

PNARS-705

# Principios de Almacenamiento de Papa



CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP)

HEMISFERIO SUR



Editorial Hemisferio Sur S.R.L.

# PRINCIPIOS DE ALMACENAMIENTO DE PAPA

Robert H. Booth  
y  
Roy L. Shaw



**Centro Internacional de la Papa (CIP)**



**Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S.R.L.**

*Título del original en inglés:* PRINCIPLES OF POTATO STORAGE  
Published by International Potato Center  
Apartado 5969, Lima Perú

*Autores:* ROBERT H. BOOTH  
ROY L. SHAW

*Título en español:* PRINCIPIOS DE ALMACENAMIENTO DE PAPA

*Traducido por:* GLORIA BARRON VELIS, M.Sc. en Comunicaciones

*Editado por:* MARCIANO MORALES-BERMUDEZ  
HEBER MARRAPODI SANGUINETTI  
HERNAN RINCON RINCON

---

El Centro Internacional de la Papa (CIP) es una entidad científica, autónoma y sin fines de lucro, establecida mediante Convenio con el Gobierno del Perú para desarrollar y diseminar conocimientos sobre la papa, con el propósito de lograr su mayor utilización como alimento básico. El CIP se financia con fondos internacionales destinados a la ayuda técnica de la agricultura.

---

**Centro Internacional de la Papa (CIP)**  
Apartado 5969, Lima, Perú. Tel. 366920  
Cable CIPAPA - Lima. Télex 25672 PE

**Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S.R.L.**  
Alzáibar 1328 - Casilla de Correo 1755  
Montevideo, Uruguay. Tel. 95 44 54  
(Enviar los pedidos a esta dirección.)

*Ilustración de la tapa:* Complejo de investigación y capacitación en almacenamiento del Centro Internacional de la Papa en Huaricayo, Perú.

# PROLOGO

Este manual combina la información científica, práctica y de ingeniería, con las experiencias en almacenamiento de papa, que los autores han tenido en numerosos países. Su propósito es ayudar a los científicos y técnicos a comprender y resolver los problemas de almacenamiento de papa. Por ello, en esta publicación se consideran algunos factores socioeconómicos importantes, añadiéndoles consideraciones básicas de biología e ingeniería. Se destacan y discuten principios básicos y apropiados para un amplio campo de necesidades de almacenamiento bajo situaciones diferentes.

# AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal del Centro Internacional de la Papa (CIP) por su asistencia en la preparación y producción de este manual. Entre las principales fuentes bibliográficas consultadas durante la preparación de la publicación se incluyen: (1) British Potato Marketing Board, Sutton Bridge Experimental Station Reports; (2) *The Potato*, by W. G. Burton, publ. H. Veenman and Zonen N. V., Wageningen, Holland; y (3) *The Potato Storage*, edited by B. F. Cargill, publ. Michigan State University, USA. El permiso para el uso de las cartas psicrométricas fue otorgado por "Carrier Corporation", Syracuse, New York.

# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCION . . . . .</b>	<b>1</b>	Términos y símbolos . . . . .	51
El sistema de almacenamiento . . . . .	3	Cálculo de los valores de (U) . . . . .	52
<b>2. NECESIDADES DE ALMACENAMIENTO . . . . .</b>	<b>5</b>	Barreras de vapor. . . . .	33
<b>3. LA PAPA . . . . .</b>	<b>13</b>	Psicrometría para el almacenamiento de papa . . . . .	54
Tubérculos de papa . . . . .	15	Cartas psicrométricas . . . . .	55
Pérdidas de poscosecha. . . . .	15	Cálculo de las necesidades de enfriamiento. . . . .	56
Factores físicos. . . . .	15	Cálculo de las necesidades de ventilación . . . . .	59
Pérdidas fisiológicas . . . . .	17	Sistema de ventilación . . . . .	60
Pérdidas patogénicas . . . . .	21	Ventilación con aire ambiental. . . . .	60
Métodos de reducción y control de pérdidas. . . . .	21	Ventilación natural por convección (VNC) . . . . .	60
<b>4. METODOS DE ALMACENAMIENTO . . . . .</b>	<b>27</b>	Ventilación por extracción forzada (VEF). . . . .	61
Introducción . . . . .	29	Ventilación con aire enfriado artificialmente . . . . .	62
Selección de métodos de almacenamiento . . . . .	29	Enfriamiento por evaporación . . . . .	62
Métodos alternativos de almacenamiento . . . . .	30	Refrigeración . . . . .	62
Postergación de la cosecha. . . . .	32	Sistema de humidificación. . . . .	62
Montones o pilas . . . . .	32	Distribución de aire . . . . .	53
Edificios adaptados y de propósito múltiple. . . . .	34	Resistencia al flujo de aire. . . . .	63
Almacenes de papa especialmente construidos . . . . .	34	Tamaño y distribución de los ductos. . . . .	64
Métodos de almacenamiento de tubércu- lo-semilla . . . . .	37	Recirculación . . . . .	68
Mejoramiento de los métodos de almacenamiento . . . . .	43	Aberturas de entrada y salida. . . . .	70
<b>5. INGENIERIA DE ALMACENAMIENTO. . . . .</b>	<b>47</b>	Selección de ventiladores . . . . .	71
Introducción . . . . .	49	<b>6. ADMINISTRACION DE LOS ALMACENES. . . . .</b>	<b>73</b>
Retención de los tubérculos. . . . .	49	Introducción . . . . .	75
Protección contra el clima. . . . .	50	Fase anterior al almacenamiento. . . . .	75
Aislamiento . . . . .	51	Fase de almacenamiento . . . . .	75
		Secado . . . . .	76

Curado . . . . .	76
Mantenimiento . . . . .	76
Acondicionamiento . . . . .	77
Desbrotamiento y prebrotación . . . . .	77
Prácticas de administración . . . . .	77
Seguimiento del control de la temperatura . . . . .	77
Seguimiento del control de la humedad . . . . .	78
Control de la temperatura . . . . .	78
Control de la humedad . . . . .	79
Fase posterior al almacenamiento . . . . .	79
<b>7. ECONOMIA DEL ALMACENAMIENTO. . .</b>	<b>81</b>
Introducción . . . . .	83
Incremento de los beneficios . . . . .	84
Costos de la estructura . . . . .	85
Costos de administración del almacén . . . . .	86
Costo de carga y descarga . . . . .	86
Cargos por intereses. . . . .	86
<b>8. APENDICES . . . . .</b>	<b>87</b>
A1 -Factores de conversión . . . . .	89
A2 -Aislamiento y aislamiento/condensación	91
A3 -Cartas psicrométricas . . . . .	93
A4 -Equipo de refrigeración . . . . .	99
A5 -Plagas, enfermedades y desórdenes en la poscosecha . . . . .	104
A6 -Evaluación de los almacenes de tubércu- lo-semilla en fincas. . . . .	110

# **INTRODUCCION**

EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

## EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El almacenamiento permite desplazar la papa a lo largo del año de modo que los consumidores dispongan fácilmente de la misma y evita fluctuaciones importantes en el abastecimiento. Este movimiento está controlado por la demanda de papa para consumo humano, para tubérculo-semilla y para procesamiento. Las demandas pueden ser para el consumo local o para mercados de exportación.

El almacenamiento de papa, que la hace disponible cuando se la necesita, hasta cierto punto reemplaza la producción continua, la cual, además, es virtualmente imposible en la mayoría de los países. Sin embargo, incrementando y prolongando los períodos de producción se reducen las necesidades de almacenamiento.

Las instalaciones de almacenamiento aumentan el costo de producción de papa. La papa almacenada cuesta siempre más que la recién cosechada.

Se puede comparar el almacenamiento con el embalse que se emplea para controlar el flujo de agua y evitar daños por inundaciones o por sequía en un sistema de un río. El embalse del río está diseñado para acumular el exceso de agua durante la época lluviosa y liberarlo gradualmente durante la época seca, cuando las necesidades de agua son mayores. Conociendo cuánta cantidad de agua debe ser liberada del embalse y cuándo hacerlo, es posible regular el flujo de agua en el río, para prevenir inundaciones y sequías. De ordinario, por lo menos se mantiene un flujo mínimo de agua durante todo el tiempo.

El almacenamiento absorbe el excedente de papa durante la nueva cosecha para su posterior consumo. La papa se saca del almacén (depósito, bodega\*) para cubrir la demanda, ya sea durante la época de siembra o de crecimiento del cultivo. La analogía con el embalse continúa cuando el almacenamiento está planificado y controlado de tal modo que

se disponga, por lo menos, de un mínimo de abastecimiento de papa durante todo el tiempo. Se debe tener cuidado, sin embargo, de almacenar sólo la cantidad de tubérculos necesarios para satisfacer las futuras demandas de consumo. El excesivo uso del embalse resultaría en sobreabastecimientos, bajos precios y por lo tanto, en un aumento de las pérdidas financieras.

Cuando el sistema de almacenamiento funciona adecuadamente, ayuda a regular y estabilizar el abastecimiento de papa en el mercado, reduciendo picos de sobreabastecimientos y depresiones de escasez. Esto, a su vez, contribuye a estabilizar y reducir las fluctuaciones excesivas del precio. Generalmente, un abastecimiento y precio estables incrementan el consumo.

La información sobre la influencia del sobreabastecimiento o subabastecimiento en los precios y la demanda es de suma importancia para regular la entrada de la papa recién cosechada al almacén y su salida hacia el mercado. Se requiere información detallada sobre sistemas de producción, sistemas de comercialización y demanda total y sus variaciones para determinar todos los esquemas de almacenamiento y para cubrir las necesidades, ya sea nacionales o regionales.

El almacenamiento de la papa, para consumo directo o para semilla, debe ser parte integrada del proceso total de producción de papa. La trilogía de producción-almacenamiento-demanda es un enfoque múltiple basado en que la producción de papa debería estar regulada por el consumo. Muchos factores anteriores a la cosecha afectan a los tubérculos después de ésta. En el caso de los tubérculos-semillas, los factores de poscosecha y del almacenamiento pueden influir enormemente sobre la producción en el campo.

