor información sobre el tema de las AC, que incluye sus ventajas, requerimientos y aplicaciones en general. Además de manera específica su uso y condiciones necesarias para la conservación del cultivo de cebolla.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Tecnología de atmósferas controladas (AC)

La tecnología de atmósferas controladas (AC) consiste en almacenar frutas y hortalizas en una cámara de refrigeración en la que se sustituye la atmósfera inicial o normal caracterizada por una concentración de 20.95% de oxígeno ( $O_2$ ), 0.03% de bióxido de carbono ( $CO_2$ ) y 78.09% de Nitrógeno ( $N_2$ ) por una atmósfera más pobre en oxígeno y más rica en  $CO_2$ , manteniendo un control preciso de las concentraciones de dichos gases durante el almacenamiento o transporte (Graell y Ortiz, 2003). La composición del aire se ajusta en base a los requerimientos del producto que se esté almacenando y el cambio de la atmósfera se logra mediante ciertos dispositivos como generadores de nitrógeno, absorbedores de  $CO_2$  y etileno etc. En el interior de la cámara también se deben controlar las condiciones físicas del ambiente como son la temperatura, la humedad y la circulación del aire (Figura 1).

La AC es exitosa en el almacenamiento de frutas y hortalizas solamente cuando se combina con la refrigeración o bajas temperaturas. Por lo tanto, las unidades de refrigeración estandar son componentes integrales de los sistemas de almacenamiento en atmósferas controladas.

Esta técnica asociada al frío, reitera el efecto de la refrigeración sobre la actividad vital de los tejidos, evitando ciertos problemas fisiológicos y disminuyendo pérdidas por pudriciones. La acción de la atmósfera sobre la respiración del fruto es mucho más importante que la acción de las bajas temperaturas. La atmósfera controlada retrasa las reacciones bioquímicas provocando una mayor lentitud en la respiración y un retraso en la maduración, estando el fruto en condiciones latentes, con la posibilidad de una reactivación vegetativa una vez puesto el fruto en aire atmosférico normal.

Es deseable que la composición de la atmósfera creada se mantenga constante a lo largo del tiempo. Sin embargo, los cambios internos (reacciones metabólicas) de determinados productos consumen algunos gases (oxígeno) y generan otros (dióxido de carbono, etileno) que alteran esta composición inicial. Estas variaciones se detectan mediante dispositivos de control y se compensan con distintos mecanismos de

producción/eliminación de gases. En los envases de pequeñas dimensiones, destinados a la venta al detalle, no es posible implementar estos sistemas.

En la actualidad, las atmósferas controladas permiten la conservación de grandes cantidades de vegetales durante su almacenamiento y transporte.

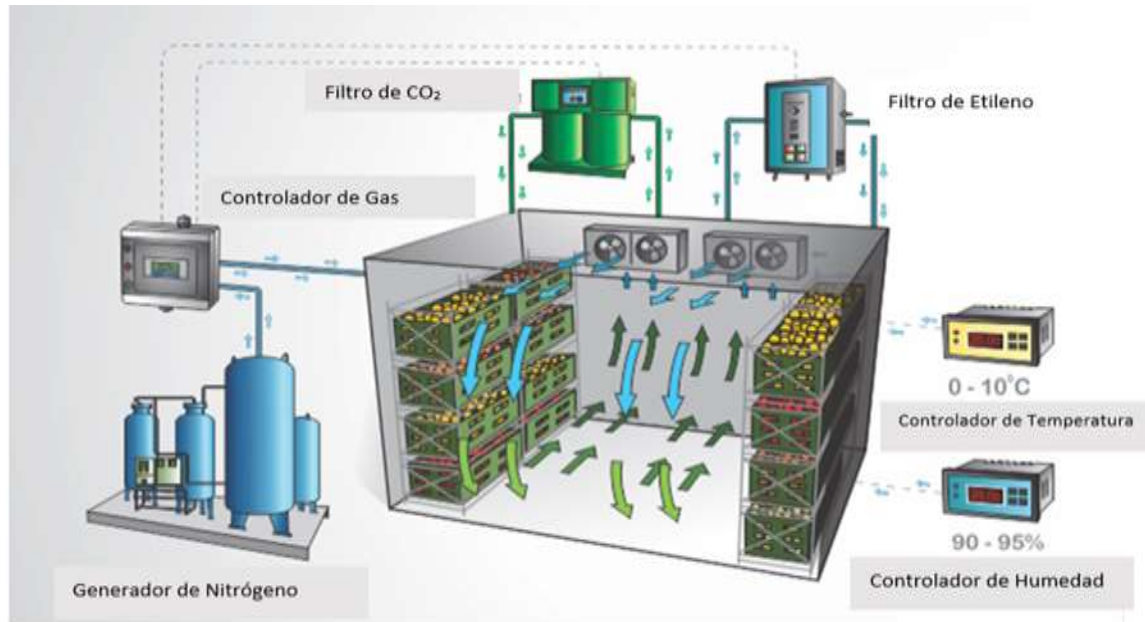


Figura 1. Esquema de una cámara de atmósferas controladas (Agroripe, 2015).

### 2.1.1 Porque almacenar frutas y hortalizas en atmósferas controladas

El fundamento científico para la aplicación de las AC en el almacenamiento de frutas y hortalizas ha sido sujeto de constante investigación y continua evolucionando, sin embargo, puede decirse que la aplicación de esta tecnología se basa en el hecho de que las frutas y hortalizas son organismos vivos, las cuales después de que son cosechadas siguen realizando distintos procesos biológicos dentro de sus células, como la respiración, transpiración y producción de etileno (hormona de la maduración de frutas y hortalizas) y si estos procesos no son controlados y progresan de forma excesiva provocan que los productos hortofrutícolas maduren rápidamente por lo que sus tejidos se ablandan y marchitan, reduciendo considerablemente su calidad. Con el uso de las AC se logra controlar estos procesos metabólicos por lo que se retarda el



proceso de maduración y senescencia (muerte) de los frutos y se mantiene su calidad nutricional y estado óptimo de maduración hasta su consumo (Kader, 1994).

### 2.1.2. Ventajas del uso de las atmósferas controladas

Las AC ofrecen diversas ventajas en el almacenamiento de frutas y hortalizas algunas de ellas se mencionan a continuación (Yahia, 1995b; Day, 1993; Farber, 1991):

- a) Aumentan la vida útil de los productos, incrementando el tiempo óptimo de conservación entre un 40 y 60 %, respecto de la conservación en atmósfera normal.
- b) Disminuyen mermas por pérdidas de peso y atrasan la maduración.
- c) Disminuyen cambios en la textura, retrasando el ablandamiento de los productos hortofrutícolas.
- d) Frenan los cambios en la composición de los productos asociados con la maduración.
- e) Reducen la degradación de la clorofila y oscurecimiento enzimático.
- f) Disminuyen desórdenes fisiológicos y daños por el frío, manteniendo el color y conservando las vitaminas de los productos frescos.
- g) Disminuyen el calor de respiración del fruto como consecuencia de la mínima intensidad respiratoria debido al bajo contenido en O<sub>2</sub> y la elevada concentración de CO<sub>2</sub>.
- h) Disminuyen alteraciones y pudriciones típicas por daño por frío durante su conservación en refrigeración a 0°C, ya que permite elevar temperaturas.
- i) Disminuyen o inhiben el proceso de oxidación de frutas y hortalizas deteniendo el deterioro de los alimentos.
- j) Tienen un efecto fungicida debido a la elevada concentración de CO<sub>2</sub>.
- k) Disminuyen la actividad enzimática la cual es causante de daño de los productos hortofrutícolas.
- l) Disminuyen la síntesis y acción del etileno. **El etileno** es la hormona responsable de la maduración y la senescencia o muerte en los vegetales. El oxígeno es necesario para su síntesis y acción. La baja concentración de O<sub>2</sub> en la AC reduce

la producción de esta hormona. La alta concentración de CO<sub>2</sub> también actúa como inhibidor competitivo de la acción del etileno compitiendo con sus receptores. Las AC también disminuyen la sensibilidad del producto al etileno.

- m) Ofrecen un control sobre patógenos o microbios causantes de daño. Las bajas concentraciones de O<sub>2</sub> (1%) y las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (10%) en las AC tienen un efecto fungistático y pueden controlar varios hongos y bacterias en los productos hortofrutícolas.
- n) Permiten el control de insectos. Las AC pueden controlar insectos y la mortalidad de estos depende del tipo de insecto, su estadio, la concentración de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub>.

### 2.1.3 Gases utilizados en las atmósferas controladas

Para cambiar la atmósfera normal a una controlada se requieren básicamente tres tipos de gases: oxígeno, bióxido de carbono y nitrógeno, los cuales se mezclan para lograr la concentración deseada.

1. **Oxígeno.** Una disminución en la cantidad de oxígeno en la atmósfera produce una reducción de la intensidad respiratoria y menor biosíntesis de etileno en las frutas y hortalizas (Graell y Ortiz, 2003).

**Nitrógeno.** Se utiliza para desplazar el oxígeno, por lo que disminuye el crecimiento de microorganismos aerobios de descomposición, así mismo, protege contra la oxidación de los alimentos (Parry, 1993). También se usa para balancear la atmósfera y lograr la concentración deseada en el interior de la cámara.

2. **Bióxido de carbono.** El aumento en el nivel de CO<sub>2</sub> disminuye la intensidad respiratoria e inhibe de la acción del etileno, esto reduce la actividad metabólica de los tejidos vegetales (en concentraciones medianas) los cuales entran en un estado de “adormecimiento”. También inhibe la actividad de los microorganismos (en concentraciones altas) (Graell y Ortiz, 2003; Yahia, 1995b).

## 2.2 Tecnología de atmósferas modificadas (AM)

En la conservación de frutas y hortalizas también se incluyen las **atmósferas modificadas (AM)**, las cuales consisten en empacar los productos en materiales con características de barrera a la difusión de los gases, en los que el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto (Ospina y Cartagena, 2008).

Las AM se diferencian de las AC en el grado de control de la atmósfera, en las AC las concentraciones de los gases son más precisas, tienen un sistema de control más exacto durante todo el periodo de almacenamiento y se usan para conservar alimentos por mucho tiempo en almacenes refrigerados y herméticos (Yahia, 1995b).

El empaque en AM reduce el paso de  $O_2$  hacia el producto, aumentando la concentración de  $CO_2$  dentro del empaque. También evita la acumulación de humedad en la superficie de la película de empaque y absorbe gases como el etileno, que es el principal acelerador de la maduración de frutas y hortalizas.

La aplicación tecnológica del empaque en AM puede realizarse en empaque individual, colectivo dentro de la caja y colectivo en pallets, en la Figura 2 se presenta un ejemplo del empaque dentro de la caja de espárragos y en la Figura 3 la aplicación de la atmósfera modificada colectiva en pallets.



**Figura 2.** Empaque colectivo de espárragos dentro de la caja (Fuente: Lyris, 2011a).



**Figura 3.** Empaque colectivo en pallets a) Fuente: FAO (1996). b) Fuente: Lyris (2011b)

## 2.3 Sistemas de almacenamiento en AC

Existen varios tipos de sistemas de almacenamiento en AC a continuación se describen algunos de los más utilizados.

### a) AC convencional (ACC)

En este sistema la fruta se almacena en condiciones herméticas y se permite que la misma cambie la atmósfera que la rodea debido al proceso de respiración, lo que ocasiona que la cantidad de oxígeno disminuya y la de CO<sub>2</sub> aumente hasta que se establece la atmósfera necesaria. Los niveles de los gases se deben monitorear todos los días y cuando se logren las concentraciones deseadas empieza el control de éstos. El nivel de O<sub>2</sub> se mantiene con la introducción de aire del exterior del cuarto y el nivel de CO<sub>2</sub> por remoción. En este sistema el tiempo en el que se logran las concentraciones deseadas puede ser muy largo. En manzanas por ejemplo, se necesitan alrededor de 10 días y en este tiempo la fruta puede seguir madurando (Yahia, 1995b).. En hortalizas como cebolla en la que la tasa de respiración es muy lenta puede que este sistema no funcione.

### **b) AC convencional rápida (ACR)**

En este sistema la atmósfera se genera inmediatamente después de que se sella la cámara. La concentración de oxígeno se reduce hasta los niveles deseados en menos de 2 días, mediante el empleo de nitrógeno o generadores de AC. Se lleva un control preciso de la concentración de los gases, temperatura y humedad relativa de la cámara a través de algunos aparatos analizadores. Es el sistema más utilizado actualmente de manera comercial durante el almacenamiento de manzana, pera y col (Yahia, 1995c) y de manera experimental se ha trabajado en varias frutas como: pitahaya (Magaña-Benítez *et al.*, 2010), papayas (Oliveira *et al.*, 2003), zapote mamey (Martínez-Morales *et al.*, 2004); zarzamora (Piña-Dumoulin *et al.*, 2001), aguacate, plátano, mango y piñas y en forma más limitada en chirimoya, litchi y rambután (Kader, 1994), también se han utilizado para el control de *Salmonella typhimurium* en melón 'Cantaloupe' (Landa *et al.*, 2009). En hortalizas se ha aplicado en el almacenamiento de tomate (Gómez y Camelo, 2002), en la conservación de la calidad y alargamiento de vida de anaquel de espinacas (Martínez-Damian y Cantwell, 2002) y en cebollas (Tanaka *et al.*, 1996).

### **c) AC de ultra bajo oxígeno (ACBO)**

En este sistema se reduce la concentración de oxígeno hasta los niveles mínimos tolerables por la fruta. Es un tipo de ACR pero utilizando concentraciones de O<sub>2</sub> muy bajas (menos del 1%) y sin usar altos niveles de CO<sub>2</sub>. Estos niveles tan bajos de O<sub>2</sub> son muy críticos por lo que se necesita un sistema de vigilancia y control muy eficiente para prevenir que la cantidad de oxígeno se baje a niveles peligrosos para la fruta.

La conservación en dichas condiciones de O<sub>2</sub> se denomina Oxígeno Ultra Bajo (ULO por sus siglas en inglés). La conservación en ULO se realiza en cámaras de conservación herméticas, y se emplea en la conservación de larga duración de manzanas, peras, bayas azules y kiwis.

En manzanas "Golden Delicious" por ejemplo, se observó que el uso de este sistema conservó la firmeza y logró una buena acidez después de su almacenamiento durante 6 a 10 meses, especialmente cuando la ACBO se aplicaba de una forma rápida. También disminuyó algunos desordenes fisiológicos importantes como el oscurecimiento del corazón de la pulpa, redujó de la biosíntesis de etileno, disminuyó de la tasa de respiración y de la susceptibilidad a la descomposición. Se debe tener especial cuidado

al utilizar esta atmósfera ya que puede favorecer el desarrollo de procesos anaeróbicos en la fruta ocasionando la acumulación de compuestos derivados de la fermentación como etanol, acetato de etilo y acetaldehído (Yahia,1995b).

Las principales ventajas conseguidas con las atmósferas bajas en oxígeno, en comparación con la AC estándar, son una mayor duración del almacenamiento y posterior vida útil del producto, una mejor retención de la calidad durante el almacenamiento y a la salida del almacén y una reducción de ciertas alteraciones fisiológicas (Graell et al., 1998).

#### **d) AC de alto bióxido de carbono**

En este sistema se emplean altas cantidades de CO<sub>2</sub> (10-15% en el caso de la manzana) antes de iniciar con la atmósfera ideal. Esta AC se empezó a utilizar desde hace dos décadas en manzana pero su uso comercial esta limitado al noroeste de EUA para la manzana “Golden Delicious”. Al aplicarla en esta fruta se observó que utilizando una concentración de CO<sub>2</sub> de 10 a 15% por 2 a 4 semanas y una temperatura entre 0 y 5°C se logró disminuir la pérdida de textura y de calidad y prolongar la vida de la fruta (Yahia,1995b).

#### **e) AC de bajo etileno (ACBE)**

Este sistema empezó a utilizarse en forma comercial en 1983 en el Noroeste de EUA y consiste en una AC rápida con bajos niveles de O<sub>2</sub>, altos niveles de CO<sub>2</sub> y con un riguroso control de los niveles de etileno en pre y postcosecha (Yahia, 1995c)

Los niveles de esta hormona en este sistema se mantienen en una concentración de 1 ppm o menos. Al almacenar manzanas “McIntosh” en este sistema por 8 meses la fruta solo perdió un 3.5% de su firmeza inicial comparada con un 24.2% de pérdida de firmeza de manzanas almacenadas en ACC (Yahia, 1995b).

#### **f) AC/AM insecticidas**

En este sistema se utilizan cantidades muy bajas de O<sub>2</sub> y muy altas de CO<sub>2</sub> con el fin de controlar insectos como una alternativa al uso de productos químicos.

Los niveles de atmósferas necesarios para el control de insectos en periodos muy cortos son de 0.5% de O<sub>2</sub> o menos y 50% de CO<sub>2</sub> o más. Pueden controlar insectos y tienen el potencial para utilizarse en postcosecha, especialmente como tratamientos

cuarentenarios. La respuesta de los insectos depende de su estado de desarrollo, pero muchos insectos pueden ser controlados en un periodo de 2 a 4 días a temperatura ambiente.

El uso de la AC para el control de insectos es muy ventajoso porque no deja residuos tóxicos en el alimento y su costo es competitivo comparado con la aplicación de los agroquímicos. Sin embargo, las atmósferas insecticidas son muy extremas y pueden causar problemas en las frutas como anaerobiósis y fermentación. Por lo tanto, es muy importante utilizarlos solamente en aquellas frutas que pueden tolerar estos niveles de atmósferas y solamente por un periodo menor al periodo tolerado (Yahia, 1995a).

#### **g) AC de sistema de control dinámico (SCD)**

Este sistema consiste en mantener los niveles de oxígeno en los límites mínimos tolerados por la fruta, para lo cual se monitorea mediante sensores y se ajustan periódicamente sus niveles.

En este sistema se regulan de manera dinámica las condiciones de AC durante la conservación (en lugar de fijarlas por adelantado). El equipo del 'Sistema de conservación en AC Dinámica' reacciona a las circunstancias fisiológicas de la fruta dentro de la cámara, ajustando las condiciones de conservación a las mismas de forma automática. Conseguir porcentajes de concentración de oxígeno inferiores al 1% no es un problema, ya que la concentración de oxígeno se ajusta directamente en cuanto se corre riesgo de que sea demasiado baja.

Hasta el momento, el uso comercial del SCD solo ha sido evaluado en manzanas, en la cual favorece el mantenimiento de la firmeza, la acidez y reduce el desarrollo de algunas fisiopatías sin afectar la calidad sensorial de los frutos (Calvo y Caldan, 2012).

### **2.4 Aplicación de las atmósferas controladas**

La atmósfera a utilizar para determinado producto se basa en las recomendaciones derivadas de investigaciones realizadas por muchos centros de investigación frutícola en todo el mundo; es necesario contrastar estas recomendaciones en cada zona concreta dada la influencia de factores ambientales sobre el comportamiento de las especies y/o variedades (Graell y Ortiz, 2003).

Se recomienda que la temperatura del producto y la composición de la atmósfera deseada se alcancen en un tiempo máximo de 7 a 10 días después de colocar el alimento en almacenamiento, antes de que se inicie la maduración, es decir, cuando el etileno en la fruta sea menor a 1 ppm (Bishop, 1990).

Las AC se utilizan actualmente en forma comercial casi exclusivamente para el almacenamiento de manzana, pera, kiwi y col. En México se usan principalmente para almacenar manzanas y peras en los Estados de Chihuahua y Coahuila (Yahia, 1995b)

En el Cuadro 1 se muestran las concentraciones de gases y temperaturas para el almacenamiento en AC de diversas frutas y hortalizas.

## **2.5 Construcción y equipos necesarios para una cámara de AC**

Para aplicar con éxito las atmósferas controladas se requiere contar con cámaras herméticas y equipos con los elementos señalados en la Figura 4, lo cual ha de asegurar la consecución de tres aspectos básicos:

**a) Hermeticidad de las cámaras frigoríficas** que limite la entrada de aire al interior de la cámara. Se utilizan materiales que aseguran una capa hermética en el perímetro de la cámara: telas plásticas, poliéster, poliuretano, revestimientos metálicos y paneles tipo sandwich. Es obligado realizar periódicamente pruebas de hermeticidad para diagnosticar y corregir cualquier problema. Igualmente, para evitar entradas de aire exterior hacia el interior del almacén es necesario colocar pulmones compensatorios y válvulas equilibradoras de presión que eviten las modificaciones importantes de la atmósfera interior en la cámara por cualquier causa (Graell et al., 1998).

**b) Barridos de la atmósfera**, permite obtener tiempos cortos de puesta a régimen y alcanzar niveles bajos de O<sub>2</sub>. El nitrógeno puede ser suministrado en forma de gas o líquido a presión, o a partir de equipos separadores de aire.

Estos sistemas presentan como principal ventaja técnica, una rápida capacidad de eliminación del oxígeno de la cámara, lo cual se consigue con una acción de barrido que permite eliminar otros volátiles perjudiciales. Su funcionamiento puede automatizarse para que puedan entrar en funcionamiento ante cualquier variación de los niveles de gases deseados (Graell y Ortiz, 2003; Graell et al., 1998).



**Cuadro 1.** Concentraciones gaseosas recomendadas para la atmósfera en equilibrio y rango de temperaturas de conservación de productos hortofrutícolas.

Producto	Temperatura (°C)	%O <sub>2</sub>	%CO <sub>2</sub>
Chabacano	0-5	2-3	2-3
Aguacate	5-13	2-5	3-10
Brócoli	0-5	1-2	5-10
Calabaza	0-5	3-5	5-7
Cereza	0-5	3-10	10-12
Coles de bruselas	0-5	1-2	5-7
Coliflor	0-5	2-5	2-5
Champiñon	0-5	aire	10-15
Espárragos	0-5	aire	5-10
Espinacas	0-5	aire	10-20
Fresa	0-5	10	15-20
Granada	4-6	5-10	0-2
Kiwi	0-5	2	5
Lechuga	0-2	2-5	0
Limón	12-14	5-10	0-2
Mandarina	4-5	10-12	0-2
Mango	10-15	5	5
Manzana	0-5	2-3	1-2
Melón Cantaloupe	3-7	3-5	10-15
Durazno	0-5	1-2	5
Naranja	2-4	10-12	0-2
Papaya	10-15	5	10
Pera	0-5	2-3	0-1
Pepino	8-12	3-5	0
Jitomate semimaduro	8-12	3-5	0

Fuente: Artés (1987); Kader (1990), Marcellin (1992), IIR (1995)

**c) Análisis y control de la composición gaseosa**, es imprescindible para evitar riesgos y daños por hipoxia, especialmente en atmósferas bajas en oxígeno. Las instalaciones modernas están equipadas con analizadores electrónicos de gran precisión que permiten, con la gestión informatizada correspondiente, memorizar todos los análisis de concentraciones de gases en cámara, visualizarlos en pantalla o transcripción impresa,

y actuar sobre los equipos de AC para corregir desviaciones de los valores de consigna deseados (Graell y Ortíz, 2003).

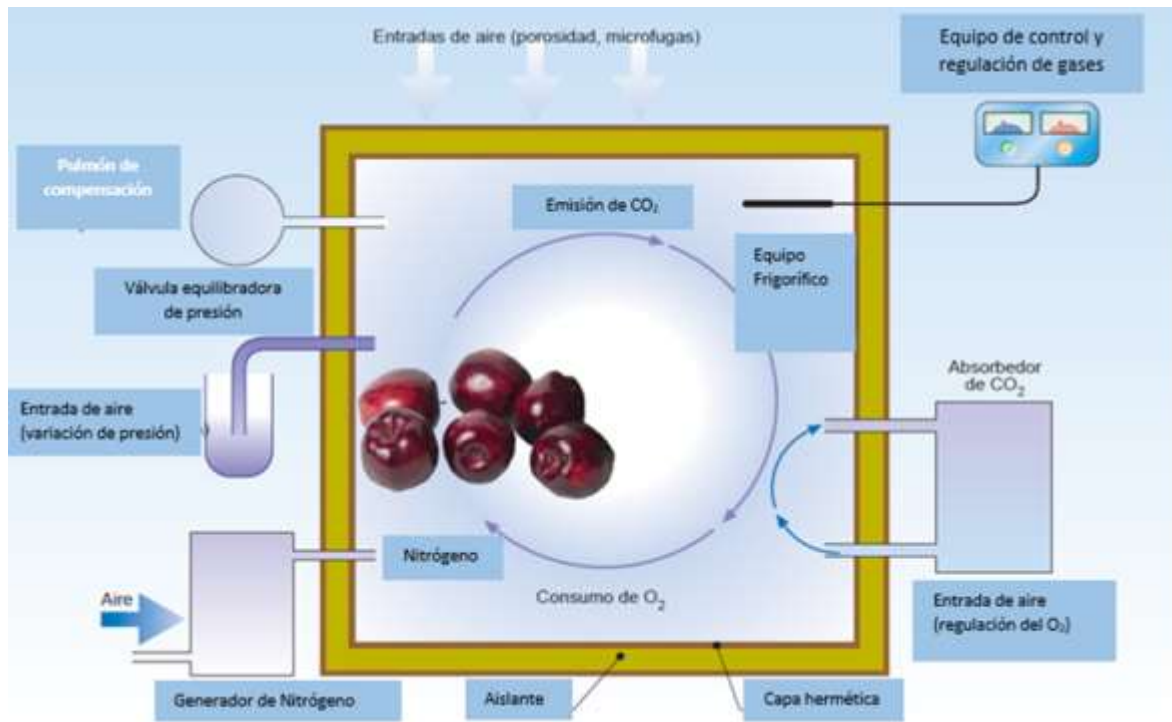


Figura 4. Esquema de una cámara de atmósfera controlada. Fuente: Graell y Ortíz (2003).

### 2.5.1 Necesidades para una cámara de AC.

Cuando se va a construir una cámara de AC las instalaciones deben planearse cuidadosamente. Se necesitan tener en cuenta varios factores como:

- ✓ Selección del sitio: considerando la proximidad a caminos, drenaje y futura expansión.
- ✓ Integridad estructural, incluyendo la resistencia y durabilidad de los materiales, hermeticidad a los gases y las exigencias de mantenimiento de la estructura.
- ✓ Adecuado aislamiento en paredes y techo (y piso si es necesario) para evitar que la cámara se caliente, así como condensación de agua.
- ✓ Considerar barreras al vapor en las paredes y techo para evitar que la humedad penetre al aislante y las cavidades de las paredes.

- ✓ Capacidad suficiente del sistema de refrigeración que permita un rápido enfriamiento de la fruta y una elevada humedad relativa en los cuartos de almacenamiento.
- ✓ Un sistema de control que permita monitorear y mantener dentro del cuarto la temperatura y los niveles de gases deseados.
- ✓ Buena distribución del complejo de almacenamiento que permita a los trabajadores mover rápidamente el producto dentro y fuera del cuarto de atmósferas controladas (Yahia, 1995b).

También debe considerarse que la inversión inicial puede ser muy alta.

A continuación se detallan los equipos básicos que son requeridos para instalar un sistema de atmósfera controlada.

**a) Cámara frigorífica hermética.** Se compone de paneles aislantes con acabado hermético.

En los últimos años se han utilizado de manera importante paneles prefabricados en la construcción de cuartos de almacenamiento para frutas. Estos paneles se elaboran mediante la unión de algún metal o algún otro material rígido a las capas de aislante rígido o aplicando espuma de poliuretano (o alguna otra espuma) entre los paneles de doble superficie como de acero, fibra de vidrio, de aluminio u otra superficie rígida. Las superficies sólidas forman excelentes sellos contra el vapor. Este tipo de paneles se encuentran disponibles en diversos espesores, longitudes y anchuras y satisfacen una amplia gama de necesidades. En el lugar de la construcción se colocan juntos mediante dispositivos fijadores, sin embargo para crear hermeticidad, se utilizan algunos sellos entre los extremos de los paneles. Algunos otros utilizan materiales selladores o cintas adhesivas (Yahia, 1995).

En las cámaras con atmósferas muy bajas en  $O_2$  es especialmente necesaria una adecuada hermeticidad que limite la entrada de aire externo hacia el interior de la cámara, por debajo de los niveles de consumo de oxígeno respiratorio que la propia fruta u hortaliza es capaz de llevar a cabo. Para ello se utilizan diversos materiales que aseguran la consecución de una capa hermética en todo el perímetro de la cámara, sin olvidar, tampoco, las características estructurales de las paredes, el pavimento, las

puertas y todos los conductos y tuberías que penetran desde el exterior hacia el interior del recinto. Los principales materiales de hermeticidad utilizados son: telas plásticas, poliéster, poliuretano y revestimientos metálicos. Cada sistema tiene sus ventajas y sus inconvenientes y, en general, hasta después de los primeros años de funcionamiento, no se detectan problemas. En este sentido, es obligado realizar periódicamente pruebas de hermeticidad para poder diagnosticar y corregir cualquier causa de mala hermeticidad (Graell et al., 1998).