La interacción de numerosos factores determina el éxito o fracaso de una actividad de almacenamiento. Estos factores y su importancia son tratados en forma detallada en esta publicación.

---

\* En esta obra se utiliza el nombre "almacén" para referirse al local donde se realiza el almacenamiento. En algunos países ese local se conoce como depósito y en otros como bodega.

# **NECESIDADES DE ALMACENAMIENTO**

El almacenamiento de papa debe formar parte tanto de los sistemas de producción como de los de comercialización y ser aceptable en ellos. Donde no se puede producir y cosechar papa en forma continua se hace necesario el almacenamiento, y su función es desplazar la papa en una forma regulada a lo largo del tiempo. Así, ciertas necesidades de almacenamiento están, hasta cierto punto, determinadas por las necesidades totales y específicas del consumidor, y por la magnitud, duración y frecuencia de las cosechas. Estos factores, junto con los costos variables de almacenaje y las condiciones sociales, hacen que las necesidades de almacenamiento dependan de cada región específica. No existe un sistema de almacenamiento que sea el mejor. Diferentes sistemas son más o menos apropiados bajo diferentes condiciones técnicas, sociales y económicas.

En las Figuras 1 a 6 se presentan algunos ejemplos de cómo los esquemas de producción, demanda y comercialización influyen en las necesidades de almacenamiento.

Las necesidades del consumidor, tanto totales como específicas, pueden variar o ser estables durante todo el año, o de un año a otro. Se requiere información sobre la magnitud y estabilidad de estas variaciones y tendencias de la demanda para determinar las necesidades de almacenamiento.

Si, por simplicidad, se considera que la demanda total en un lugar dado es constante, entonces se puede ver en las Figuras 1 a 5 cómo la magnitud y frecuencia de las cosechas influyen en las necesidades de almacenamiento.

En las Figuras 1 y 2 la producción total anual es igual a la demanda. En la Figura 1 hay una sola cosecha anual de dos meses, siendo necesario comercializar directamente el 16,7% de la producción total durante esos dos meses, y el 83,3% restante sería almacenado para abastecer gradualmente al mercado durante los diez meses siguientes, asegurando así un aprovisionamiento constante que satisfaga la demanda. Esta situación exige almacenamiento en gran escala y de larga duración. En la Figura 2 hay dos cosechas anuales de dos meses, ambas iguales en magnitud y frecuencia durante el año. Cada cosecha produce la mitad de la cantidad de papa que se produjo en la cosecha única del ejemplo anterior: 33,3% es comercializado directamente y 66,7% es almacenado y entregado gradualmente durante los cuatro meses siguientes. En esta situación se necesitan almacenamientos de menor escala y de más corta duración que el mostrado en la Figura 1. Además, el mismo almacén o depósito puede ser usado para los dos períodos de almacenamiento.

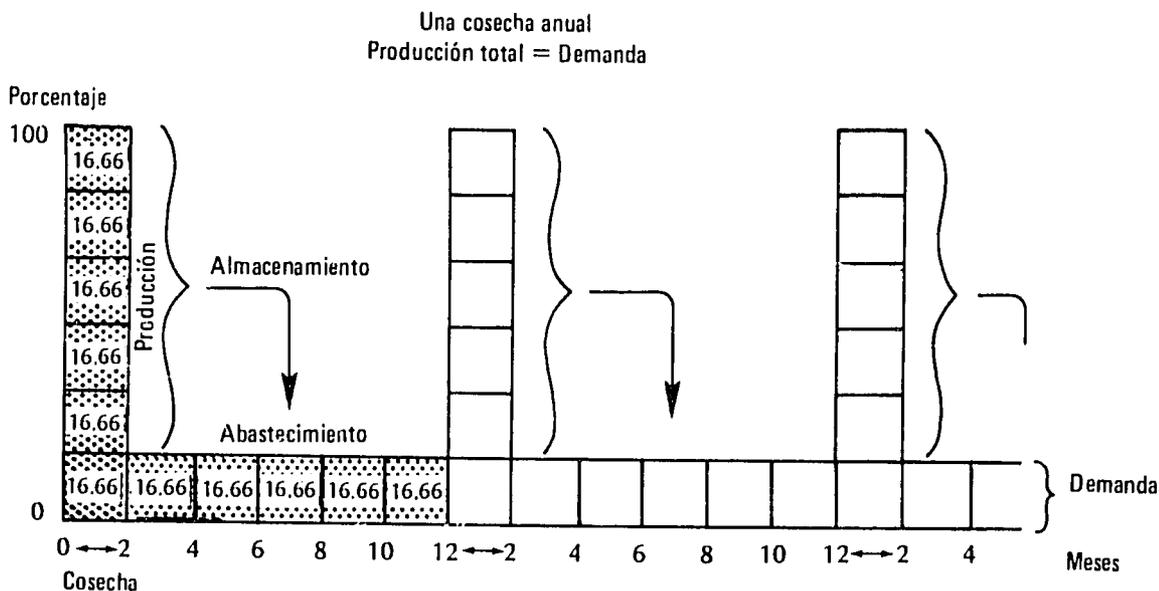


Figura 1. Influencia de los esquemas de producción en las necesidades de almacenamiento (una cosecha anual). La producción total es igual a la demanda.

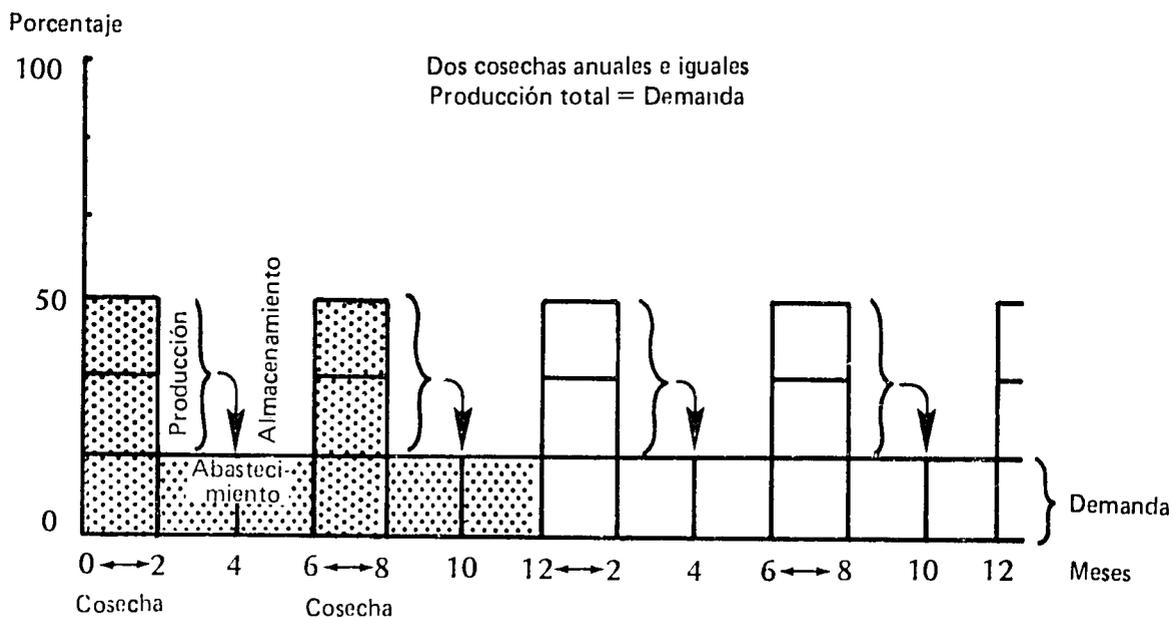


Figura 2. Influencia de los esquemas de producción en las necesidades de almacenamiento (dos cosechas anuales e iguales). La producción total es igual a la demanda.

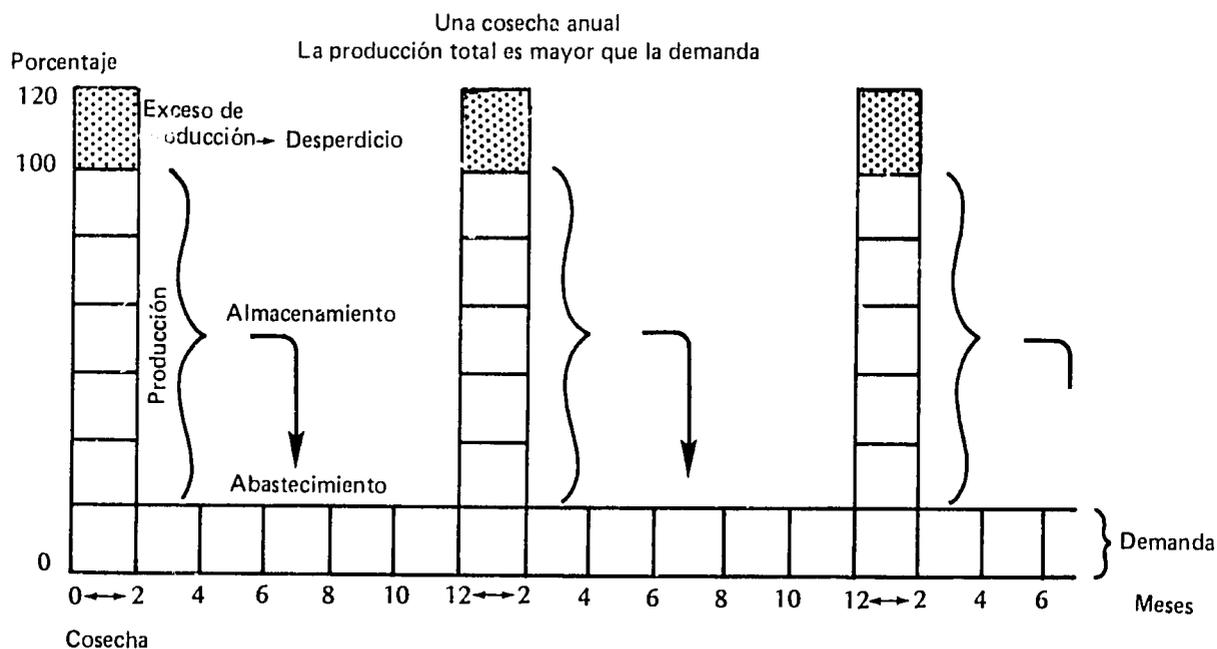


Figura 3. Influencia de los esquemas de producción en las necesidades de almacenamiento (una cosecha anual). La producción total es mayor que la demanda.