Una cámara frigorífica con AC se cierra mediante una puerta hermética con una ventana también hermética, montada en la puerta, en el pasillo, o en el techo de la cámara. Esto permite tomar muestras del producto y ver la fruta (Figura 5). Las puertas deben ser removibles desde el exterior, estas son generalmente selladas con sellos de goma, cintas o grasas y rellenos, los sellos secos son preferidos debido a que no tienen una mala apariencia (Yahia, 1995b).

**b) Ventanas de observación.** Deben instalarse en un nivel superior cercano al lado o detrás del evaporador para poder realizar una inspección visual de la efectividad de los ciclos de descongelación. La presencia de tiras plásticas en el área de descarga de aire permite determinar si los ventiladores están trabajando adecuadamente. La ventana también permite la inspección de la fruta almacenada y la lectura de los termómetros fijados dentro del cuarto de almacenamiento (Yahia, 1995b).



**Figura 5.** Puertas herméticas con ventana para muestreo de una cámara de AC (Fuente: Isolcell, 2015).

**c) Liberadores de presión.** Ciertos factores físicos producen un exceso de presión dentro de los cuartos herméticos de AC. Con el tiempo estas fluctuaciones pueden

causar daños estructurales y de sellado del cuarto (Yahia, 1995b). Hay varios sistemas para regular la presión de las cámaras de AC pero los más comunes son los siguientes.

- ✓ **Regulador flexible** (también llamado 'pulmón') o absorbedores de diferencia de presión. Son bolsas de plástico permeables y flexibles conectadas con tubería de PVC en una esquina o en la parte de arriba de la cámara, la bolsa se infla o desinfla dependiendo de los cambios de la presión en el cuarto y recoge las diferencias de presión de la cámara frigorífica impidiendo la penetración de oxígeno en ésta, es decir evita la entrada de aire del exterior al interior de la cámara, impidiendo modificaciones importantes de la atmósfera en el almacén (Yahia, 1995b).
- ✓ **Válvulas de depresión y sobrepresión.** En el almacenamiento hipobárico (a baja presión) una bomba de vacío evacúa parte del aire de la cámara hasta alcanzar la presión deseada. La reducción de la presión parcial del aire disminuye la disponibilidad de oxígeno y, por tanto, las reacciones de oxidación y los procesos metabólicos del alimento. Gracias a ello, la maduración y senescencia de los productos vegetales frescos se retrasan conservando la calidad.

Como medida de seguridad de las cámaras en caso de inyección de nitrógeno y oxígeno debe instalarse una válvula de sobrepresión (Figura 6a), ésta debe estar abierta durante el funcionamiento del quemador de oxígeno o del gasificador de nitrógeno, ya que por esta válvula sale el oxígeno existente dentro de la cámara que es empujado por el mismo nitrógeno. Una vez llegado a un 5% de oxígeno, esta válvula debe cerrarse. Así mismo, para evitar depresiones en las cámaras y como válvula de seguridad del pulmón de reserva de nitrógeno se debe contar con una válvula de depresión (Figura 6b). Esta es necesaria para prevenir una caída de la estructura porque el oxígeno buscaría el lado más fácil para escapar, rompiendo el techo si es necesario, de ahí la necesidad de este tipo de válvulas (Bahamondez, 2015).



**Figura 6.** a) Válvula de sobrepresión; b) Válvula de depresión (Fuente: Bahamondez, 2015).

- ✓ **Trampa de agua.** Facilita un equilibrio en la presión, es un sistema tradicional de liberación de la presión, generalmente es calibrada para operar a una presión de 12-25 mmHg (Figura 7) (Bahamondez, 2015).



**Figura 7.** Trampa de agua (Fuente: Bahamondez, 2015)

**d) Generadores de AC.** Se requiere generar una atmósfera en la que la cantidad de oxígeno sea baja y la cantidad de CO<sub>2</sub> sea alta, de acuerdo a los niveles que se necesiten y dependiendo del producto hortofrutícola que se vaya a almacenar; para ello se utilizan distintos procesos que permiten generar la atmósfera dentro de las cámaras. Los sistemas más utilizados se mencionan a continuación.

- ✓ **Quemadores de propano.** Usan la combustión del propano para convertir el oxígeno a CO<sub>2</sub> y agua, pueden ser de dos tipos:

De flama abierta. En este generador el oxígeno se consume por medio de la combustión de gas propano. Este generador quema propano con O<sub>2</sub> del aire interior y se ventila la cámara con los productos de la combustión (nitrógeno y oxígeno) para disminuir el contenido de O<sub>2</sub> e incrementar la cantidad de nitrógeno en la cámara (Cerón-Carrillo y Rodríguez-Martínez, 2007)

Quemador con un catalizador. Permite la combustión hasta obtener un nivel de O<sub>2</sub> de hasta 3%. Este equipo cumple una doble función ya que también genera CO<sub>2</sub>, lo único que requiere es un filtro para controlar el exceso que se forma de este gas (Cerón-Carrillo y Rodríguez-Martínez, 2007).

Estos generadores tienen varias **desventajas** (Yahia, 1995b).

- Existe el peligro de combustión por la acumulación de propano, por lo que se necesitan alarmas de propano o sistemas que puedan apagar el sistema al acumularse el gas.
  - Los productos de combustión de estos sistemas incluyen monóxido de carbono (CO) y otros hidrocarburos como el etileno. El CO puede ser peligroso para los humanos especialmente al abrir los cuartos, por lo cual se deben ventilar antes de entrar. La acumulación de etileno puede acelerar la maduración y muerte de los vegetales.
- ✓ **Quemadores de amoniaco.** El amoniaco (NH<sub>3</sub>) reacciona con el CO<sub>2</sub> del cuarto para producir nitrógeno e hidrógeno. El Hidrógeno se combina con el oxígeno para formar agua. En este sistema existe el peligro de fugas de amoniaco que puede causar daño a los vegetales (Cerón-Carrillo y Rodríguez-Martínez, 2007).

- ✓ **Nitrógeno líquido.** Este sistema consiste en introducir nitrógeno en forma líquida o gaseosa al cuarto para desplazar y disminuir la concentración de O<sub>2</sub>. El nitrógeno líquido de un tanque se convierte a nitrógeno gaseoso, el cual se utiliza para purgar o desplazar el aire del volumen libre en un cuarto de AC (Yahia, 1995b).
- ✓ **Separadores de aire.** Separan del aire el oxígeno y el nitrógeno e introducen la parte rica en N de nuevo a la cámara. Este tipo de equipos disminuyen rápidamente los niveles de O<sub>2</sub> de la cámara, al inyectar el N dentro del cuarto con lo cual se desplaza el O<sub>2</sub> en exceso (Graell et al., 1998).
- ✓ Existen dos sistemas principales: la tecnología de adsorción por cambio de presión (PSA, por sus siglas en inglés Pressure Swing Adsorption) y la tecnología de membranas tubulares de fibra.
- Sistema PSA. La tecnología de adsorción por cambio de presión es una de las más importantes para generar nitrógeno gaseoso en el almacenamiento en atmósfera controlada. El sistema PSA separa el aire evacuado de la cámara en nitrógeno y oxígeno utilizando un lecho de carbón molecular el cual selectivamente adsorbe oxígeno y etileno y permite al nitrógeno pasar a través del lecho adsorbente devolviéndose al cuarto. Estas plantas son relativamente económicas y eficientes desde el punto de vista energético; sin embargo, necesitan bastante espacio para su instalación (Yahia, 1995b; Graell et al., 1998).

El sistema de manera secuencial está compuesto por un compresor de aire, un secador, un contenedor de aire, un lecho adsorbente A, un lecho adsorbente B y un contenedor para nitrógeno. Los lechos adsorbentes son alternativamente presurizados y despresurizados durante la generación de nitrógeno y la eliminación de oxígeno. El proceso proporciona un flujo continuo de nitrógeno, conteniendo trazas de oxígeno, dependiendo de la presión del aire a la entrada y la velocidad de flujo de nitrógeno a la salida. La humedad debe ser removida del aire antes de que llegue al lecho de carbón molecular ya que si no se hace se reduce la capacidad de adsorción de oxígeno (Yahia 1995b).



- Sistema de membranas tubulares de fibra (MTF). Los sistemas basados en membranas son más pequeños y ligeros que el sistema PSA. Los gases se separan al pasar por estas membranas porque se desplazan a velocidades distintas debido a sus diferentes tamaños moleculares. El O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, y vapor de agua tienen velocidades de permeación rápidas, mientras que la de N es más lenta. Por ello cuando una mezcla de gases se presuriza y se introduce dentro de las membranas tubulares de fibra, los gases se separan uno del otro conforme pasan a través de la fibra. En el caso del aire, la composición del nitrógeno es alta en la corriente de salida, mientras que la composición de oxígeno es alta en los gases de desecho que permean a través de la membrana. Aumentando la temperatura y la presión de los gases se aumenta la velocidad de permeación, así como la velocidad y pureza del nitrógeno obtenido. El sistema de manera secuencial está compuesto por un compresor de aire, filtro, calentador, membrana, módulo de membrana y un tanque receptor. El flujo de salida y pureza de nitrógeno son simplemente ajustados por una válvula de restricción colocada a la salida del nitrógeno. El CO<sub>2</sub> y el etileno también pueden separarse por medio de este sistema (Yahia, 1995b; Graell et al., 1998)).

El principal inconveniente de los separadores de aire es la sensibilidad al envejecimiento de las membranas y del carbón activo; la renovación de dichos elementos puede suponer costos importantes de explotación (Graell y Ortíz, 2003).

**e) Sistemas para el control de los gases producidos.** Dentro de la cámara se debe eliminar la cantidad de CO<sub>2</sub> producido en exceso, así como el etileno ya que pueden causar serios daños en los productos almacenados, sobre todo si éstos son altamente sensibles a estos gases.

- **Controladores de CO<sub>2</sub>:**

Los sistemas más extendidos en el mercado para mantener una atmósfera pobre en CO<sub>2</sub> son los depuradores, (denominados en inglés *scrubbers*) utilizan alguno de los siguientes compuestos o materiales para retirar el CO<sub>2</sub> del ambiente:

**Cal hidratada** (hidróxido de calcio) que se encuentra disponible en forma de preparados comerciales. Puede situarse directamente dentro del contenedor si se requieren niveles de CO<sub>2</sub> muy bajos. También se utilizan bolsas con cal las cuales se colocan directamente en la cámara o bien en un costado de ésta y se conecta a la cámara mediante tuberías, el aire del interior del cuarto es forzado a pasar a través de la tubería y por la cal la cual absorbe el CO<sub>2</sub> y disminuye su concentración cuando el nivel de este gas es elevado (Figura 8) (Cerón-Carrillo y Rodríguez-Martínez, 2007). Este era el método más común en los almacenes de AC hasta años recientes.

**Agua pulverizada** sobre la que se hace pasar el aire destinado a la cámara de almacenamiento y donde se disuelve con gran facilidad el CO<sub>2</sub>. Actualmente su uso es muy limitado (Cerón-Carrillo y Rodríguez-Martínez, 2007).

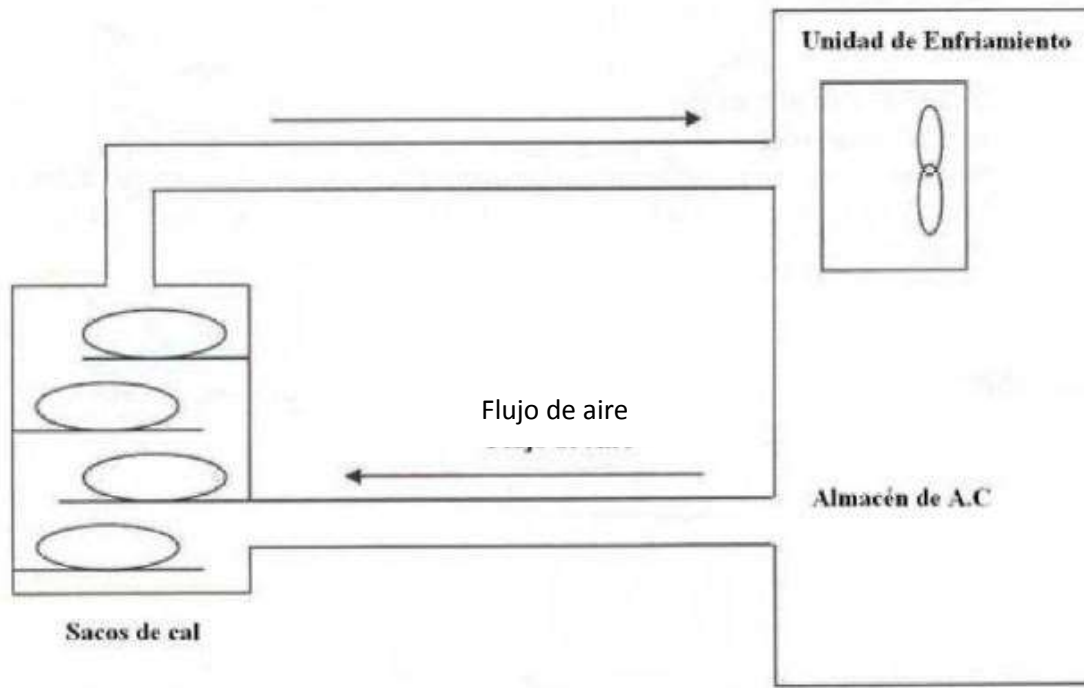
**Lechos de carbón activado** en los que queda retenido este gas. Este es el material más utilizado en los equipos en la actualidad. En la Figura 9 se muestra un ejemplo de éstos.

Para determinar la depuradora de CO<sub>2</sub> más adecuada para cada situación, se debe tener en cuenta lo siguiente (Van Amerongen, 2015):

- Número de cámaras frigoríficas
- Medidas de las cámaras frigoríficas
- Variedad y cantidad del producto en la cámara frigorífica (cuánto CO<sub>2</sub> produce)
- Condiciones de conservación deseadas para el CO<sub>2</sub> en la cámara

Otra forma de uso del carbón activado es hacer recircular la atmósfera del cuarto sobre este material colocado en pequeños cuartos ubicados a un costado de la cámara de AC, simulando una especie de filtro como el caso de la cal.

Actualmente la remoción de CO<sub>2</sub> se hace principalmente aprovechando los sistemas generadores de nitrógeno PSA y por membranas.