Las Figuras 3 y 4 ilustran casos de sobreproducción y déficit en una sola cosecha anual, con los consecuentes efectos en el almacenamiento y abastecimiento. En el caso de sobreproducción, al momento de la cosecha sólo debe almacenarse aquel excedente necesario para satisfacer la demanda futura. El sobrealmacenamiento daría por resultado

pérdidas financieras aún mayores, debidas a depresiones de los precios, que las pérdidas originadas por la sobreproducción. Donde haya un déficit en la producción total, la distribución de este déficit se determinará de acuerdo con el manejo y la política de almacenamiento.

En la Figura 5 se ilustra una situación más

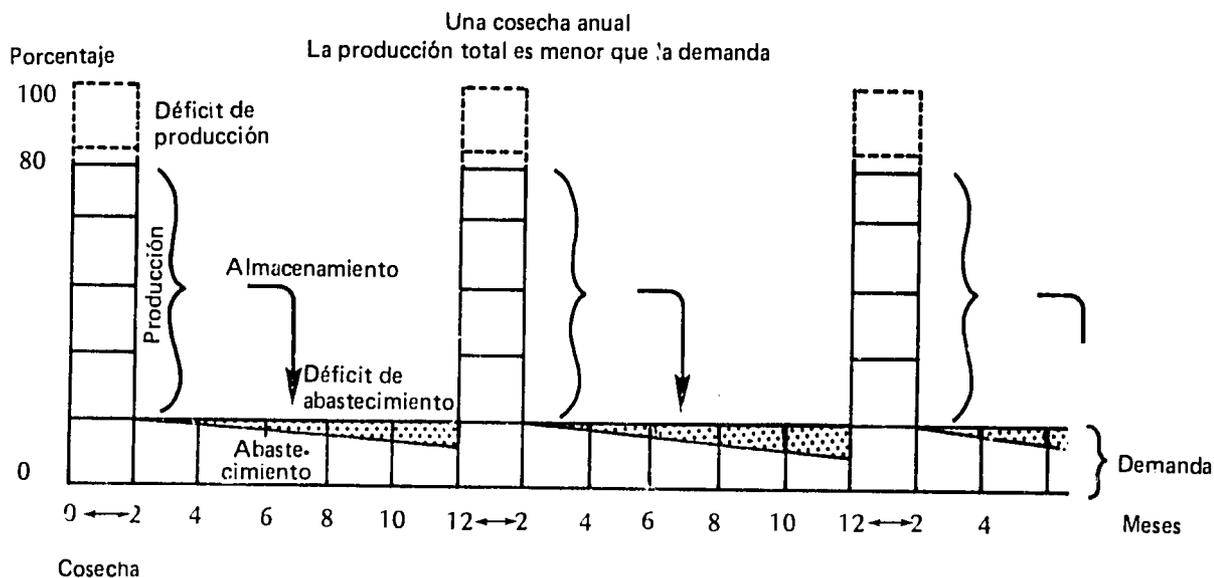


Figura 4. Influencia de los esquemas de producción en las necesidades de almacenamiento (una cosecha anual). La producción total es menor que la demanda.

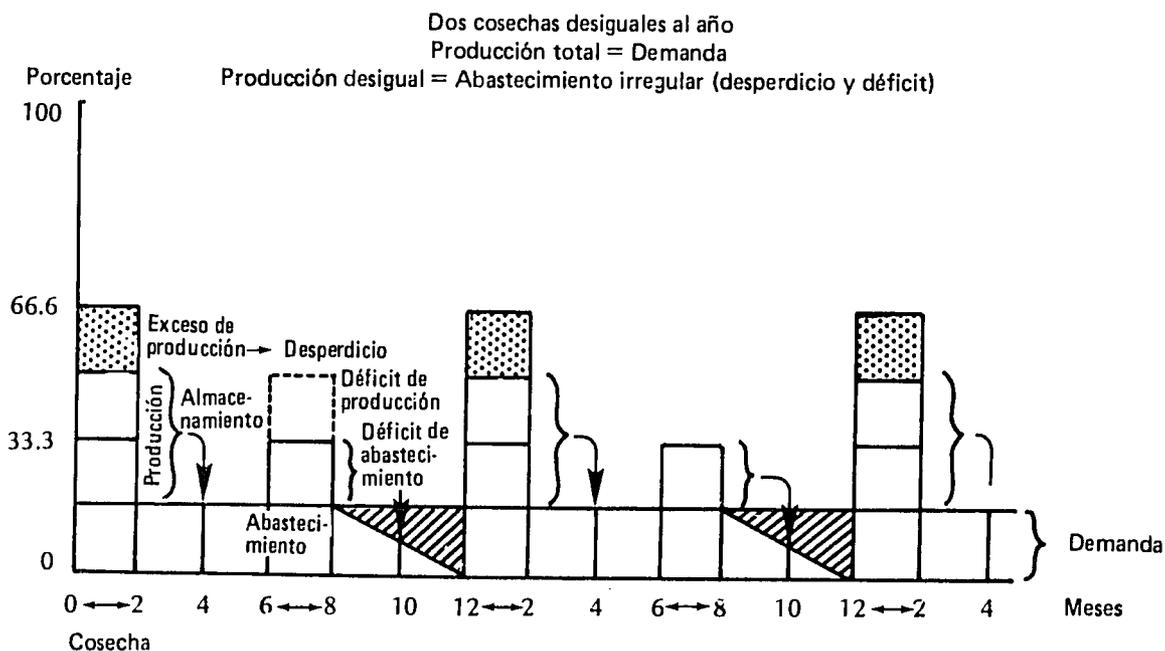
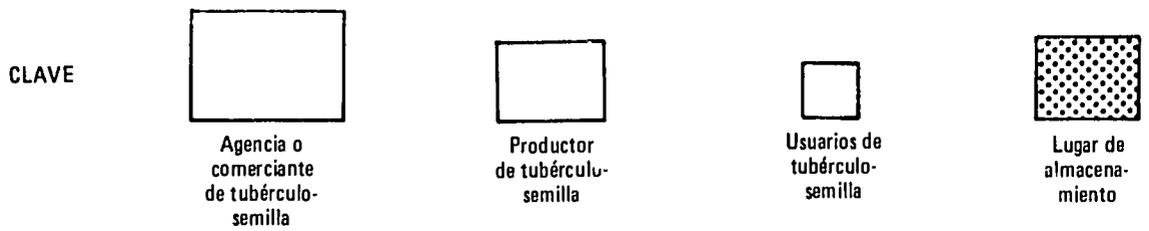


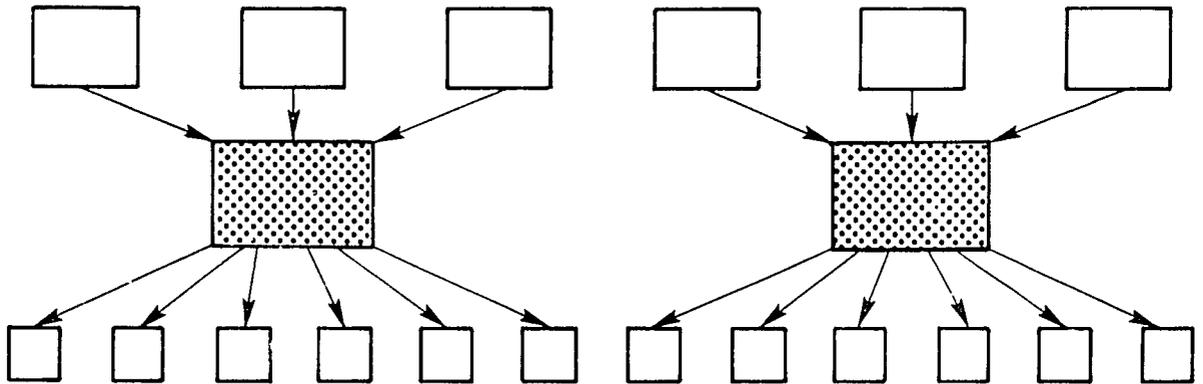
Figura 5. Influencia de los esquemas de producción en las necesidades de almacenamiento (dos cosechas con dos producciones desiguales). La producción total es igual a la demanda. La producción desigual conduce a abastecimiento irregular, con desperdicio y déficit.

compleja. Aunque la producción total de las dos cosechas anuales es igual a la demanda total, no se podría mantener un abastecimiento uniforme para satisfacer esta demanda, debido

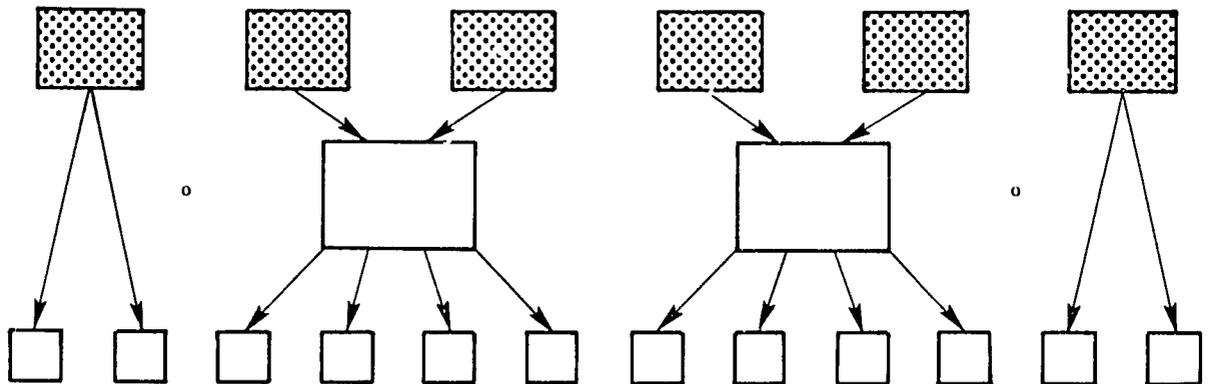
a que las dos cosechas son desiguales en magnitud. De este modo, normalmente se debería almacenar el excedente de la primera cosecha, pero la segunda cosecha, de menor magnitud,



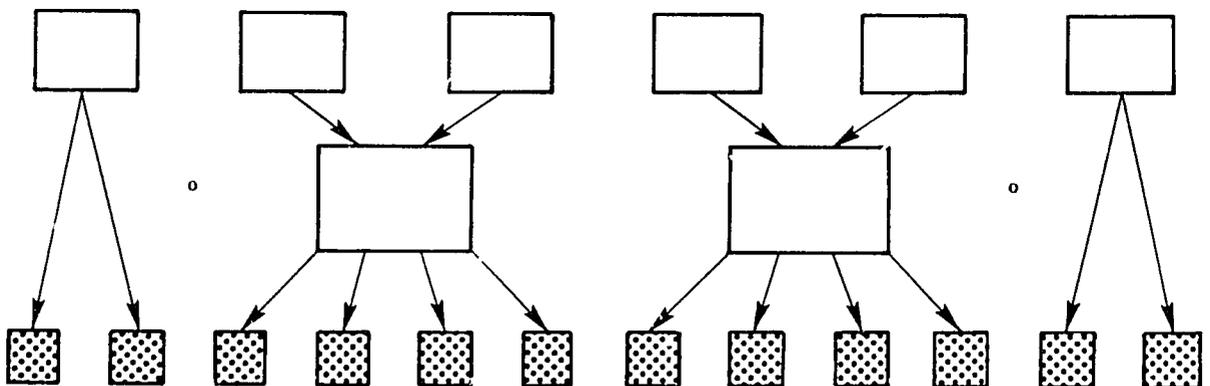
**Alternativa 1 - Distribución por intermedio de agencias o comerciantes. Almacenamiento en gran escala por las agencias o los comerciantes**



**Alternativa 2 - Distribución al momento de la siembra. Almacenamiento en mediana escala por los productores de tubérculo-semilla**



**Alternativa 3 - Distribución en el momento de la cosecha. Almacenamiento en pequeña escala por los usuarios**



**Figura 6. Tres esquemas alternativos de producción de semilla con diferentes necesidades de almacenamiento.**

resulta en un déficit. Debido a que en la mayoría de los casos los tubérculos almacenados no compiten bien en el mercado con los tubérculos frescos pero deben costar más para cubrir los costos adicionales del almacenamiento, en la práctica rara vez es factible la posibilidad teórica y técnica de almacenar el excedente que resulte de la primera producción más grande, con el fin de cubrir el período de déficit que sigue a la segunda cosecha más pequeña. Para manejar estos casos es de suma importancia conocer hasta qué punto influyen el sobreabastecimiento o el subabastecimiento en los precios y en la demanda.

De manera similar, los esquemas de distribución y comercialización influyen en las necesidades de almacenamiento. Como un ejemplo se pueden examinar, en un lugar dado, los sistemas alternativos de distribución de tubérculos-semillas de los productores a los usuarios y ver cómo influyen en las necesidades de almacenamiento.

Se pueden identificar tres sistemas principales, que tienen diferentes necesidades de almacenamiento, para la distribución del tubérculo-semilla (Figura 6). En la primera alternativa, al momento de la cosecha, el tubérculo-semilla puede ser recogido y almacenado por una o más agencias centralizadas de semilla o por comerciantes, y después vendido y distribuido a los usuarios al momento de la siembra. Este sistema exige pocos almacenes o depósitos grandes.

En la segunda alternativa, el tubérculo-semilla puede ser almacenado por los mismos productores de semillas y vendido y distribuido a los clientes al momento oportuno para

la siembra, ya sea directamente, o mediante agencias, o comerciantes. Este sistema demanda un número mayor de almacenes medianos.

En la tercera alternativa de la Figura 6, los tubérculos-semillas pueden ser vendidos y distribuidos, ya sea directamente o por medio de agencias de semillas o comerciantes, a los clientes, en el momento de la cosecha, y después almacenados por los agricultores hasta el momento de la siembra. Este sistema exige un número todavía mayor de almacenes pequeños. Además, productores y usuarios pueden almacenar tubérculo-semilla para sus futuras siembras.

Estas alternativas no son excluyentes, y en cualquier situación una o varias de ellas pueden operar conjuntamente siempre que haya adecuada flexibilidad en el sistema de precios. Un sistema de precios rígido, basado en un solo sistema de distribución y de mercado, excluirá automáticamente otras alternativas de distribución y sistemas de almacenamiento.

Estos ejemplos muestran que antes de establecer los sistemas y las necesidades totales de almacenamiento, ya sea a nivel nacional, regional o individual, se requiere información detallada sobre sistemas de producción, sistemas de comercialización y distribución, y sobre la demanda total y particular del consumidor. Dicha información no solamente influirá sobre las necesidades totales de almacenamiento, sino también sobre las decisiones en detalles técnicos, debido a que, por ejemplo, el almacenamiento en gran escala y de larga duración, generalmente, exige métodos con niveles altos de complejidad.

# **LA PAPA**

TUBERCULOS DE PAPA

PERDIDAS POSCOSECHA

Factores físicos

Pérdidas fisiológicas

Pérdidas patogénicas

METODOS DE REDUCCION Y CONTROL DE PERDIDAS

## TUBERCULOS DE PAPA

Uno de los objetivos principales de cualquier sistema de almacenamiento es mantener lo más bajo posible las pérdidas durante el mismo. Los tubérculos de papa son órganos vegetales vivos (Figura 7). Consumen oxígeno y desprenden dióxido de carbono y calor. El comportamiento de este tejido vivo que es la papa durante el almacenamiento está afectado no sólo por el medio ambiente del almacén, sino también por la variedad genética, las prácticas agronómicas durante su cultivo, los ataques de plagas y enfermedades y particularmente, por las condiciones físicas del tubérculo. Es necesario conocer de manera cabal este tejido vivo y los factores que lo afectan si se desea mantener al mínimo las pérdidas por almacenamiento.

## PERDIDAS DE POSCOSECHA

Las pérdidas de poscosecha reducen la cantidad, la calidad, o ambas condiciones de la papa. Las pérdidas cuantitativas se notan con facilidad. Las pérdidas cualitativas, que son con frecuencia subestimadas, son importantes porque pueden reducir considerablemente el valor de la cosecha. Tanto las pérdidas cuantitativas como las cualitativas se deben a causas físicas, fisiológicas o patológicas, o a combinaciones de ellas. La vida normal aceptable de la papa almacenada puede terminarse por pudrición, marchitamiento, crecimiento de brotes, o combinaciones de estos factores, estando todos ellos bajo la influencia de la condición física de los tubérculos.

### Factores físicos

Las pérdidas debidas a los factores físicos, causados por lesiones mecánicas, pasan inadvertidas con frecuencia. Además, la complejidad de las pérdidas fisiológicas y patológicas secundarias resultantes de lesiones físicas, dificultan su estimación. Las lesiones mecánicas son ocasionadas de muchas maneras y se producen en todas las etapas: desde la precosecha, pasando por las operaciones de recolección y manejo —tales como selección, empaque y transporte— hasta su exposición en el mercado y finalmente en el hogar. Cerca de 75% del daño total de los tubérculos se produce en el momento de la cosecha, aunque se originan lesiones importantes cada vez que los tubérculos son manipulados. No es raro que una tercera parte de la cosecha sea seriamente dañada por factores mecánicos. Los tubérculos gravemente dañados no deben ser almacenados.

Las lesiones mecánicas pueden ser divididas de manera general en dos categorías: *agrietamiento*, cuando la piel externa ha sido dañada, y *manchas negras internas*, cuando por golpes o mal manejo la pulpa del tubérculo cambia de color y se vuelve oscura y no está necesariamente asociada con la rotura de la piel. El agrietamiento puede aún ser dividido en *agrietamientos*, cuando sólo ha sido dañada la piel, y *hendiduras* o *manchas negras* cuando el agrietamiento es más profundo, produciéndose lesiones en la pulpa. Todos los tipos de daño pueden ser causados por el mismo impacto. La condición del tubérculo de-

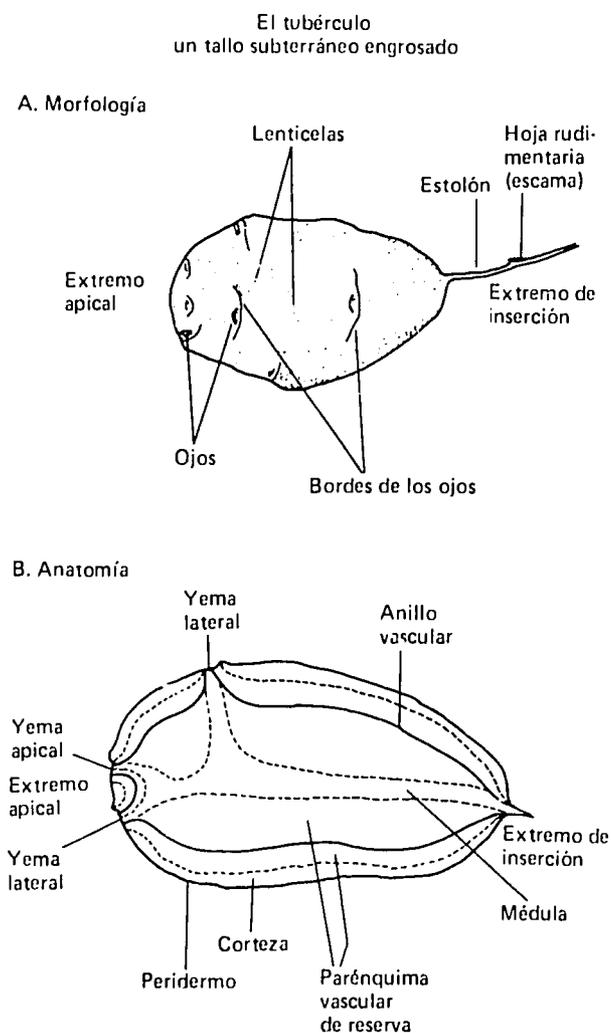


Figura 7. El tubérculo.

termina con frecuencia el tipo de daño que se producirá.