**Figura 8.** Filtro de cal para absorber CO<sub>2</sub> de la cámara de AC. (Fuente: Cerón-Carrillo y Rodríguez-Martínez, 2007)



Sacos de cal

Cámara de A.C

**Figura 9.** Equipo depurador de CO<sub>2</sub> con carbón activado (Fuente: FRT, 2015)

- **Sistemas para el control del etileno (Catalizadores de etileno)**

Para el caso de remoción de etileno de los cuartos de AC, son dos los métodos principales que actualmente se utilizan: la combustión catalítica y la adsorción química (Yahia, 1995b).

**Combustión catalítica:** el aire procedente de la cámara (con un porcentaje elevado de etileno) se quema en un depósito a alta temperatura con un catalizador de platino donde el etileno genera CO<sub>2</sub> y vapor de agua. Tras la eliminación de ambos, resulta una atmósfera en la que predomina el nitrógeno que se devuelve al recinto. Un equipo que se encuentra disponible en el mercado es el SWINGTHERM-BS (Figura 10) (Fruit Control Equipments, 2015).

**Adsorción química:** dentro de este método un procedimiento muy utilizado son los lechos adsorbentes de silicatos de aluminio y permanganato potásico en los que queda retenido el etileno.



**Figura 10.** Equipo eliminador de etileno (Fuente: Fruit Control Equipments, 2015).

### **f) Humidificadores**

La fruta conservada en cámaras de AC pierde humedad. Esta pérdida de humedad disminuye a medida que los niveles de HR (humedad relativa) superan el 90-95%. Si la humedad se reduce es necesario utilizar humidificadores ya que la mayoría de las frutas se conservan con una elevada humedad relativa superior al 95%.

Existen varios sistemas de humidificación, uno de ellos es la humidificación ultrasónica la cual es una excelente solución para cuando se utilizan temperaturas alrededor de los 0°C o menores. Esta tecnología hace vibrar unas láminas de tamaño pequeño mediante ondas de sonido de alta frecuencia que pulverizan gotas de agua diminutas. Estas gotas de 0.5 - 1.0  $\mu\text{m}$  (micrómetros) de diámetro son tan pequeñas que quedan en suspensión y no se congelan, sino que se condensan directamente en el aire de la cámara (Van Amerongen, 2015).

Otro sistema comercial de humidificadores es el equipo que realiza la humidificación por medio de pulverización con aire (Figura 11).



Figura 11. Equipos humidificadores por pulverización con aire (Fuente: Spraying Systems Co, 2015)

### **g) Deshumidificadores**

Si la humedad relativa es muy alta para el producto que se vaya a almacenar (como es el caso de la cebolla), es necesario utilizar equipos deshumidificadores.

A nivel comercial existen equipos que utilizan una rueda desecante que gira lentamente para atrapar la humedad. A través de esa rueda de sílice (material higroscópico que absorbe y reduce la humedad directa del aire), se reduce con aire caliente, el aire húmedo que posteriormente es expulsado por un conducto externo de la habitación. Estos deshumidificadores son ideales para funcionar a bajas temperaturas y mantener una humedad mínima en cámaras frigoríficas (VentDepot, 2012)

En el mercado existe una amplia gama de deshumidificadores de acuerdo a cada necesidad.

#### **h) Monitoreo de concentración de gases**

Para poder asegurarse de que el producto esta almacenándose con las concentraciones de gases adecuadas es muy importante contar con equipos que los midan y monitoreen en forma precisa.

**Medidores de la concentración de Oxígeno.** El oxígeno ha demostrado ser el gas más crítico en la conservación de alimentos en AC, por este motivo es muy importante conocer la concentración en el interior de la cámara. Entre los medidores de este gas se encuentran los siguientes:

***Analizadores paramagnéticos.*** Basa sus mediciones en las características paramagnéticas del O<sub>2</sub>. Requieren ser calibrados con aire con una concentración de 21%. El equipo se debe almacenar en un cuarto con temperatura controlada ya que se utiliza por largos periodos y puede sobrecalentarse (Cerón-Carrillo y Rodríguez-Martínez, 2007). Los rangos de concentraciones de O<sub>2</sub> que se pueden medir mediante este analizador son de 0.05-100% (Yahia, 1995b).

***Analizadores electroquímicos:*** Los sensores de éstos poseen una celda electrolítica líquida o sólida, en ambos casos esa celda tiene una vida limitada debido al agotamiento del electrolito, sin embargo, su costo es relativamente bajo, pesa muy poco, es sensible y su operación causa un consumo mínimo de energía, lo que lo hace muy adecuado para analizadores portátiles (Yahia, 1995b).

#### **Medidores de la concentración de CO<sub>2</sub>**

***Analizadores de absorción de luz infrarroja.*** Aseguran la medición específica de la concentración de CO<sub>2</sub>. La longitud de onda del espectro infrarrojo se

selecciona con filtros ópticos y la radiación es dirigida a una celda simple que contiene la mezcla de gases del aire en la cámara antes de ser medido con el detector. Se requiere calibrar, el valor de cero se registra con aire y se usa una mezcla de nitrógeno y dióxido de carbono para el ajuste a escala completa (Cerón-Carrillo y Rodríguez-Martínez, 2007). Este sistema permite una rápida, económica y exacta determinación de los niveles de CO<sub>2</sub>, son fáciles de automatizar y por lo tanto son los más utilizados en los últimos 5 años.

**Analizador dual O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> portátil.** Varias compañías unieron los sensores infrarrojo y electroquímico en un solo equipo lo que permitió tener un equipo analizador dual que mide el O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> al mismo tiempo; en la Figura 12 se presenta un analizador dual portátil que mide la concentración de ambos gases.



**Figura 12.** Analizador de O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> portátil

**Medidores de etileno.** Este gas es difícil de medir ya que las concentraciones permitidas dentro del almacén son demasiado pequeñas. Sin embargo, se pueden encontrar los siguientes sistemas:

**Cromatógrafo de gases.** Se utiliza para mediciones entre 0.01-1 ppm, sin embargo es un equipo costoso que requiere de conocimientos específicos y por lo tanto de operadores entrenados (Bishop, 1990).

**Equipos compactos portátiles.** En el mercado existen analizadores de etileno portátiles como el MFA 9000 de la empresa Witt, el cual calcula la concentración de etileno con gran precisión y no necesita para ello ningún otro gas de referencia, como ocurre con otros sistemas (Witt, 2012).

En la actualidad existen en el mercado **sistemas automáticos de monitoreo** que controlan la concentración de los gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ), etileno (medición y eliminación), la temperatura (desde el registro de temperatura hasta un control completo de la refrigeración) y la humedad (HR, pérdida de humedad, humidificación).

### **2.5.2 Desventajas del uso de las atmósferas controladas**

El uso inadecuado de las AC y AM puede ocasionar algunos problemas y causar la pérdida del producto (Yahia, 1995b).. Algunos de los problemas potenciales incluyen:

#### **Anaerobiósis**

La exposición de productos frescos a concentraciones muy bajas de  $O_2$  y/o muy altas de  $CO_2$  que se encuentren fuera de los límites de tolerancia para un producto en particular pueden causar cambio de respiración de aeróbica (con oxígeno) a anaeróbica (sin oxígeno). Cuando se habla de anaerobiosis se refiere a la fermentación de la fruta u hortaliza lo que ocasiona malos olores y sabores (Day, 1993; Farber, 1991).

#### **Desarrollo de malos sabores y olores**

El almacenamiento de frutas en AC por largo tiempo puede disminuir su capacidad para desarrollar su sabor y aroma característico (Yahia, 1995b). Así mismo, pueden presentarse malos sabores y olores a muy bajas concentraciones de  $O_2$  como resultado de la respiración anaeróbica y por muy alta concentración de  $CO_2$  debido a metabolismo fermentativo (Kader, 2004).

#### **Desórdenes Fisiológicos**

Las AC pueden estimular o agravar algunos desórdenes fisiológicos de los productos hortofrutícolas, por ejemplo el obscurecimiento interno en peras y manzanas, mancha marrón en lechuga y daños por frío de algunos productos (Kader, 2004).



### **Aumento en la susceptibilidad al ataque de hongos**

Los niveles de gases inadecuados pueden facilitar la penetración de hongos y otros microorganismos a través de los tejidos vegetales (Yahia, 1995b).

### **Problemas bacteriológicos**

Las concentraciones muy bajas de O<sub>2</sub> y/o muy altas de CO<sub>2</sub> pueden estimular el desarrollo de ciertas bacterias patógenas por ejemplo del género Clostridium y Campilobacter, este es un riesgo potencial en productos almacenados en AM (Farber, 1991).

### **Maduración anormal en frutas y hortalizas**

Las atmósferas inadecuadas pueden causar una maduración anormal o irregular de los productos (Kader et al., 1989). Esto puede presentarse en plátano, mango, pera y tomate con niveles de O<sub>2</sub> abajo del 2% y de CO<sub>2</sub> arriba del 5% (Kader, 2004).

### **Alto costo inicial**

Se requiere una inversión inicial relativamente alta en la adquisición de los equipos y construcción de las cámaras con las condiciones adecuadas para el almacenamiento en AC, así como la contratación de personal capacitado para el manejo del sistema. Además las concentraciones de los gases son diferentes para cada producto en particular (Day, 1993; Farber, 1991).

## **2.5.3 Medidas de seguridad en el uso de AC**

Debido a la falta de oxígeno dentro de la cámara, el personal que ingrese a ésta se expone a grandes riesgos. Para prevenir cualquier accidente debido a estas condiciones atmosféricas, el personal que entre deberá tener en cuenta las siguientes recomendaciones de seguridad (Bahamondez, 2015).

- a) Cuando se ingrese a una cámara de atmósfera controlada en régimen debe hacerse con equipo de respiración autónomo.
- b) Cada vez que se utilice un equipo autónomo, luego debe llenarse de aire antes de que sea ocupado nuevamente.
- c) Un segundo operador debe estar presente en el interior de la cámara, también
- d) Debe existir una comunicación visual con un tercer operador desde el exterior

en todo momento, incluso se amarran a la cintura para estar unidos.én con equipo autónomo, por un posible riesgo de su compañero.

e) El tiempo de permanencia dentro de la cámara no debe exceder del 50% del tiempo de duración del suministro de aire.

f) Nadie debe de ingresar solo y sin autorización a las cámaras de atmósfera controlada en funcionamiento.

g) No ingresar a la cámara de atmósfera controlada con poco aire en los cilindros del equipo autónomo.

h) No ingresar a la cámara para realizar reparaciones de ningún tipo.

#### **2.5.4 Procedimientos de operación generales para el manejo de cámaras de atmósfera controlada.**

A continuación se menciona el procedimiento general para el manejo de una cámara en atmósfera controlada (Bahamondez, 2015).

##### **Antes de cada proceso:**

a) Lavado y desinfectado del piso y muros.

b) Calibrar sensores de ambiente y de pulpa.

c) Calibrar analizador de gases.

d) Inspeccionar ductos de PVC (las conexiones entre cámara y equipos).

e) Hacer pruebas de presión (de 30 a 10 mm de columna de agua) por 30 minutos, checando así la hermeticidad de la cámara.

##### **Antes del cierre de cámara:**

a) La cámara debe llenarse a su máxima capacidad.

b) Verificar la estiba correcta de los bins en la cámara.

c) Cubrir la corrida superior de bins con plástico.

d) Verificar que la muestra esté dentro de la cámara, en un lugar de fácil acceso, no más de 5 metros de la escotilla superior o inferior.

e) Energizar el sistema de frío con velocidad rápida de los ventiladores del evaporador.

f) Verificar el funcionamiento de las válvulas de los gases para la atmósfera controlada y las de seguridad.

- g) Antes del cierre total de la cámara, la temperatura de la pulpa debe estar como máximo a 3°C (frutas), dependiendo del producto cambia este valor.
- h) Señalar las condiciones de peligro en el interior de la cámara por el uso de bajos porcentajes de oxígeno.
- i) Sellar puerta y escotillas de acceso.

**Una vez cerrada la cámara:**

- a) Colocar los ventiladores del evaporador a baja velocidad.
- b) Programar los porcentajes de oxígeno y de dióxido de carbono para el trabajo automático del absorbedor de CO<sub>2</sub>, y del generador de nitrógeno, que dependerán del tipo de producto.
- c) Programar los temporizadores para el trabajo automático del catalizador de etileno, si así lo amerita el tipo de producto.
- d) Encender el quemador de O<sub>2</sub>, o el gasificador de nitrógeno, el catalizador de etileno y los absorbedores de CO<sub>2</sub>.
- e) Realizar el barrido con nitrógeno, o con el quemador de O<sub>2</sub>, (según el requerimiento de la instalación), hasta que llegue a un valor de 5% de O<sub>2</sub> (aproximadamente).
- f) Al alcanzar el valor de 5% de oxígeno, cerrar la válvula de sobrepresión y abrir la válvula de los pulmones.
- g) Controlar, medir y registrar, cada cuatro horas los porcentajes de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), temperatura de pulpa y ambiente y la humedad relativa (HR%).
- h) Revisar cada 15 días la calibración del analizador de gases.

**Apertura de la cámara:**

- a) Detener, si están activos, los quemadores y absorbedores de CO<sub>2</sub> y etileno.
- b) Abrir escotillas, sin detener el frío, hasta que se igualen las concentraciones de oxígeno de la cámara con respecto a la del exterior (ambiente 21% de oxígeno aproximado).
- c) Ventilar la cámara para evacuar los altos índices de CO<sub>2</sub> y nitrógeno.
- d) Señalizar el peligro durante el proceso de estabilización de los gases en la cámara.

- e) Cumplido lo anterior, abrir la puerta principal de la cámara para una adecuada ventilación natural.
- f) Retirar los sensores, y retirar el plástico superior.
- g) Archivar el resumen de todos los registros de los parámetros que se estaban controlando (temperaturas, concentraciones de los gases, etc.)

### **3. CONSERVACIÓN DE CEBOLLA**

En cebolla, el órgano de consumo generalmente es el bulbo que a diferencia de otras especies hortícolas tiene algunas características que favorecen la conservación por tiempo relativamente prolongado. Bajo condiciones de fotoperiodo adecuado para la formación de bulbos, la planta inicia la acumulación de reservas en la base de la hojas, forma catáfilas sin lámina y termina con la iniciación de primordios foliares, antes de entrar en un periodo de dormancia. Durante este periodo los bulbos presentan un metabolismo reducido y no tienen la capacidad de emitir hojas y raíces, lo que facilita la conservación. Dependiendo de la variedad, el crecimiento se reinicia después de un número variable de días. Las catáfilas internas son gruesas y firmes y las externas están formadas por células muertas, lo que forma una barrera al intercambio gaseoso y un elemento de protección contra los daños mecánicos y el ataque de hongos (Furlani y Rivero, 2010)

Los bulbos tienen tasas de respiración bajas lo que puede considerarse como un indicador de escasa actividad metabólica, característica también favorable para la conservación (Furlani y Rivero, 2010; UCDavis, 2013). Dado lo anterior la cebolla es considerada como una hortaliza de baja perecibilidad y de buena aptitud para ser conservada en atmósferas controladas.