Entre los factores que influyen en la magnitud de la lesión durante la cosecha y el manejo posterior de los tubérculos están: las condiciones del suelo y del tubérculo, la temperatura, la operación de la máquina cosechadora, el cuidado en el manejo y modo de recolección y el manejo posterior de la cosecha.

Obviamente, las condiciones del suelo en el momento de la cosecha influirán bastante en el nivel de los daños, y estos daños reflejan los cuidados que se tuvieron anteriormente en la selección y preparación del suelo. Las masas de tierra o los terrones grandes y las piedras, especialmente los angulosos y puntiaudos, aumentan el nivel de daño. En general, el daño se incrementa con condiciones extremas, tanto de alta como de baja humedad en el suelo. Un problema especial es el suelo muy seco.

En una determinada variedad, el grado de agrietamiento y de manchas negras internas está afectado por el contenido de materia seca y la turgencia de los tubérculos. Hay una correlación directa entre la incidencia de manchas negras internas y el contenido de materia seca: una alta concentración de materia seca produce un elevado nivel de manchas negras internas. Las condiciones de cultivo y la variedad afectan la materia seca. La variedad, el tipo de suelo y la temperatura también influyen en la forma del tubérculo y en la resistencia de la piel, lo que a su vez influye enormemente en la incidencia de agrietamiento. Los tubérculos poco turgentes son más propensos a las manchas negras internas (Figura 8).

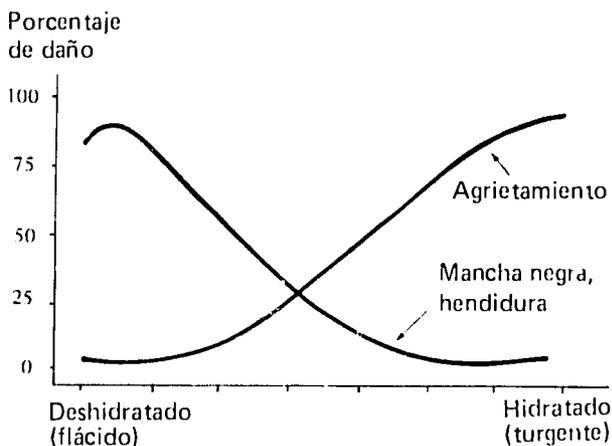


Figura 8. Daño en el tubérculo: efecto de la hidratación del tubérculo en los niveles de daño (adaptado).

ra 8). Así la susceptibilidad al daño aumenta con el tiempo de almacenamiento. Debido a que el marchitamiento aumenta con el crecimiento de los brotes, las manchas negras internas son también más severas en los tubérculos con brotes que en los que no están en esta etapa. De manera similar, la madurez al tiempo de la cosecha influye en el grado de agrietamiento. Si los tubérculos tienden a ser cosechados antes de que el cultivo alcance su madurez natural, debe destruirse el follaje, ya sea por medios físicos o químicos, más o menos con 15 días de anticipación, dependiendo de la experiencia local con la variedad de papa, y de las condiciones ambientales.

La papa es más susceptible a lesiones mecánicas a temperaturas de alrededor de 5 °C (Figura 9). Bajo ciertas condiciones las lesiones pueden ser reducidas elevando la temperatura de los tubérculos, antes de someterlos a las operaciones de manejo tales como la clasificación. Se ha encontrado que la susceptibilidad a las manchas negras internas está asociada con el crecimiento bajo condiciones de deficiencia de potasio. Obviamente, el empleo de métodos manuales o mecánicos de cosecha y las operaciones de manejo de la papa cosechada influyen considerablemente en el nivel de daño.

Además de las importantes pérdidas físicas, aún pequeñas lesiones darán como resultado un incremento muy considerable por pérdidas fisiológicas y enfermedad. Después de la cosecha, el producto dañado siempre tiene vida más corta que el no dañado.

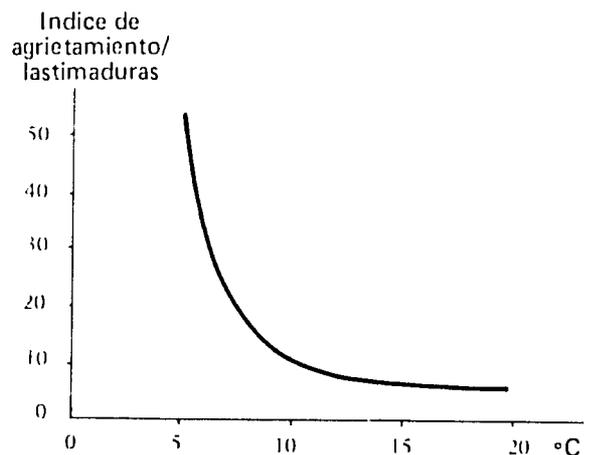


Figura 9. Daño en el tubérculo: efecto de la temperatura del tubérculo en los niveles de daño (adaptado).

## Pérdidas fisiológicas

Debido a que los tubérculos son órganos vivos, las pérdidas fisiológicas se producen por la exposición a temperaturas extremas, por la respiración natural de la materia seca, y por las pérdidas de agua por transpiración. La magnitud de tales pérdidas depende del ambiente del almacenamiento, pero siempre será mayor en los tubérculos dañados y enfermos, que en los completamente sanos.

El daño fisiológico puede ocurrir por la exposición de los tubérculos a altas o bajas temperaturas antes, durante o después del almacenamiento. No deben dejarse los tubérculos expuestos a la luz directa del sol después de la cosecha. Esta exposición estimula un color verdoso no deseado en la papa para consumo y el sobrecalentamiento de los tubérculos, que en casos severos causa la muerte y el oscurecimiento de las células. Los síntomas del corazón negro (un desorden fisiológico\*) del tubérculo pueden desarrollarse a temperaturas muy altas de almacenamiento. La decoloración y descomposición de los tejidos internos de los tubérculos es resultado de la asfixia. La asfixia tiene lugar más rápidamente a temperaturas elevadas de almacenamiento, que producen alta tasa de respiración y, por ello, mayor necesidad de oxígeno.

Los tubérculos expuestos a temperaturas de congelación (alrededor de menos de 2 °C) son lesionados debido a la formación interna de hielo. Aun los tubérculos ligeramente congelados muestran decoloración en el anillo vascular. La exposición más prolongada lleva a decoloración necrótica azul oscura de la parte central o médula del tubérculo y a la necrosis del tejido vascular. Los tubérculos congelados durante 4 a 5 horas pocas veces muestran síntomas internos de decoloración, pero la muerte de los tejidos es tan generalizada que el tubérculo descongelado se torna húmedo, blando y exuda líquido. La prolongada exposición a temperaturas sólo ligeramente superiores a la de congelación puede causar descomposición por baja temperatura formándose manchas o zonas de color pardo rojizo en la pulpa y la piel.

\* Para identificar estas enfermedades en cada país, recomendamos consultar el Apéndice 5, el Compendio de Enfermedades de la Papa, publicado por el CIP, o el tesoro de AGROVOC.

La respiración del tubérculo durante el almacenamiento trae como resultado la pérdida de materia seca. A una temperatura de almacenamiento de 10 °C esta pérdida representa aproximadamente de 1 a 2% del peso fresco durante el primer mes, y cerca del 0,8% en cada mes posterior; pero sube a cerca de 1,5% por mes cuando el brotamiento está avanzado.

El efecto más importante de la respiración de los tubérculos es la producción de *calor*, lo cual afecta las temperaturas del local de almacenamiento y los sistemas de ventilación. La tasa de respiración depende de la temperatura y es mínima alrededor de 5 °C (Figura 10). Si se da un valor arbitrario de 100 a la respiración a 5 °C, a otras temperaturas se tendrían los siguientes valores aproximados:

0 °C	–	270
5 °C	–	100
10 °C	–	120
15 °C	–	130
20 °C	–	220
25 °C	–	380

La producción del calor de respiración es significativa y equivale aproximadamente a 2,5 kcal/g de CO<sub>2</sub> producido y puede ser medida con la tabla que se muestra a continuación. Si este calor no fuera removido, la temperatura de la papa se elevaría, teóricamente, por lo menos a 0,25 °C cada 24 horas.

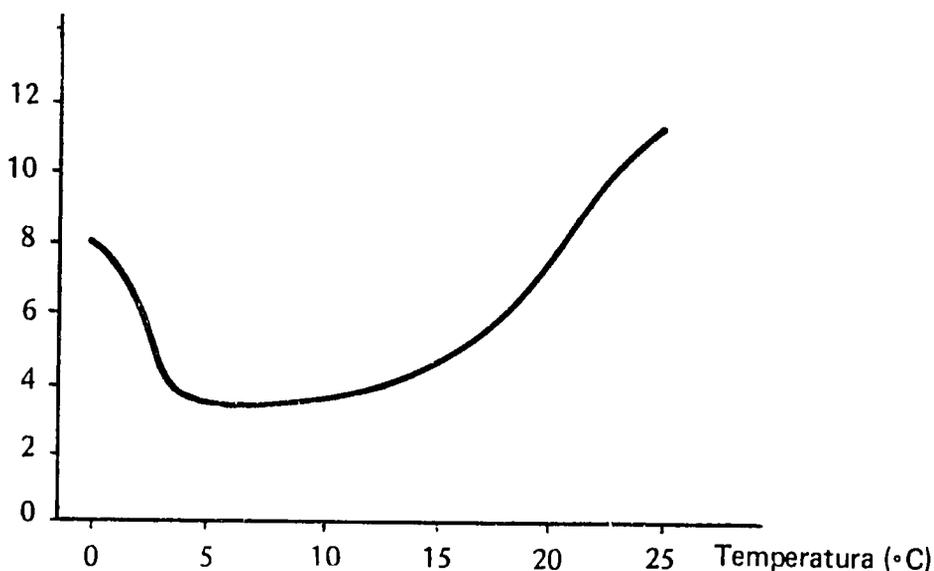
Liberación aproximada de calor por la papa durante el almacenamiento

	kJ hr/t	Vatios/t
Papa inmadura al inicio del almacenamiento	259	72
Papa almacenada a 10 °C	65	18
Papa almacenada a 5 °C	29-50	8-14
Papa bien brotada	104	29
Papa con gran cantidad de azúcares	208	58

Si los tubérculos se guardan en un ambiente que tiene deficiencia de oxígeno, pueden ocurrir diversos tipos de daños, tales como fermentación, pérdida de sabor, descomposición del tejido y muerte.