El objetivo principal del almacenamiento de la cebolla en atmósferas controladas es la conservación de los bulbos con cualidades comerciales por un periodo prolongado. La buena conservación de la hortaliza depende de la calidad del material genético original, del manejo en el cultivo, de la manipulación de los bulbos en la cosecha, del secado y de las condiciones de almacenamiento (Zaccari, 2007).

Los factores previos a la cosecha como la variedad, el momento de siembra y trasplante, la calidad del suelo, la nutrición, la fertilización nitrogenada (cantidad y momento de aplicación), el riego, el control de enfermedades, plagas y malezas, y el momento óptimo de cosecha son aspectos que tienen efecto en la conservación de los bulbos de cebolla. Realizar el correcto manejo en estos aspectos es la base para lograr un almacenamiento prolongado de esta hortaliza (Zaccari, 2007).

### **3.1 Criterios de calidad de la cebolla**

Los índices de calidad de la cebolla pueden ser objetivos o subjetivos y deben servir para expresar en forma precisa la calidad y vida poscosecha del producto en distintas situaciones.

Las principales características a tener en cuenta para definir la calidad de cebolla son: color, ausencia de brotación y raíces, firmeza, sólidos solubles, tamaño, peso, pungencia y daños fitopatológicos.

**a) Color.** De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-021-SCFI-2003 el color de la cebolla es definido según la coloración que presenta la epidermis o piel, este parámetro se verifica visualmente o bien mediante un colorímetro. La cebolla debe de presentar cualquiera de los colores siguientes: blanca, morada y amarilla. En la cebolla blanca el bulbo debe presentar en su cáscara un color blanco, que cubra como mínimo el 80% de su superficie al momento de su cosecha mientras que en las cebollas moradas y amarillas deben estar cubiertas por estos colores en un 100% al momento de la cosecha. En cebollas de variedades de color blanco o en aquellas que tienen pocas catáfilas de protección puede aparecer una **coloración verdosa (“verdeo”)** en las escamas externas la cual es provocada por la exposición de los bulbos unos pocos días a la radiación solar directa o cuando se mantienen en lugares muy iluminados. Este desorden desmerece la calidad comercial y puede conferir sabor extraño al producto.

**b) Brotación y emisión de raíces.** De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-021-SCFI-2003 el término brotación en cebolla se refiere a las hojas nuevas que inician su desarrollo a partir del bulbo después de haber estado en reposo por un tiempo.

El índice de brotación durante el almacenamiento de la cebolla está muy relacionado con diferentes parámetros de carácter agronómico como la humedad del suelo, la

fertilización nitrogenada, maduración del bulbo en el periodo de recolección, estrés hídrico y la variedad (Sorensen y Grevsen, 2002; Miedema, 1994)

La brotación y emisión de raíces de los bulbos no solamente acelera el deterioro, sino que determina la finalización de su vida útil ya que el consumidor rechaza la presencia de brotes y/o raíces emergiendo del producto. La emisión de raíces afecta la calidad visual de la cebolla y puede además predisponer un mayor deterioro por podredumbre de las mismas. Se produce por una excesiva humedad durante el almacenamiento.

Una vez que han completado su desarrollo, los bulbos, entran en un estado de “descanso” o dormancia, caracterizado por una actividad fisiológica muy reducida que no responde a las condiciones ambientales, es decir, no brotan aún en condiciones de humedad y temperatura óptimas. Distintos estudios han demostrado que en este estado predominan los compuestos inhibidores de la brotación como el ácido abscísico sobre los promotores como giberelinas, auxinas y otros. Este balance va cambiando con el tiempo de almacenamiento dando lugar a un estado en el cual brota o emite raíces si son expuestos a condiciones ambientales favorables. No existe una clara diferenciación entre un estado y otro, sino más bien una lenta transición. A medida que transcurre el tiempo predominan los promotores y la brotación tiene lugar irremediablemente. El almacenamiento refrigerado y las atmósferas controladas disminuyen la velocidad de brotación y el enraizamiento (FAO, 2003).

Otro desorden fisiológico de la cebolla es el de **daño por sol**, el cual es el resultado de una exposición prolongada de la cebolla a la radiación solar. El problema está asociado con las altas temperaturas y/o los rayos ultravioleta. Se manifiesta en forma de ampollas y ruptura de peridermis, especialmente cuando la temperatura del producto ha sido cercana a los 50°C (Furlani y Rivero, 2010).

**c) Firmeza.** La consistencia o firmeza del bulbo es una característica de calidad muy importante. Los bulbos deben ser firmes y no ceder a una fuerte presión. Los bulbos blandos son el resultado de una deshidratación excesiva, daños por sol o mecánicos, o debido a la presencia del desorden fisiológico conocido como catafila traslucida. Así mismo, el cuello del bulbo debe ser angosto y estar seco. La presencia de cuellos

anchos indica un mal curado, inicio de brotación, producción de escape floral o crecimiento de raíces (Furlani y Rivero, 2010).

**d) Sólidos solubles.** Los valores de sólidos solubles son considerados una buena aproximación al contenido de azúcares de la cebolla. Este parámetro está relacionado con la aptitud para la conservación y el dulzor de esta hortaliza. A mayor contenido en sólidos solubles, mayor porcentaje en materia seca y por tanto mejor aptitud para la conservación (Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural, 2008).

**e) Pungencia.** Este parámetro se refiere al nivel de picor de las cebollas, se establece a través de la determinación del contenido de ácido pirúvico de los bulbos. Existen diversas escalas para medir el nivel de pungencia, una escala simplificada es la que usa la Industria de la Cebolla Dulce (The Sweet Onion Industry) en Georgia en los Estados Unidos de Norteamérica, donde los niveles de ácido pirúvico varían desde 0 a 18 micromoles por gramo de cebolla fresca ( $\mu\text{mol/g}$ ). Cuando los valores se encuentran entre 0 y 3  $\mu\text{mol/g}$ , se clasifican como de baja pungencia, cuando están entre 3 y 7 de pungencia media y si son superiores a 7 las cebollas se clasifican de alta pungencia. Otra escala es la que maneja el Laboratorio Vidalia Internacional (Vidalia Labs International) de Georgia (USA), donde la escala varía de 0 a 10  $\mu\text{mol/g}$  de cebolla fresca. Cuando los valores de ácido pirúvico son menores a 3, se clasifican como muy suaves, entre 3 y 4 se clasifican como suaves, entre 4 y 5.5 se clasifican como ligeramente pungentes, entre 5.5 y 6 como pungentes y mayor a 6 como muy pungente. De manera que las cebollas con un nivel de ácido pirúvico inferior a 3.5 se denominan cebollas extra dulces, entre 3.6 y 5.5 cebollas dulces y con valores superiores a 5.6 cebollas picantes. El nivel de pungencia es un parámetro relacionado directamente con la variedad y otros parámetros agronómicos como la fertilización, riegos, condiciones climáticas y tipo de suelo (Raigón, 2006).

**f) Tamaño.** Según la Norma Mexicana NMX-FF-021-SCFI-2003 el tamaño de las cebollas se determina por el peso o por el diámetro ecuatorial de la hortaliza. La cebolla tipo bola debe cumplir con las especificaciones que se presentan en el Cuadro 2.

## **Cuadro 2. Especificaciones de tamaño de la cebolla tipo bola**

Tamaño	Intervalo de diámetro ecuatorial (cm)
Chica	Menor de 3.5 cm
Mediana chica	3.6 a 5.0 cm
Mediana	5.1 a 7.0 cm
Grande	7.1 a 9.0 cm
Extra	Mayor de 9.0

Fuente: NMX-FF-021-SCFI-2003

### g) Daños fitopatológicos.

Numerosos patógenos pueden causar enfermedades que acortan el período de conservación y afectan la calidad del producto. Los más comunes son *Aspergillus niger*, *Botrytis spp.*, *Ewinia carotovora*, *Fusarium spp*, *Penicillium spp* y *Rhizopus spp*.

En algunos casos, el desarrollo de la enfermedad puede iniciarse como resultado del ataque de nematodos que producen deformaciones y rajaduras en algunos bulbos, que no siempre son eliminados en la selección. En general debe considerarse que el manejo adecuado de la temperatura es la principal arma de control. Las temperaturas bajas, sumadas a una baja humedad relativa son generalmente más efectivas que cualquier otro tratamiento, incluyendo los químicos, para controlar enfermedades.

### Daños por hongos

- ✓ ***Aspergillus niger* (moho negro).** Es el principal microorganismo que ataca a la cebolla durante el almacenamiento sobre todo a temperatura y humedad relativa altas. Afecta las catáfilas externas de la cebolla produciendo manchas pulverulentas de color negro (espora del hongo) que desmerecen marcadamente la calidad comercial del producto. Además puede atacar las catáfilas carnosas observándose surcos de podredumbre más o menos hundidos y de consistencia seca, dependiendo de la humedad del ambiente. Puede pasar de los bulbos enfermos a los sanos. La superficie de las cebollas se debe mantener seca durante y luego de la cosecha (almacenaje) (Fernandez *et al.*, 1999)

Cuando toda la superficie del bulbo se vuelve negra, la cebolla se marchita, se arruga, se infecta secundariamente con bacterias y llega a pudrirse.



Tras la cosecha, se evita el moho negro transportando y almacenando los bulbos a menos de 15 °C o con muy poca humedad. La infección se reduce al mínimo evitando golpear y cortar los bulbos.

- ✓ **Podredumbre basal (*Fusarium spp*)**. Generalmente, la infección ocurre en el campo y se manifiesta en el almacenamiento. La podredumbre seca o semihúmeda, aparece en la base del bulbo y puede afectarlo en su totalidad. El tejido dañado se vuelve acuoso. La infección se puede difundir de cebollas enfermas a sanas. Es una de las principales causas de pérdidas en post-cosecha. Hay que evitar el cultivo de cebolla en campos donde en años anteriores hubo ataques de esta enfermedad (Fernández et al., 1999)
- ✓ **Moho Azul**. Pudrición acuosa en el cuello y escamas externas, seguido por la aparición de esporas de color verde-azulado (ocasionalmente amarillo-verdoso) es causada por el hongo *Penicillium*. Se deben minimizar las magulladuras y otros daños mecánicos, escaldado de sol y daño por congelamiento (UCDavis, 2013).

### **Enfermedades causadas por bacterias**

Se caracterizan por ser pudriciones blandas y muchas veces de olor desagradable. Las bacterias entran por heridas producidas antes o después de la cosecha. Los principales géneros son *Erwinia* y *Pseudomonas*. La utilización de bajas temperaturas y un cuidadoso manejo para evitar las heridas son el mejor control preventivo de estas enfermedades.

- ✓ **Pudrición Bacteriana/Pudrición Blanda**. Caracterizada por zonas acuosas, malolientes, y con líquido viscoso, esta pudrición es causada por la bacteria *Erwinia carotovora subsp. Carotovora* (UCDavis, 2013) La *Erwinia* puede infectar las plantas en el campo. Las hojas se marchitan y finalmente se secan. Si se realiza un corte longitudinal de una planta infectada, se observará que la parte media del bulbo nuevo aparece completamente suelta y muy pegajosa. Las túnicas se vuelven blandas y con aspecto acuoso. Más tarde, se formará una sustancia gelatinosa de color entre amarillo claro y marrón claro. Los bulbos

afectados son blandos y acuosos y, cuando se aprietan, sale de ellos un fluido o pulpa pegajosa (Bejo, 2011)

Las bacterias que causan estos problemas en el cultivo de cebollas sólo se encuentran en el suelo, el agua de riego y en restos de cultivos anteriores. La infección empieza casi siempre a través de heridas provocadas por daños por insectos, granizo, la lluvia abundante y el fuerte viento. Por otra parte, si llueve suavemente durante un período prolongado, las hojas pueden quedar empapadas, porque se mantienen unidas o porque las axilas de las hojas se llenan con agua y empiezan a pudrirse. Las bacterias penetran sobre todo en el bulbo a través de heridas en el cuello, pero no siempre ocurre así. Cuanto más elevada es la temperatura, más rápidamente avanza la infección. Las bacterias quedan inactivas a temperaturas inferiores a los 3° C (Bejo, 2011)

### **3.2. Factores que afectan la conservación de la cebolla**

**a) Secado (curado).** Después de la cosecha este es un proceso fundamental para lograr una buena conservación de los bulbos. El proceso de secado tiene como objetivo reducir la humedad de las catáfilas externas, el cuello y las raíces, esto permite reducir las pérdidas de agua del bulbo durante el almacenamiento siendo una barrera física para daños mecánicos y patológicos.

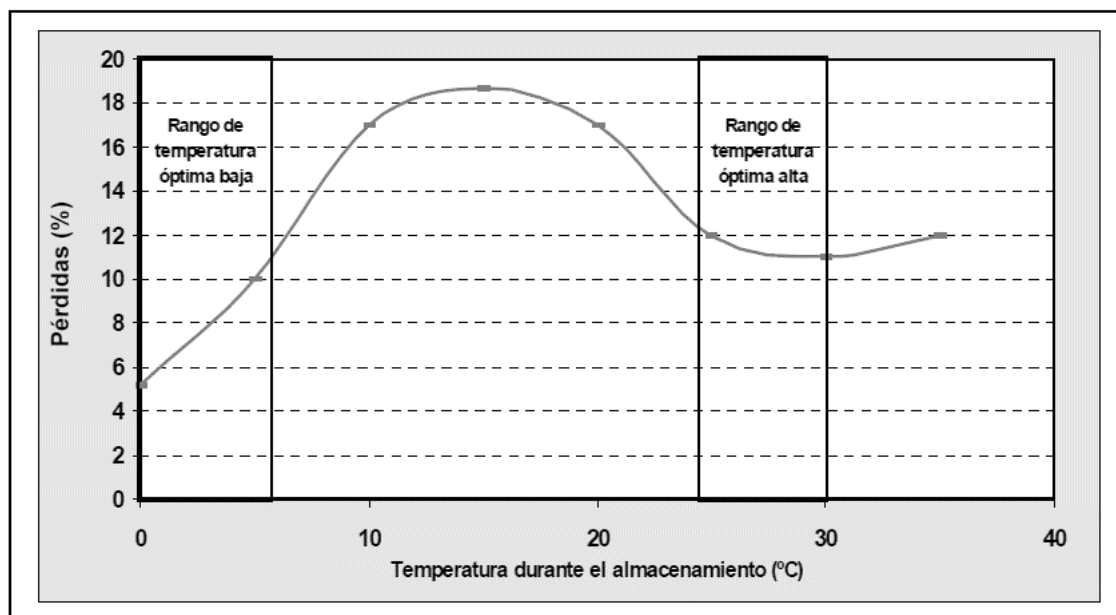
Las condiciones ambientales ideales para un buen secado de los bulbos de cebolla son a una temperatura entre 36-38°C, humedad relativa de 50-60% y una ventilación (circulación de aire) de 7 a 20 metros cúbicos de aire/minuto/metro cúbico de cebolla (Zaccari, 2007).