Toda el agua que se pierde antes de que

Tasa de respiración (mg de CO<sub>2</sub> kg/hr)\*



\* Por cada gramo de CO<sub>2</sub> producido en la respiración se liberan 2,5 kcal de energía. Entonces de 5 a 15 °C se producirán aproximadamente de 8 a 12 kilocalorías de calor por t/hr.

Temperatura de almacenamiento (°C)	0	5	10	15	20	25
g de CO <sub>2</sub> /t/hr	192	80	100	113	192	264
kcal/t/24 hr	480	200	250	282	480	660

Figura 10. Respiración del tubérculo (de: "The Potato", por W. G. Burton).

los tubérculos sean vendidos significa pérdida de ganancias en las ventas, porque la papa se vende de acuerdo con su peso. Más de 10% de pérdida de agua puede afectar la comercialización, debido al aspecto arrugado y no atractivo que presenta la papa en ese estado. El agua de los tubérculos se pierde por evaporación.

La tasa de pérdida de agua de cualquier muestra de papa es proporcional al déficit de la presión del vapor de agua (DPV) o poder de desecación del aire circundante. La tasa de pérdida bajo cualquier DPV está limitada por el peridermo o capa exterior de la piel de la papa madura. Si se quita o daña el peridermo se aumenta la tasa de evaporación. Los tubérculos frescos cosechados antes de que estén maduros pierden agua más rápidamente que los tubérculos maduros, porque la piel inmadura es más permeable al vapor de agua. Asimismo, como la superficie de los brotes es más permeable al vapor de agua que al peridermo del tubérculo, la pérdida de agua aumenta cuando comienza el crecimiento de los bro-

tes. El promedio de la pérdida de agua de los tubérculos maduros que no están dañados es aproximadamente 0,14 a 0,17% del peso del tubérculo/semana/mbr de DPV. Este porcentaje puede subir a 0,5 a 0,8%/semana en los tubérculos dañados. De manera similar, por cada 1% de aumento en el peso de los brotes aumenta la pérdida por evaporación de 0,07 a 0,1%/semana/mbr de DPV. Las Figuras 11 y 12 muestran curvas características de la pérdida de peso por deshidratación.

El poder de desecación o DPV del aire que rodea los tubérculos es bajo mientras el aire permanezca quieto. La ventilación que aumenta el mínimo intercambio de aire necesario, inevitablemente incrementa la pérdida de agua. El DPV del aire que rodea a los tubérculos está afectado por la humedad relativa y la temperatura: a una humedad relativa dada el DPV aumenta con el incremento de temperatura y, a la inversa, a una temperatura dada el DPV disminuye con el incremento de la humedad relativa.

El brotamiento causa amplias pérdidas fisiológicas durante el almacenamiento, pues

Porcentaje de peso perdido (deshidratación)

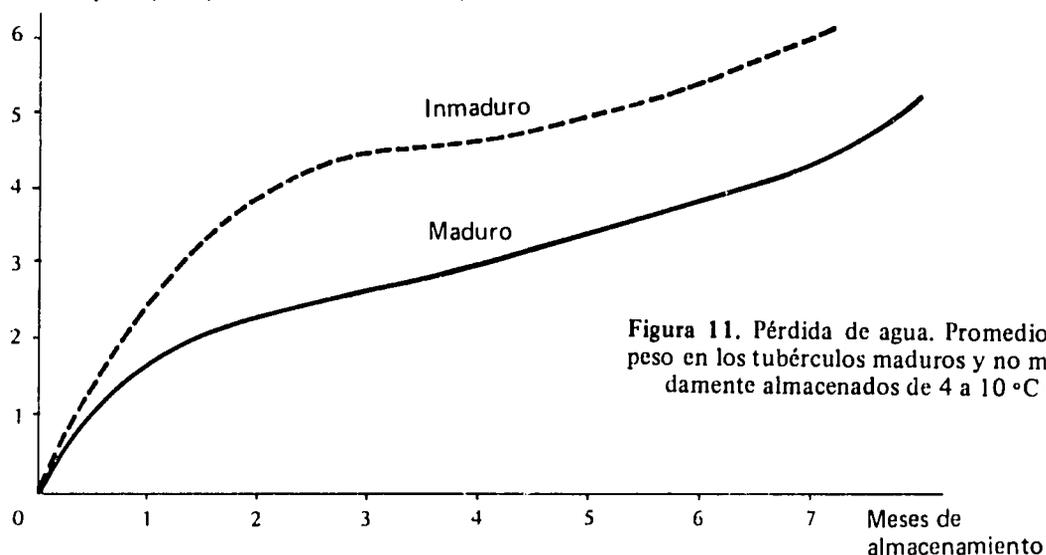


Figura 11. Pérdida de agua. Promedio de pérdida de peso en los tubérculos maduros y no maduros adecuadamente almacenados de 4 a 10 °C (adaptado).

reduce el valor de comercialización aumentando también las pérdidas por respiración y evaporación. Los tubérculos dañados y enfermos brotan antes que los tubérculos completamente sanos. Normalmente, en el momento de la cosecha los tubérculos están en reposo. Las yemas no crecerán aún bajo condiciones favorables de medio ambiente. Considerando los factores que influyen en la duración del período de reposo, se debe recordar que el crecimiento es un proceso complejo en el que los factores más importantes son la variedad de papa y la temperatura de almacenamien-

to. Sin embargo, otros factores que normalmente tienen menor importancia, algunas veces contrarrestan estos factores.

El efecto exacto de la temperatura durante el almacenamiento depende de la influencia de la misma en las muchas reacciones que pueden estar limitando el crecimiento en un momento determinado. De ordinario, cuanto más alta es la temperatura de almacenamiento, en un intervalo de alrededor de 4 a 21 °C, menor es el período residual de reposo. Las temperaturas más críticas están entre 4 y 10 °C. Es posible, sin embargo que los tu-

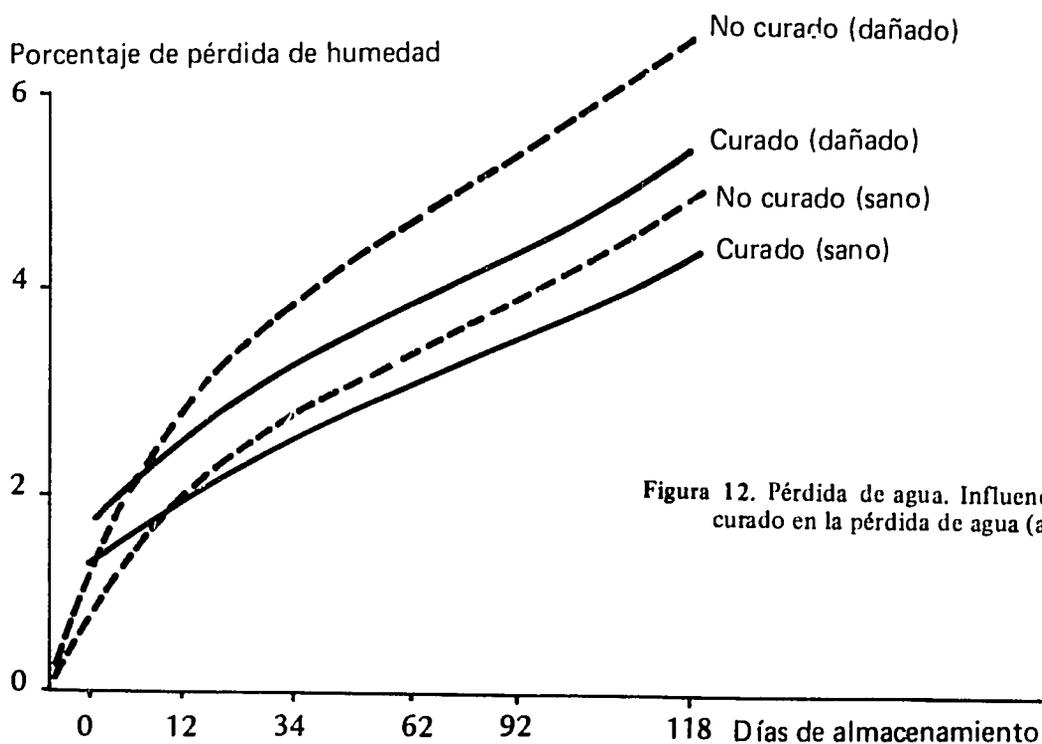


Figura 12. Pérdida de agua. Influencia del daño y el curado en la pérdida de agua (adaptado).

bérculos almacenados primero a baja temperatura y después a temperatura de 10 °C puedan tener un período de reposo más corto, que si se les hubiese almacenado continuamente a 10 °C. Las variedades reaccionan de manera diferente a las fluctuaciones de temperatura.

Cuando termina el reposo comienza el crecimiento de los brotes, aunque no hay manifiesta conexión entre la duración del período de reposo y la tasa de crecimiento de los brotes. Los principales factores que influyen en la tasa y forma de crecimiento de los brotes son la variedad de papa, el manejo previo al almacenamiento, la temperatura, la humedad, la composición de la atmosfera y el grado de exposición a la luz. El crecimiento de los brotes es lento a temperaturas de 5 °C y menores. Por arriba de 5 °C un incremento de temperatura aumenta el crecimiento de los brotes hasta una temperatura óptima para el crecimiento le alrededor de 20 °C, por encima de la cual la tasa de crecimiento disminuye. La humedad de almacenamiento puede afectar la tasa de crecimiento de los brotes, especialmente cuando el brotamiento está bastante avanzado. La forma de los brotes también puede ser afectada. Por ejemplo, el grado de ramificación es mayor bajo condiciones secas y la producción de raíces adventicias es mayor bajo condiciones húmedas. El crecimiento de los brotes también es estimulado por un aumento del CO<sub>2</sub>. Los brotes de papa que crecen en la luz desarrollan clorofila y son más pequeños y fuertes que los que crecen en la oscuridad. A menudo, después de almacenar los tubérculos-semillas por 7.5 semanas a 17 °C con luz continua, el promedio de longitud de los brotes más largos de los tubérculos iluminados es menor del 3% de los tubérculos almacenados en la oscuridad. Además, se desarrolla mayor número de rudimentos o primordios radiculares en los brotes de los tubérculos almacenados con luz.