**b) Temperatura.** Es uno de los factores que tienen mayor influencia en la actividad metabólica de los productos hortofrutícolas. Si la temperatura aumenta igualmente se incrementará la velocidad de la respiración, generando una mayor cantidad de calor lo que disminuye la vida poscosecha de los productos.

La temperatura actúa directamente en procesos fisiológicos relacionados a la inhibición de la brotación y en menor grado en la formación de raíces de los bulbos. A su vez la temperatura alta favorece el crecimiento de microbios causantes de enfermedad.

La temperatura ideal para una buena conservación de cebolla es de 0-5°C o 28-30°C. La temperatura de congelación es de -0.4 a -0.8°C. Bajas temperaturas producen ablandamiento y ennegrecimiento de los tejidos. Cuando se conservan a temperaturas bajas se recomienda 1 a 2°C, pasando luego a un periodo de reacondicionamiento antes de ir a la venta para evitar la condensación de agua. Por otro lado, la temperatura máxima tolerada por los bulbos es de 38 a 41°C pero en esta última temperatura existe el riesgo de crecimiento de microorganismos (Zaccari, 2007).

Temperaturas altas producen daños, ablandamiento, quedando el aspecto de tejidos cocidos, así mismo promueven el desarrollo de los agentes patógenos (hongos y bacterias) en mayor velocidad. La brotación es más tardía a 0°C que a temperaturas de almacenamiento de 5 a 10°C. A su vez las temperaturas entre 16 a 22°C son promotoras de la brotación siendo el óptimo 15°C, siendo ésta inhibida a 30°C. Una respuesta similar a los cambios de temperatura presenta la formación de raíces, solo que la temperatura óptima se encuentra en rangos más bajos (9-11°C) (Zaccari, 2007). En la Figura 13 se presenta el efecto general de la temperatura en el porcentaje de brotación de cebollas almacenadas.



**Figura 13.** Porcentaje de pérdidas por brotación en cebolla por efecto de la temperatura (Fuente: Brice *et al.*, 1997)

La cebolla puede ser afectada por **congelamiento**, su punto de congelación es de aproximadamente  $-1^{\circ}\text{C}$  dependiendo de la variedad y contenido de sólidos. Los bulbos pueden verse afectados presentando una coloración amarillo-grisácea y una consistencia acuosa. Este desorden progresa de la superficie hacia el centro de los bulbos y de la periferia hacia la parte central de la hortaliza. Algunas medidas tendientes a aliviar el daño en bulbos afectados consisten en descongelar el producto lentamente, hasta cerca de  $4^{\circ}\text{C}$  y comercializarlo inmediatamente (Furlani y Rivero, 2010)

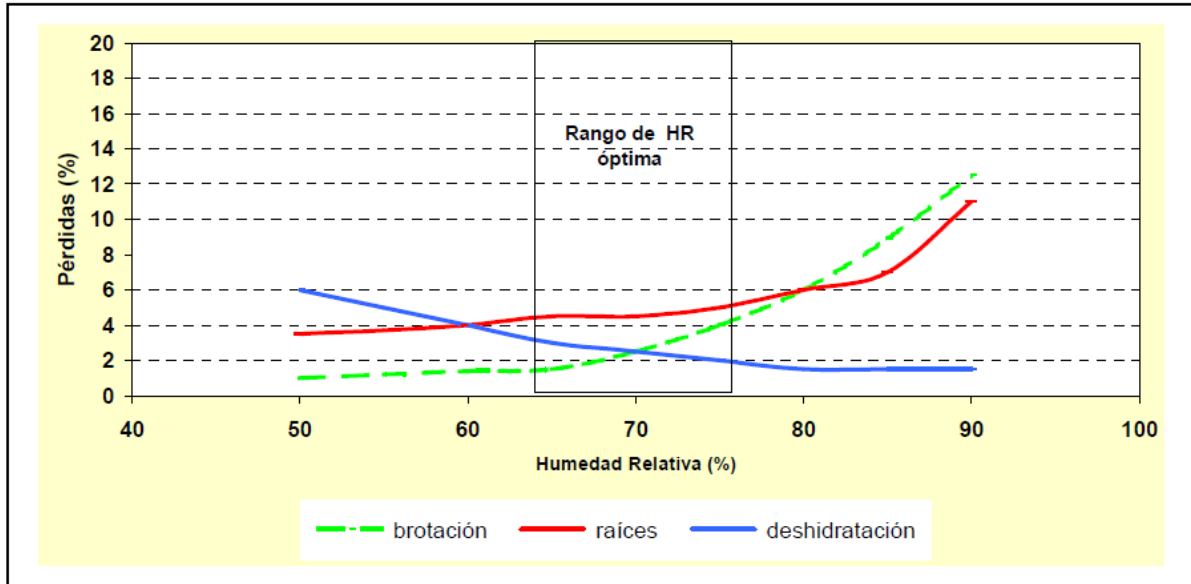
Otro problema que puede presentarse en la cebolla es el de **catáfilas traslucidas**, problema que se genera más frecuentemente después de 3 o 4 meses de almacenamiento en frío, siendo su incidencia más común en bulbos grandes. Suele iniciarse en la porción más curva de las catáfilas y puede comprometer la base de las hojas más externas. Las catáfilas se tornan parcialmente transparentes, en contraste con la apariencia opaca del tejido sano, y los vasos conductores se hacen más notables. En casos severos, el bulbo se ablanda y es invadido por distintos patógenos. Su incidencia se reduce significativamente enfriando lo antes posible el producto luego de ser curado (Furlani y Rivero, 2010).

**c) Humedad relativa (HR).** La HR alta en el ambiente (mayores a 80%) es uno de los enemigos más importantes para la conservación de cebolla, ya que estimula la formación de raíces nuevas en los bulbos y promueve el desarrollo de patógenos (hongos y bacterias) en un rango amplio de temperaturas.

La humedad relativa alta, con condensación de agua sobre la cáscara, determina fermentaciones en las catáfilas externas y en consecuencia presencia de manchas deteriorando la presentación y calidad externa de los bulbos.

La humedad relativa baja (menor a 60%) incrementa la pérdida de peso debido a la deshidratación de los bulbos llegando a evidenciarse arrugamientos, aspecto no deseado para la comercialización de los mismos (Zaccari, 2007).

En general la pérdida de tan solo un 5% de peso en un fruto da como consecuencia una apariencia poco atractiva, disminuyendo su valor en el mercado. En la Figura 14 se muestra el efecto general de la humedad relativa en la calidad de cebollas almacenadas.



**Figura 14.** Efecto de la humedad relativa en la calidad de cebollas almacenadas (Fuente: Brice *et al.*, 1997).

### 3.3. Almacenamiento de cebolla en atmósferas controladas

En cebollas, se han realizado diversas investigaciones con el objetivo de incrementar su vida de anaquel y conservar su calidad comercial debido a que durante su recolección, manipulación, transporte, envasado y almacenamiento se exponen a varios tratamientos y condiciones ambientales que pueden afectar sus atributos de calidad y características fisiológicas. Estos efectos podrían ser responsables de varias reacciones y estrés, causando importantes cambios bioquímicos en los tejidos del bulbo (Benkeblia y Varoquaux, 2003).

Aunque la cebolla se clasifica como de baja perecibilidad debido a su baja tasa de respiración (Kader, 1993), durante su almacenamiento, especialmente en periodos largos, se registran mermas de bulbos comercializables ya sea por brotación, emisión de raíces, pudrición, pérdidas de peso y daños fitopatológicos (González *et al.*, 2005). Los daños dependen de la temperatura y la variedad siendo las de ciclo corto las más precoces en la brotación y la temperatura de 5°C como la óptima para este desorden y rompimiento de la dormancia (Isenbeck, 1979).

El almacenamiento comercial de cebollas en AC no es común en la actualidad, sin embargo, debido a que la producción de esta hortaliza es muy estacional en México, esta tecnología puede ser muy útil y permite ofrecer al mercado productos de calidad en épocas de poca oferta y altos precios satisfaciendo la demanda que existe todo el año.

### **3.3.1 Composición química de la cebolla**

La composición química de la cebolla difiere entre variedades pero en general, se caracterizan por un gran contenido en agua, con un 92% como término medio. El contenido en materia seca es de 7.5% en promedio; de ésta un 75% le corresponde a los carbohidratos en forma de azúcares simples (glucosa y fructosa), un 18% en forma de sacarosa y un 7% como fructanos de reserva. Una de sus principales características son sus típicos compuestos azufrados, que les proporcionan su característico sabor picante y olor particular. Estos compuestos generalmente, forman parte de varios aminoácidos no proteicos, que incluyen los precursores de los compuestos volátiles del aroma y del sabor. Estos precursores son aminoácidos no volátiles (S-alquil-cisteín sulfóxidos) que carecen de olor. Cuando se daña el tejido fresco, la enzima Allinasa reacciona con los precursores del aroma y del sabor liberando ácidos sulfénicos, muy reactivos, más amoníaco y piruvato. Los ácidos sulfénicos liberados experimentan una reordenación espontánea e interaccionan produciendo una amplia gama de productos volátiles de fuerte olor. Entre ellos destacan el sulfóxido de tiopropanal, un compuesto lacrimógeno que es el que hace llorar al picar la cebolla (Collado-Fernández *et al.*, 2007).

La composición química de la cebolla puede variar dependiendo de diversos factores entre ellos la variedad. A continuación se enlista el contenido de nutrientes obtenido por Yahaya *et al.*, (2010): proteína 6.48 g/100 g; humedad 93.11 (g/100 g; lípidos 11.13 g/100 g; fibra cruda 13.56g/100 g; carbohidratos 64.53 g/100g; además es rica en potasio (2395.8 µg/g), calcio (7101.4 µg/g), fósforo (2395.8 µg/g), magnesio (4221.1 µg/g) y sodio (238.3 µg/g). Contiene vitamina C (198 mg/100g) y vitamina A (88.5 mg/100g)

### 3.3.2. Índice de cosecha de la cebolla

El índice de madurez para la cosecha más utilizado en cebolla es el debilitamiento y curvatura de las hojas en la zona del falso cuello, para luego secarse totalmente.

En el Estado de Chihuahua la cebolla puede cosecharse cuando del 70 a 90 % de las plantas han doblado el follaje por su base. Si la cosecha se realiza antes los rendimientos se reducen y si se retrasa, se afecta la calidad de los bulbos y disminuye la vida de almacenaje (Gobierno del Estado de Chihuahua-SAGARPA, 2011).

### 3.3.3 Fisiología de la cebolla

**a) Respiración.** La cebolla tiene una tasa de respiración baja en comparación con otras frutas y hortalizas. Presenta una tasa respiratoria de 3-4 mL/kg·h a 0-5°C y de 27-29 mL/kg·h a 25-27°C (UCDavis, 2013), este dato depende de la temperatura a la cual se almacenen los bulbos y del estado fisiológico de la hortaliza. Golpes o magulladuras, brotación y emisión de raíces y otros desordenes aumentan las tasas respiratorias. Esta condición favorece el almacenamiento en atmósferas controladas y no es muy necesario el uso de absorbedores de CO<sub>2</sub> dentro de las cámaras como en otras frutas.

**b) Producción de etileno.** Al igual que la tasa respiratoria, la tasa de producción de etileno de las cebollas enteras es relativamente baja con <0.1 µL/kg·h a 0-5°C (UCDavis, 2013), lo cual confiere gran ventaja durante su conservación.

### 3.3.4. Cosecha y curado de la cebolla.

En el Estado de Chihuahua la cosecha de la cebolla se realiza extrayendo la planta con una cuchilla o picos. Una vez extraídas las plantas del suelo se dejan en el campo 1 ó 2 días procurando cubrir el bulbo con el follaje para que no lo dañe el sol, después, se elimina el follaje dejando alrededor de 2 cm de tallo y la raíz (labor conocida como tapeo). Los bulbos se dejan expuestos al sol por unas horas para que se sequen las capas exteriores, se deshidrate y selle el cuello donde se realizó el corte y se depositan en costales de ixtle a tres cuartos de su capacidad. Los costales se pueden dejar en el campo por unas horas más para que el cuello donde se realizó el corte termine de

secarse y finalmente se llevan al empaque o al almacén (Gobierno del Estado de Chihuahua-SAGARPA, 2011).

### **3.3.5 Condiciones de almacenamiento de cebolla en atmósferas controladas**

Las cebollas que se van a almacenar en atmósferas controladas deben tener la madurez correcta, estar muy bien curadas, secas y sanas, por lo que deben ser rigurosamente seleccionadas, se debe evitar golpearlas en todo el proceso poscosecha de manera que estén libres de cualquier daño. Debemos recordar que el almacenamiento solo va a conservar la calidad con la que ingrese la cebolla.

La respuesta a las atmósferas controladas depende de diversos factores entre ellos de la variedad.

En el Estado de Chihuahua en la zona de Delicias, se siembran distintas variedades dependiendo del fotoperiodo. En la época de producción conocida como de invierno se deben sembrar variedades de fotoperiodo corto (10 a 12 horas luz por día) como: V. Early White Grano, H. Early Supreme, V. Grano Delicias, V. Mariana, V. Marquesa, V. Contessa, V. Texas Early White, V. Globo Delicias y V. temprana. En el fotoperiodo intermedio (12 a 13 horas luz) se han evaluado pocas alternativas en este grupo, pero se pueden mencionar las siguientes: H. Alabaster y H. Casper. Y en el fotoperiodo largo (más de 13 horas luz) evaluaciones preliminares indican que los genotipos: V. Ringmaster, V. Blanco Duro, H. Sterling y H. Everest, Y H. Diamond pueden ser buenas opciones (Gobierno del Estado de Chihuahua-SAGARPA, 2011).

#### **a) Recomendaciones para el almacenamiento de cebolla en AC**

A continuación se mencionan algunas recomendaciones generales para el almacenamiento de cebolla en atmósferas controladas (Sumner, 2000).

✓ *La cámara debe ser hermética y resistente a la humedad.*

La construcción debe proveer:

- ❖ Una barrera de vapor absoluta para prevenir la migración de la humedad en la cámara de AC.
- ❖ Aislamiento adecuado en paredes, techo y pisos.



- ❖ Alta hermeticidad (la cámara debe contener un medio de presión, cambio de presión 0.8-0.4 o 0.6-0.3 pulgadas de agua durante al menos 30 minutos). Una cámara con fugas requerirá excesiva adición de nitrógeno y dióxido de carbono. Las fugas alrededor de la puerta y un sello inapropiado son los principales contribuyentes en la pérdida de la hermeticidad en las cámaras.
- ❖ La cámara de AC debe estar protegida del viento y el contacto directo con la luz del sol y la lluvia para evitar cambios muy bruscos de temperatura que pueden causar fugas en ésta.
- ❖ Cada cámara debe tener una válvula de liberación de vacío-presión y debe estar equipada con una bolsa de aire para evitar la pérdida de la atmósfera cuando se produce pequeñas fluctuaciones en la presión.
- ❖ Una bolsa de aire de gran tamaño puede ser necesaria para las cámaras en el almacenamiento de cebolla debido al gran aumento de volumen de aire durante el ciclo de desescarche del evaporador.
- ❖ Las cámaras deben estar interconectadas (con tubería de PVC y válvulas) para permitir más eficientemente el establecimiento de la atmósfera y la normalización de la presión. Este tipo de Interconexiones son de especial importancia en cámaras pequeñas.

✓ *Temperatura de almacenamiento.*

Algunas porciones de cebollas pueden congelarse a temperaturas de cerca de  $-0.6^{\circ}\text{C}$  ( $30.8^{\circ}\text{F}$ ).

Cada cámara debe tener al menos 2 unidades evaporadoras con una unidad condensadora (dimensionada para satisfacer la ganancia de calor de la cámara) equipada con recalentamiento. Los ciclos de descongelación de los evaporadores deben escalonarse con interconexiones de tuberías de PVC entre cámaras para servir como reguladores de expansión/contracción de la atmosfera. Un sistema de refrigeración de reserva puede ser aconsejable.

✓ *Circulación de aire.*

La circulación de aire de almacenamiento debe ser forzado a 100-200  $\text{m}^3/\text{ton}$  de cebolla. Se necesita circulación forzada de aire para mantener la temperatura y humedad relativa uniforme en toda la cámara de AC. Los ventiladores deben ser

colocados en la parte trasera de la sala (en el extremo opuesto de la puerta de entrada). El apilamiento de los bins debe permitir la circulación del flujo de aire a través de éstos. La velocidad de los ventiladores debe ser variable y controlada para alcanzar condiciones de humedad relativa lo más uniforme posible en toda la cámara. El funcionamiento del ventilador debe comenzar cuando las primeras cebollas sean colocadas dentro de la cámara y continuar funcionando hasta que se retiren las últimas cebollas del almacén.

✓ *Humedad relativa.*

La cebolla puede perder cierta cantidad de humedad durante el almacenamiento en AC. Por ejemplo la cebolla Vidalia podría perder de 1% a 1.5% de peso por mes. El sistema de deshumidificación debe ser capaz de retirar esta cantidad de agua sin afectar significativamente la temperatura de almacenamiento. El funcionamiento de las unidades de deshumidificación es controlado por el higrostat. El control inadecuado de la humedad relativa, la circulación del aire y la temperatura puede causar una pérdida completa de la cebolla durante el almacenamiento.

✓ *Baja concentración de oxígeno en la cámara de AC.*

Un nivel bajo de oxígeno, por ejemplo 3%, reduce la respiración, la pérdida de azúcares y prolonga la vida de almacenamiento de las cebollas. En este ambiente, los seres humanos pueden perder la conciencia en menos de 30 segundos, no se puede respirar y el latido de su corazón se detiene en pocos minutos. Por lo que no debe entrar en una cámara de AC con baja concentración de oxígeno sin aparatos de respiración.

✓ *Alta concentración de CO<sub>2</sub> en la cámara de AC.*

Una atmósfera alta en dióxido de carbono, por ejemplo 5%, inhibe la respiración y desarrollo de pungencia, y prolonga el almacenamiento y la vida útil después del almacenamiento de la cebolla. Probablemente el CO<sub>2</sub> producido por la cebolla no sea suficiente para desarrollar y mantener un nivel alto de este gas. El dióxido de carbono puede ser suministrado de cilindros y se dosifica en la cámara, según sea necesario.

✓ *Sistema de monitoreo y control de la cámara de AC.*

Es esencial para controlar la temperatura, la humedad y la atmósfera en las cámaras de AC sin entrar en ellas.

Este control incluye la medición de al menos dos veces al día de:

a) La temperatura en las zonas más cálidas y más frías de la cámara con una alarma para altas y bajas temperaturas.

b) Las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono. Los ajustes de estos se pueden hacer manualmente o automáticamente con un sistema computarizado.

c) Humedad relativa. Los sensores de humedad relativa ubicados en la parte delantera y trasera de la cámara se utilizan para monitorear las diferencias de HR sobre la que se basa la velocidad de circulación de aire, cuando esta diferencia es muy grande se debe aumentar la velocidad del ventilador. Este ajuste de velocidad del ventilador también se puede hacer manualmente o automáticamente con un sistema computarizado. Debe mantenerse un registro de todas las mediciones y ajustes. Los sensores deben funcionar durante al menos 6 meses sin re calibración.

✓ *Calentamiento de la cebolla antes de retirarla de la cámara de AC.*

Las cebollas deben “calentarse” antes de la salida de almacén de AC para evitar la condensación de humedad sobre los bulbos. Los ventiladores deben operar durante todo el período de calentamiento. Podría necesitarse calor adicional para este proceso, pero la diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura de la superficie del bulbo no debe exceder el punto de rocío (aproximadamente 15°F o -9°C). La cámara debe ser ventilada antes de abrir la puerta.

✓ *El tamaño de la cámara debe reflejar la tasa de ventas de las cebollas.*

En general, cada cámara de AC debe contener el volumen de las cebollas que se venderá en 1 semana. Si las ventas semanales son menores que la capacidad de una cámara, las cebollas deben acondicionarse en otra área fuera de ella.

**Debe tomarse en cuenta que** el retiro de una parte de las cebollas de una cámara de AC reducirá la vida útil y la calidad de las cebollas restantes que queden dentro de ésta si las condiciones de almacenamiento no se restablecen. Además, la regeneración de la atmósfera de AC puede ser prohibitivamente cara si en la cámara hay espacios vacíos muy grandes (cámaras parcialmente llenas).

✓ *La cebolla debe ser vendida antes de iniciar el procedimiento de calentamiento. La pérdida de vida de anaquel debido a la brotación pueden aumentar rápidamente*

después de cerca de 3 semanas. Las cebollas deben tener una buena circulación de aire a través de la comercialización para prevenir deterioro por desarrollo de raíces y el crecimiento de hongo superficial

#### **b) Trabajos de investigación sobre el almacenamiento de cebolla en AC.**

En cebolla, como en otras frutas y hortalizas, se han realizado distintos trabajos de investigación para encontrar las condiciones de concentración de gases, temperatura y humedad relativa que permitan conservar la calidad de los bulbos por el mayor tiempo posible, de manera que pueda ampliarse su comercialización.

En base a los trabajos de algunos investigadores las recomendaciones de almacenamiento son las siguientes:

- a. 1% de O<sub>2</sub> + 1% de CO<sub>2</sub> a 1°C y 65-70% de humedad con lo que se logró inhibir la brotación y se conservó la hortaliza hasta por un año (Tanaka *et al.*, 1996).
- b. 5% de CO<sub>2</sub> + 3% de O<sub>2</sub> a 1°C (Adamicki y Kepka, 1974; Boyhan *et al.*, 2004).

Las atmósferas controladas dan mejores resultados cuando se almacenan al inicio de la temporada justo después del curado de los bulbos.

Factores como la irrigación, fecha de cosecha, condiciones ambientales, variedad, uso de reguladores del crecimiento, fertilización y tipo de curado tienen efecto en la conservación de cebolla en AC.

Debido a que se ha demostrado que la efectividad de las atmósferas depende de diversos factores, se almacenó cebolla producida en la región Centro-Sur del Estado de Chihuahua en un sistema experimental a nivel de laboratorio para validar la información obtenida por otros investigadores

Para el experimento se utilizó cebolla de la variedad Sierra Blanca de la cosecha de Junio del 2014 de fotoperiodo intermedio. Para el almacenamiento la cebolla se seleccionó y limpió para eliminar residuos de tierra, después se colocó en frascos de vidrio de 20 litros acondicionados con tapas para garantizar la hermeticidad (Figura 15) y se guardaron en refrigeración. Las puertas de los refrigeradores se cubrieron con

papel aluminio para evitar la incidencia de la luz en los bulbos (Figura 16). A los frascos se les hizo llegar las mezclas deseadas de los gases (N y CO<sub>2</sub>) comerciales y aire (con un compresor) los cuales fueron mezclados previamente. Las condiciones de almacenamiento (concentración y flujo de los gases, temperatura y humedad relativa) se monitorearon diariamente. Cada mes se retiraron dos frascos del sistema de AC y se evaluaron sus características de calidad durante 7 meses. Después de que las cebollas se retiraron de las AC una muestra se almaceno en refrigeración y la otra en el ambiente del laboratorio y se muestrearon al día 7, 14 y 21 para observar su comportamiento y evaluar su calidad.



**Figura 15.** Frascos utilizados como cámaras herméticas para almacenar cebolla en AC



**Figura 16.** Cebolla almacenada en AC

**Se utilizaron 3 tratamientos:**

1. 3% de O<sub>2</sub>, 5% de CO<sub>2</sub> y 92% de Nitrógeno a una temperatura de 2.5°C y humedad relativa de 60-75%
2. 1% de O<sub>2</sub>, 1% de CO<sub>2</sub> y 98% de Nitrógeno a una temperatura de 2.5°C y humedad relativa de 60-75%.
3. Testigo, cebolla almacenada en refrigeración con atmósfera normal de 21 % O<sub>2</sub>, 0.03 de CO<sub>2</sub> y 78.9 % de N a una temperatura de 2.5°C y humedad relativa de 60-75%.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la cebolla almacenada en AC mantuvo sus características de calidad comercial durante los siete meses de almacenamiento, con los tratamientos empleados se logró inhibir la brotación y conservar los parámetros de calidad establecidos previamente respecto al testigo.

En la Figura 17 se presentan las muestras de cebolla utilizadas para el experimento al inicio de cosecha y a los 7 meses de almacenamiento.

Como se observa en dicha Figura, la cebolla evaluada en general mantuvo su calidad, solo se observó un ligero problema de “verdeo”, lo cual se atribuye a la apertura constante de los refrigeradores durante el monitoreo diario de las condiciones de

almacenamiento, ya que las puertas de los refrigeradores se cubrieron con papel aluminio para evitar la incidencia de la luz; este problema se detectó de manera visual y mediante el análisis instrumental del color.

La medición del color superficial de los bulbos se hizo en base a las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de la escala CIE, donde  $L$  se refiere a la luminosidad tomando valores de 100 (blanco) y 0 (negro); mientras que  $a$  y  $b$ , no tienen límites, pero sí valores positivos o negativos. La escala de  $a$  se mueve de los valores positivos (rojo +) a los negativos (verde -); y la escala de  $b$  va del amarillo (+) al azul (-).

Los resultados obtenidos mostraron que las cebollas tratadas en AC no cambiaron su luminosidad a través del tiempo de almacenamiento, mientras que las cebollas testigo se tornaron opacas desde el primer mes de conservación con una reducción muy significativa en su luminosidad al sexto mes de almacenadas.

Así mismo, el valor de  $a$  en todos los tratamientos fue negativo lo cual significa que hubo una tendencia hacia el color verde, en promedio no hubo diferencia estadística entre tratamientos pero el valor más alto le correspondió al testigo, seguido por el T2 y después por T1.



**Figura 17.** Cebollas almacenadas en atmósferas controladas. **a)** Al inicio de la cosecha; **b)** Cebolla almacenada durante 7 meses con 3% de O<sub>2</sub> y 5% de CO<sub>2</sub>. **c)** Cebolla almacenada durante 7 meses con 1% de O<sub>2</sub> y 1% de CO<sub>2</sub>



En las cebollas almacenadas en AC no hubo efecto estadístico significativo del tiempo en la coloración verde pero en el testigo se observó un incremento para el último mes de almacenamiento

Los valores de **b** para los tres tratamientos fueron positivos, es decir, todos mostraron tendencia hacia el color amarillo, las cebollas testigo fueron más amarillas que las del T1 y T2, y con el tiempo de almacenamiento este valor aumentó.

Las cebollas del T1 aumentaron su coloración amarilla a partir del mes de septiembre, las del T2 a partir de octubre y el testigo apenas a un mes de almacenadas (Julio), esta tendencia hacia el amarillo puede ser lo que se detecta como “verdeo” a simple vista en las cebollas.

Los valores de pungencia obtenidos demostraron que la cebolla analizada se clasificó como extra dulce o muy suave ya que el valor de ácido pirúvico fue menor a 3 micromoles/ g de tejido fresco. En promedio las cebollas testigo tuvieron mayor contenido de ácido pirúvico que las del T2 y T1, y de estas dos últimas las del T1 fueron menos pungentes. Durante el almacenamiento el valor del ácido pirúvico se incrementó y el cambio fue mayor para el testigo.

Con lo que respecta a los microorganismos, las cebollas testigo tuvieron presencia de hongos al tercer y cuarto mes de almacenadas aproximadamente en un 3.03% de los bulbos, sin embargo, no fue posible seguir la evaluación de este daño por poca disponibilidad de muestra. Con respecto a las cebollas en AC estas tuvieron presencia de hongo (*Aspergillus*) hasta el quinto mes de muestreo en 1.5% de los bulbos para el tratamiento 1 y 1.6% para el tratamiento 2. En el sexto mes de almacenamiento solo se presentó daño en el tratamiento 2 en un 3.5% de las cebollas (2 bulbos) y en el séptimo mes se encontró un bulbo con hongo en el T1 lo que representó un 1.78% de daño y otro en el T2 con 1.72% de daño. Los daños fueron a nivel superficial del bulbo

Durante todo el periodo de almacenamiento no se presentó brotación externa visible en ninguna de las cebollas analizadas, sin embargo, si se detectó brotación interna en las cebollas testigo, este daño inicio en el tercer mes de almacenamiento en un 20% de los bulbos muestreados y se fue incrementando hasta llegar al 100% de las cebollas muestreadas al sexto mes de conservación.