Pueden producirse otras pérdidas durante el almacenamiento y comercialización (mercadeo) debidas a varios desórdenes fisiológicos, con frecuencia ocasionados por condiciones de crecimiento anormales previas a la cosecha y que afectan la forma de los tubérculos y su estado fisiológico (Apéndice A5).

Finalmente, los cambios en los niveles de azúcar influyen considerablemente en las

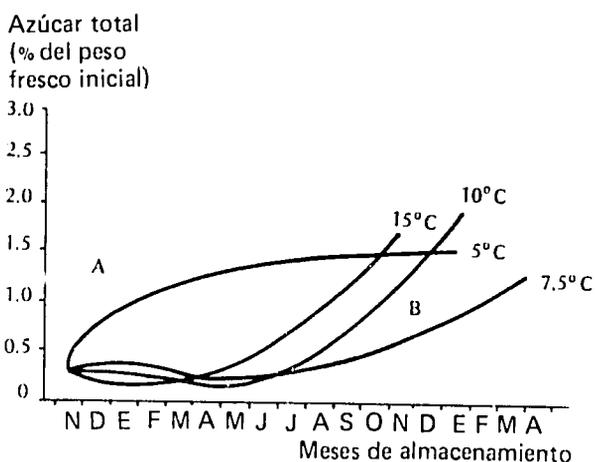


Figura 13. Cambios en el contenido de azúcar durante el almacenamiento. Cambios generales durante el almacenamiento prolongado. A. Endulzamiento a temperatura baja. B. Endulzamiento por envejecimiento (de: "The Potato", por W. G. Burton).

cualidades culinarias y de procesamiento de los tubérculos. Además de influir en el contenido inicial de azúcar inmediatamente después de la cosecha, la temperatura de almacenamiento afecta el contenido posterior de azúcar. La disminución de la temperatura, particularmente a menos de 6 °C, causa un aumento del contenido de azúcar. A diferentes temperaturas se acumulan tanto la sacarosa como los azúcares reductores, pero no necesariamente en las mismas proporciones (Figuras 13 y 14). Los tubérculos afectados de endulzamiento por baja temperatura pueden ser desendulzados almacenándolos cerca de dos semanas a temperaturas más altas, 15 a 20 °C. Además del aumento del contenido de azúcar como consecuencia de la exposición a bajas temperaturas, la concentración de azúcar muestra una tendencia a aumentar después de un almacenamiento prolongado a temperaturas más altas, lo que se conoce como endulzamiento por envejecimiento.

El contenido de azúcar de los tubérculos influye en su aceptación para uso culinario y en el color de los productos fritos. El color de los productos fritos se debe principalmente a reacciones que tienen lugar entre los aminoácidos y los azúcares reductores. A temperaturas normales de fritura el color final está estrechamente relacionado con el contenido de azúcares reductores, siendo el contenido de glucosa el más relacionado con el color café de la fritura. El color del product también puede ser afectado por la modificación de la temperatura y el tiempo de fritura.

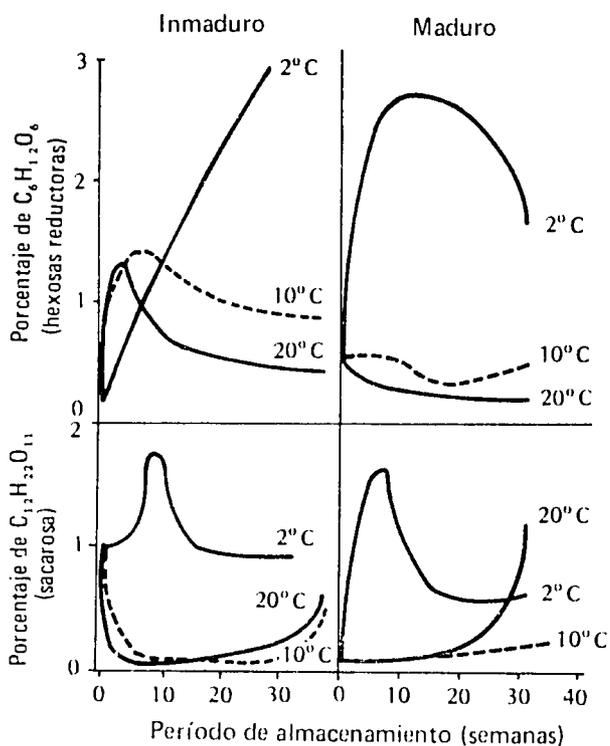


Figura 14. Cambios de azúcar durante el almacenamiento. Cambios del contenido de azúcar en tubérculos maduros y no maduros almacenados a temperaturas diferentes (de: "The Potato", por W. G. Burton).

### Pérdidas patogénicas

Probablemente, los ataques de *microorganismos* causan las pérdidas más importantes de poscosecha en papa. Sin embargo, los daños físicos y fisiológicos, de ordinario predisponen a los ataques de microorganismos. Tales daños pueden causar pérdidas cuantitativas de tejido en buen estado, así como aquellas que reducen solamente la calidad. Las pérdidas cuantitativas causadas por patógenos se deben con frecuencia a descomposición rápida y extensa de los tejidos del hospedante, como en el caso del tizón, pudrición rosada, pudrición seca y pudrición blanda bacteriana. La característica del ataque es a menudo una infección inicial por un patógeno específico, seguida por la invasión masiva de un amplio espectro de organismos secundarios, por lo común de las bacterias de la pudrición blanda, que son sólo débilmente patogénicas o saprofíticas, sobre los tejidos que se encuentran muertos debido a la infección primaria. Estos invasores secundarios pueden

ser agresivos y tener función importante en las enfermedades de poscosecha, sirviendo frecuentemente para multiplicar y aumentar el daño inicial de los patógenos primarios. Las pérdidas patogénicas cualitativas son típicamente el resultado de enfermedades escarificantes, tales como la roña común, la roña o sarna pulverulenta, costra negra y costra plateada o enfermedades deformantes como la verruga. Estas enfermedades, a pesar de que no provocan pudrición del tubérculo, o la causan en niveles muy bajos, afectan su apariencia y por lo tanto su valor de comercialización. Otro grupo de enfermedades, tales como la mancha de la piel y daños causados por rhizoetonia, que invaden y destruyen los ojos de los tubérculos, tienen gran importancia en los tubérculos-semillas.

Las enfermedades de poscosecha pueden ser divididas en aquellas cuya infección llega a establecerse en el campo antes de que se efectúe la cosecha, y en aquellas cuya infección tiene lugar durante la cosecha o después de ella. En el primer grupo, la pudrición empieza inmediatamente en el campo y continúa durante la poscosecha como, por ejemplo, tizón tardío, pudrición parda y la pudrición rosada. En otros casos, una vez establecida la infección puede permanecer latente y manifestarse posteriormente durante el almacenamiento, como sucede algunas veces con el tizón temprano y la mancha de la piel. Cuando la infección tiene lugar durante la cosecha o después de ella se localiza en las partes que han sufrido daños mecánicos como ocurre con la pudrición seca, la pudrición húmeda y la gangrena. La mayoría de los patógenos de poscosecha son parásitos de las heridas y sólo rara vez se produce infección a través de la piel completamente sana. Algunos patógenos, especialmente *Erwinia* spp., pueden producir infección a través de las aberturas naturales de la piel como las lenticelas, especialmente después de un almacenamiento con humedad muy alta y condensación de agua libre sobre la superficie de los tubérculos.

En el Apéndice A5 se presentan detalles sobre las enfermedades más importantes de poscosecha, sus síntomas y medios de control. Esto incluye enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus así como desórdenes fisiológicos.

Las pérdidas patogénicas también pueden ser causadas por insectos, nematodos y otras

plagas como roedores y pájaros. Probablemente el insecto más dañino en la poscosecha es la polilla o palomilla de la papa, también conocida como minador de la hoja del tabaco, *Phthorimaea operculella*, y especies asociadas. En los tubérculos almacenados la infestación inicial es causada principalmente por las larvas, que atacan a los tubérculos durante la cosecha. Las polillas adultas vuelan rápidamente y pueden emigrar del campo a los almacenes. La polilla adulta deposita sus huevos sobre las yemas en los ojos de los tubérculos de papa o cerca de ellos. La larva que emerge barrena el tubérculo introduciéndose, por lo común, a través de los ojos y se alimenta mientras va perforando túneles. El daño que produce la larva ocasiona pérdida directa de peso, lesiones que conducen al arrugamiento y a infecciones secundarias. La infección secundaria también sigue a los daños causados por otras plagas como babosas, gusanos alambres y gusanos cortadores. Cuando las larvas de la polilla de la papa están maduras tejen sus capullos en la parte externa del tubérculo y empupan allí. Después emergen los adultos y repiten el ciclo (3-4 semanas) y también emigran nuevamente al campo.

Durante el almacenamiento de tubérculos-semilla de papa, una fuerte infestación de áfidos en los brotes tiernos puede contribuir a la diseminación de ciertas enfermedades víricas, especialmente del virus del enrollamiento de las hojas (PLRV). En el Apéndice A5 se proporcionan mayores detalles y posibles métodos de control de estas plagas comunes.