En cuanto a las cebollas mantenidas en AC en general se logró inhibir este problema fisiológico en los bulbos, solo se observó inicios de brotes internos en un 20% de la cebolla analizada del tratamiento 2 (3% de O<sub>2</sub> y 5% de CO<sub>2</sub>) mantenida al ambiente durante 21 días después de ser retirada de la atmosfera controlada,

Las cebollas mantenidas al ambiente y en refrigeración durante 7, 14 y 21 días después de ser almacenadas en AC, en promedio no mostraron diferencia estadística en algunos parámetros como el color en los tres tiempos evaluados, pero si cambiaron otras variables como el contenido de sólidos solubles, pungencia, materia seca y firmeza y los cambios fueron más marcados para el día 21. En la mayoría de los parámetros analizados no hubo diferencia entre almacenar a temperatura ambiente (23°C) y refrigeración.

En general las atmósferas controladas siguieron proporcionando protección a la cebolla aun después de ser retirada de estas, ya que los bulbos conservados bajo esta tecnología presentaron mejores valores de los parámetros de calidad evaluados que las cebollas testigo

De acuerdo con los resultados obtenidos el tratamiento 1 (1% de O<sub>2</sub> y 1% de CO<sub>2</sub>) fue el más adecuado para almacenar la cebolla Chihuahuense ya que logro conservar los principales parámetros de calidad durante los 7 meses de almacenamiento en AC.

## LITERATURA CITADA

1. Adamicki, F. and Kepka, A.K. 1974. Storage of onions in controlled atmospheres. Acta Hort. 38:53-74.
2. Agroripe, 2015. Controlled atmosphere storage. Disponible en: <http://www.agroripe.com/controlled-atmosphere-storage/> Accesado: Febrero, 2015
3. Artés, F. 1987. Refrigeración y comercialización hortofrutícolas en la Región de Murcia. II Edición. Ed. CEBAS-CSIC. 150 p.
4. Bahamondez, R. S., 2015. La atmósfera controlada. Disponible en: [http://www.forofrio.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=96](http://www.forofrio.com/index.php?option=com_content&view=article&id=96). Accesado: Enero 2015.

5. Bejo Z. B.V. 2011. Enfermedades y plagas importantes en cebollas. Disponible en: <http://static.plenummedia.com/34081/files/20130126104951-bejo-enfermedades-y-plagas-cebollas.pdf>. Accesado: Marzo, 2015
6. Benkeblia, N., & Varoquaux, P. 2003. Effect of irradiation, temperature and storage time on glucose, fructose and sucrose status of onion bulbs *Allium cepa* L. *International Agrophysics*, 17:1–5.
7. Bishop, D. 1990. Controlled atmosphere storage. En C.V.J. Dellino (Ed). *Cold and Chilled Storage Tecnology*. Blackie and Son Ltd. Glasgow, Nueva Zelanda
8. Bohyan, G.E., A. C. Purvis., W. C. Hurst., R.L. Torrance., J.T, Paulk. 2004. Harvest date effect on yield and controlled-atmosphere storability of short-day onions. *HortScience* 39(7):1623-1629.
9. Brice, J. L., Currah, L., Malins, A., bancroft, R. 1997. *Onion storage in the tropics. A practical guide to methods of storage and their selection*. Natural Resourxes Institute. The University of Greenwich. UK. 116 p.
10. Calvo, G y Candan, A. P. 2012. Tendencias para la conservación de frutas de pepita. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 13(2):153-159.
11. Cerón-Carrillo, T. G y Rodríguez-Martínez, V. 2007. *Atmósferas controladas: principios, desarrollo y aplicaciones de esta tecnología en alimentos*. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 1:55-65.
12. Day, B. P. F. 1993. *Fruit and vegetables, principles and applications of modified atmosphere packaging*, edited by, R.T. Parry, pp. 114-133, Glaskow, UK: Blackie.
13. FAO. 2003. *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas. Del campo al mercado*. Boletín 151 de Servicios Agrícolas de la FAO.
14. FAO. 1996. *Manual de practicas de manejo postcosecha de los productos hortofrutícolas a pequeña escala. Capítulo 4: Empaque y materiales de empaque*. Series de Horticultura Postcosecha No. 8S.
15. Farber, J. M. 1991. Microbiological aspects of modified atmosphere packaging-a review. *J. Food Prot.*, Vol. 54, pp. 58-70.
16. Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural. 2008. *Cebolla Fuentes de Ebro: Estudios sobre la calidad del material vegetal en Aragón*. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Informaciones técnicas No. 194.
17. Fernández, L. J., Liverotti, O., Wocca, F. 1999. *Manejo poscosecha de cebolla, Control de calidad, Inspección de Frutas y Hortalizas*. Corporación del Mercado Central de Buenos Aires 30 pp. Disponible en: <http://www.mercadocentral.gob.ar/ziptecnicas/cebolla.pdf>. Accesado: febrero, 2015.
18. Furlani, M.A y Rivero, M.L. 2010. *Manual del Cultivo de la cebolla*. Centro Regional Cuyo INTA. 10 p. ISSN: 0327-3377.

19. Fruitong (FRT). 2015. Depurador de CO<sub>2</sub>/Absorbedor de dióxido de carbono. Disponible en: <http://ca-storage.es/1-1-co2-scrubber-es/130546>. Accesado: Enero 2015.
20. Fruit Control Equipments, 2015. Convertidor catalítico para la reducción de etileno y de productos volátiles (aromáticos). Disponible en: <http://www.fruitcontrol.it/es/convertidores-cataliticos/>. Accesado: Enero, 2015.
21. Gobierno del Estado de Chihuahua-SAGARPA. 2011. Plan Rector del sistema Producto Cebolla Chihuahua. 68 pp. Disponible en: [http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/estatales/ept%20comite%20sistema%20producto%20cebolla%20chihuahua/plan%20rector%20que%20contiene%20programa%20de%20trabajo%202012/pr\\_cebolla\\_chihuahua\\_2012.pdf](http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/estatales/ept%20comite%20sistema%20producto%20cebolla%20chihuahua/plan%20rector%20que%20contiene%20programa%20de%20trabajo%202012/pr_cebolla_chihuahua_2012.pdf).
22. Gómez, P.A.; Camelo, A.F.L.2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. Horticultura Brasileira, Brasília, 20(1):38-43.
23. González, M. V., J.P, Miravé., J.A, Saluzzo. 2005. Relaciones entre el tamaño y la conservación de bulbos de cebolla para diferentes cultivares y condiciones de almacenamiento. Revista FAVE- Ciencias Agrarias. 4:21-30.
24. Graell, J y Ortiz, A. 2003. Recomendaciones para almacenamiento en atmosfera controlada. Revista Horticultura. 172:38-43.
25. Griffiths G., L. Trueman., T. Crowther., B. Thomas and B. Smith . 2002. Onions--a global benefit to health. Phytother Res. 16(7):603-615.
26. International Institute of Refrigeration (IIR). 1995. Guide to refrigerated transport. Ed. Int. Inst. Refrigeration. 150 pág.
27. Isenberg, F. M. R. 1979. Controlled atmosphere storage of vegetables. Horticultural Review 1: 337-394.
28. ISOLCELL, 2015. Puertas aislantes para cámara frigorífica y para cámara AC. Disponible en: <http://www.poscosecha.com/es/empresas/isolcell-spa/ id:23380,seccion:catalogodeproductos,producto:10165/>. Accesado:enero 2015.
29. Kader, A.A. 1990. Modified atmospheres during transport and storage of fresh fruits and vegetables. I Int. Cong. Food Technol. Develop. Murcia. 1: 149-163.
30. Kader, A.A., 1993. The Biology of Horticulture: An Introductory Textbook. New York: John Wiley and Sons, Inc. pp. 353-377.
31. Kader. A. A. 1994. Fruit, maturity, ripening and quality relationships. Perishables handling Newsletter. 80:2
32. Landa S. P., A. M. Hernández. A., J. Corrales. G., G. Mora A y C. Chaidez. Q. 2009. Sobrevivencia de salmonella typhimurium en melón 'cantaloupe' durante el almacenamiento refrigerado en atmósferas controladas. Rev. Fitotec. Mex. 32 (3): 209 – 215.

33. Lyrís, A. 2011a. Mayor vida útil y menor impacto de carbono. Disponible en: <http://www.freshplaza.es/article/49971/Bolsa-Xtend-es-utilizada-para-los-espárragos-europeos>. Accesado: Febrero 2015.
34. Lyrís, A. 2011b. Plataforma para la extensión de vida de frutas y hortalizas frescas con tecnología de atmósfera modificada. Disponible en: <http://www.freshplaza.es/article/52400/Plataforma-para-la-extensi%F3n-de-vida-de-frutas-y-hortalizas-frescas-con-tecnolog%EDa-de-atm%F3sfera-modificada> Accesado: Febrero 2015.
35. Magaña-Benítez, W.; A.M. Balbín., J. Corrales, G. V. C. Saucedo., D.E. Sauri. 2010. Frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) frigoconservadas a 4°C en atmósferas controladas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 11(2):143-147.
36. Marcellin, P. 1992. Les maladies physiologiques du froid. En: *Les végétaux et le froid*. Ed. D. Côme. Edit. Hermann. París. 53-105.
37. Martínez-Damián M. T., M. Cantwell de Trejo. 2002. Cambios de calidad en espinaca almacenada en atmósferas controladas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 8(1): 49-62.
38. Martínez-Morales A., I Alía-Tejacal., M. T. Colinas-León., M. T. Martínez-Damian. 2004. Respiración y producción de etileno de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) almacenados previamente en atmósfera controlada. *Revista Investigación Agropecuaria* 2: 26-31.
39. Miedema, P., 1994. Bulb dormancy in onion. I. The effects of temperature and cultivar on sprouting and rooting. *Journal of Horticultural Science*, 69, 29-39.
40. NMX-FF-021-SCFI-2003. Productos alimenticios no industrializados para Consumo humano – bulbos - cebolla (*Allium cepa* L.) - Especificaciones (cancela a la NMX-FF-021-1986) CDU: 635.25
41. Oliveira de F. M. J., N. Rocha. L., S. A. Cenci., P. R. cecon., R. E. Bressan. S., N. Botrel. 2003. Control d la atmósfera en la conservación postcosecha de las papayas “Sunrise Solo” y “Golden”. *Revista Iberoamericana de tecnología Postcosecha*. 5(2):92-99.
42. Ospina, M. S. M. y Cartagena, V. J. R. 2008. La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*. 5( 299: 112-123.
43. Piña-Dumoulin G., V. C. Saucedo V., V. Ayala E., A. Muratalla L. 2001. Controlled atmospheres to reduce postharvest damage in Blackberry (*Rubus* sp.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 18: 87-105.
44. Spraying Systems Co. 2015. Equipos de humidificación por atomización. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Agua/FeriaVirtual/Producto-Equipos-de-humidificacion-por-atomizacion-45400-38164.html>. Accesado : Febrero 2015.
45. SAGARPA-SIAP. 2003. Análisis de la estacionalidad de la producción y precios en el mercado de productos hortofrutícolas y frijol. Disponible en: [http://www.campomexicano.gob.mx/portal\\_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/IndicadoresEconomicos/AnalisisEstacional/EstacAgric03.pdf](http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/IndicadoresEconomicos/AnalisisEstacional/EstacAgric03.pdf)

46. Raigón M. D. 2006. El nivel de pungencia en las cebollas. *Revista Horticultura Internacional*.51:48-51.
47. SIAP. 2013. Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera. Estadísticas ganaderas del Estado de Chihuahua. <http://www.siap.gob.mx>.
48. Sorensen, J.N. y Grevsen, K., 2002. Nitrogen and water stress affects sprouting in bulb onions stored over winter. *Acta Horticulturae*, 571, 98-86.
49. Sumner, P. E. 2000. Vidalia onion CA storage requirements. Cooperative Extension Service The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences. Disponible en: <http://www.caes.uga.edu/commodities/fruits/veg/pubs/documents/VIDALIAONIONCASTORAGEREQUIREMENTS.pdf>. Accesado: Febrero 2015.
50. Tanaka, K., Y. Matsuo, J. Egashira. 1996. Controlled atmosphere storage for onions. *Acta Hort. (ISHS)* 440:669-674.
51. UCDavis. 2015. Cebollas de Guarda: Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. Disponible en: [http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Cebollas\\_de\\_Guarda/](http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Cebollas_de_Guarda/) Accesado: Febrero 2015.
52. Van Amerongen. 2015. Medición de las pérdidas de humedad (medidores de HR). Disponible en: [http://www.van-amerongen.com/ES/Humedad\\_40\\_19\\_6.html](http://www.van-amerongen.com/ES/Humedad_40_19_6.html). Accesado: Enero 2015.
53. VentDepot, 2012. Desiccant Active DD300. Disponible en: [http://www.ventdepot.net/mexico/fichastecnicas/Deshumidificadores\\_DesiccantActive\\_D3\\_Ebac\\_DD300\\_Mexico\\_VentDepot.pdf](http://www.ventdepot.net/mexico/fichastecnicas/Deshumidificadores_DesiccantActive_D3_Ebac_DD300_Mexico_VentDepot.pdf). Accesado: Enero 2015.
54. Yahaya, Y., Birnin, Y. U. A., Bagudo, B. U. 2010. Study of nutrient content in bulb and stalk of onion (*Allium Sepa*) cultivated in Aliero, Kebbi Stat, Nigeria. *Nigerian Journal of Basic and Applied Science*. 18 (1): 83-89
55. Yahia, E. 1995a. Uso de atmósferas modificadas y controladas como medio de conservación de frutas y hortalizas. Memorias del simposio internacional de manejo postcosecha y perspectivas de comercialización de frutas y hortalizas, universidad nacional de Colombia, 27-30 de junio de 1995.
56. Yahia, E. 1995b. Atmósferas modificadas y controladas. 53 pp. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. ISBN: 968-5862-06-0.
57. Yahia, E. 1995c. La tecnología de las atmosferas modificadas y controladas I parte. *Revista Horticultura Internacional*. 7:37-39.
58. Zaccari, F. 2007. Conservación de cebolla para guarda (*Allium cepa*, L). Curso Horticultura. Disponible en: [http://www.fagro.edu.uy/~horticultura/CURSO%20HORTICULTURA/CEBOLLA\\_AJO/Material%20Apoyo%20Resumen%20conservacion%20de%20cebollas.pdf](http://www.fagro.edu.uy/~horticultura/CURSO%20HORTICULTURA/CEBOLLA_AJO/Material%20Apoyo%20Resumen%20conservacion%20de%20cebollas.pdf). Accesado: Febrero 2015.