## MÉTODOS DE REDUCCION Y CONTROL DE PERDIDAS

Al estudiar las formas para reducir las pérdidas de poscosecha se debe considerar que el almacenamiento es sólo una parte del sistema total de producción. Numerosos factores de producción anteriores a la cosecha influyen considerablemente en el comportamiento de los tubérculos. La selección de la chacra o el campo de cultivo influye en la severidad de numerosas enfermedades. La preparación del suelo influye enormemente en los niveles de daño de los tubérculos durante la cosecha. Las variedades de papa difieren de manera considerable en numerosas e importantes características de almacenamiento, co-

mo resistencia al daño en la cosecha y en la manipulación, resistencia a plagas y enfermedades, y duración de los períodos de reposo y de brotamiento. Las diferentes prácticas culturales y las condiciones de crecimiento afectan de manera significativa la condición física, y el estado sanitario y fisiológico de los tubérculos al momento de la cosecha.

Además de lo ya considerado referente a las pérdidas previas a la cosecha, las pérdidas de poscosecha pueden ser reducidas por varios medios físicos, químicos y biológicos.

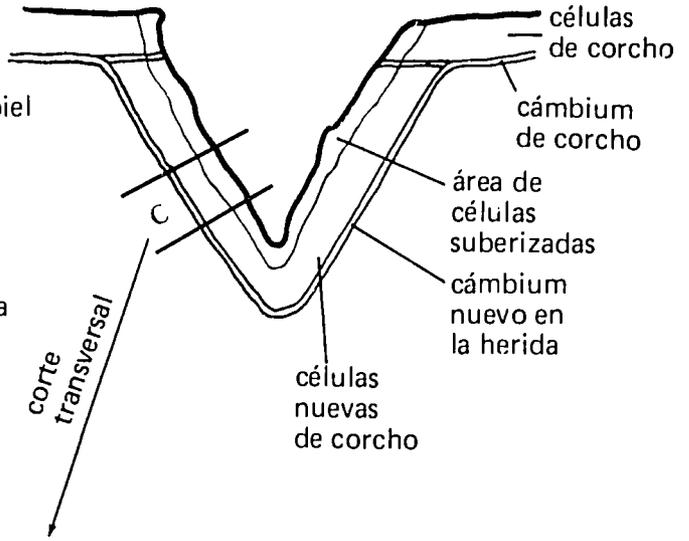
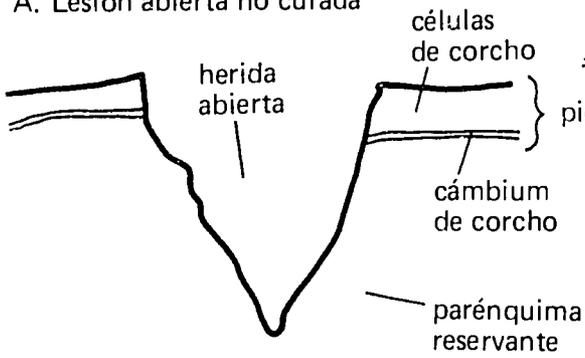
El cuidado en la cosecha y las técnicas mejoradas de manipulación posterior de los tubérculos son esenciales para reducir las pérdidas de poscosecha. Es importante regular el momento de la cosecha, tanto en términos de la madurez del cultivo como de las condiciones del clima y del suelo. Los tubérculos maduros sufren menos daño en la cosecha, especialmente lesiones de la piel, que los tubérculos no maduros. Si es necesario, se hacen madurar los tubérculos destruyendo artificialmente el follaje 15 días antes de la cosecha. El estado del suelo influye en sus niveles de daño. Todos los materiales usados en la manipulación deben ser de buena calidad, para reducir los daños y nunca se debe permitir que los tubérculos caigan de una altura mayor de 15 cm sobre superficies duras.

La papa que se lleva a los almacenes debe estar sana, seca y sin tierra. Siempre se deben proteger los tubérculos de la lluvia y de la exposición directa al sol o al viento. Los tubérculos mojados por la lluvia no deben ser almacenados ya que son propensos a pudrirse rápidamente. Si no es posible descartar inmediatamente los tubérculos húmedos, las cargas húmedas deben ser almacenadas temporalmente formando pilas de altura mínima para facilitar el secado rápido. No se debe caminar ni estar de pies sobre la papa no protegida. Se debe tener especial cuidado en los aspectos sanitarios y de limpieza de herramientas, maquinaria, depósito y almacenes, con el fin de prevenir fuentes de inoculación de patógenos potenciales. En el Apéndice A5 se presenta una lista de desinfectantes y su empleo. Se deben quemar o enterrar los tubérculos viejos. La papa que queda en el campo o en los almacenes es hospedante y fuente potencial de enfermedades y plagas.

Una forma simple y efectiva de reducir las pérdidas por enfermedad y humedad du-

## B. Lesión curada

### A. Lesión abierta no curada



### C. Detalle del corte transversal de la superficie lesionada

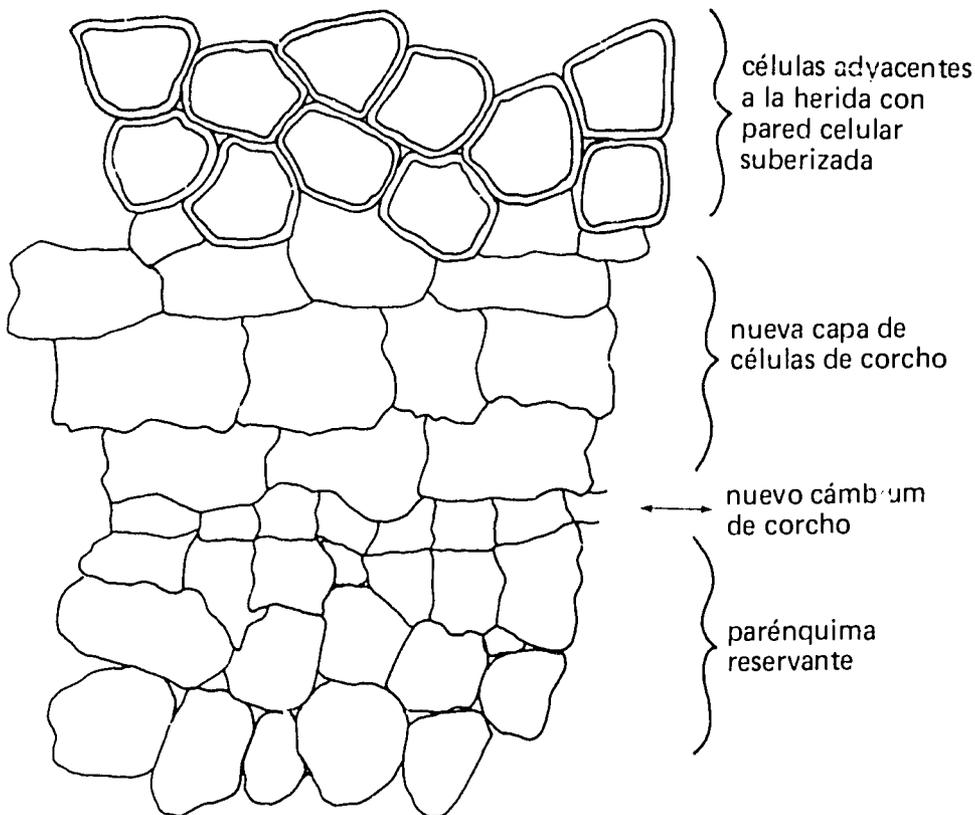


Figura 15. Curado.

rante el almacenamiento es mediante el curado adecuado y oportuno. El curado es un proceso de cicatrización de las heridas, durante el cual también se fortalece la piel (Figura 15). En primera instancia se produce la suberización de las células adyacentes a las heridas, seguido por la formación de un peridermo cicatrizante o capa de corcho, que retarda

de manera efectiva la pérdida de agua y constituye una barrera contra la infección. Este proceso tiene lugar a temperaturas entre 12 y 18 °C, o más altas cuando la humedad relativa es de 85% o superior en presencia de oxígeno. Cuando la humedad relativa es baja, la reacción no se efectúa a pesar de la temperatura. Con el aumento de la temperatura a un

máximo de cerca de 20 a 25 °C la reacción se produce más rápidamente. Se consideran condiciones óptimas un período de 7 a 15 días a 15 °C y 85 a 90% de humedad relativa. En la mayoría de los casos las condiciones del curado pueden obtenerse en forma simple restringiendo ligeramente la ventilación natural de la papa recién cosechada. Esto permite acumular el calor de la respiración y lograr que la humedad se evapore de las lesiones y de la tierra adherida. El curado es un proceso de protección natural, fácilmente inducible, que se recomienda como un procedimiento de rutina inmediatamente después de la cosecha, a excepción de los lugares donde se sabe que es alto el riesgo de la pudrición blanda bacteriana.

El curado es efectivo si se realiza inmediatamente después de las operaciones de cosecha y manipulación. De lo contrario, los patógenos llegarán a establecerse en los tejidos lesionados antes de que forme el peridermo de protección. Una vez que los tubérculos han sido curados deben ser manipulados lo menos posible para evitar nuevos daños. El curado ideal tiene lugar tan pronto como la papa está en el almacén y no debe ser movida nuevamente hasta su retiro del almacén.

El almacenamiento a temperatura reducida, o baja, es el método adoptado universalmente para disminuir las pérdidas de productos agrícolas y hortícolas perecibles. Sin embargo, si el almacenamiento en frío de la papa no está bien administrado o no es precedido de un buen curado, no dará buenos resultados. La eficiencia del almacenamiento a temperatura baja es el resultado de hacer más lento los procesos metabólicos al disminuir la temperatura, reduciéndose así las pérdidas por respiración y brotamiento. El metabolismo de los patógenos disminuye también a temperaturas reducidas, y de ese modo, con frecuencia, se detiene la pudrición. Algunos patógenos, sin embargo, pueden causar daños importantes aun a temperaturas bajas de almacenamiento. Las temperaturas óptimas de almacenamiento deben ser seleccionadas considerando todos los factores mencionados anteriormente que originan las pérdidas (Figura 16). Prácticamente no hay brotamiento en la papa mantenida a temperaturas de 5 °C o menores, pero debido a problemas de endulzamiento a baja temperatura, las temperaturas ideales de almacenamiento para la papa de consumo varían entre 5 y 10 °C, dependiendo

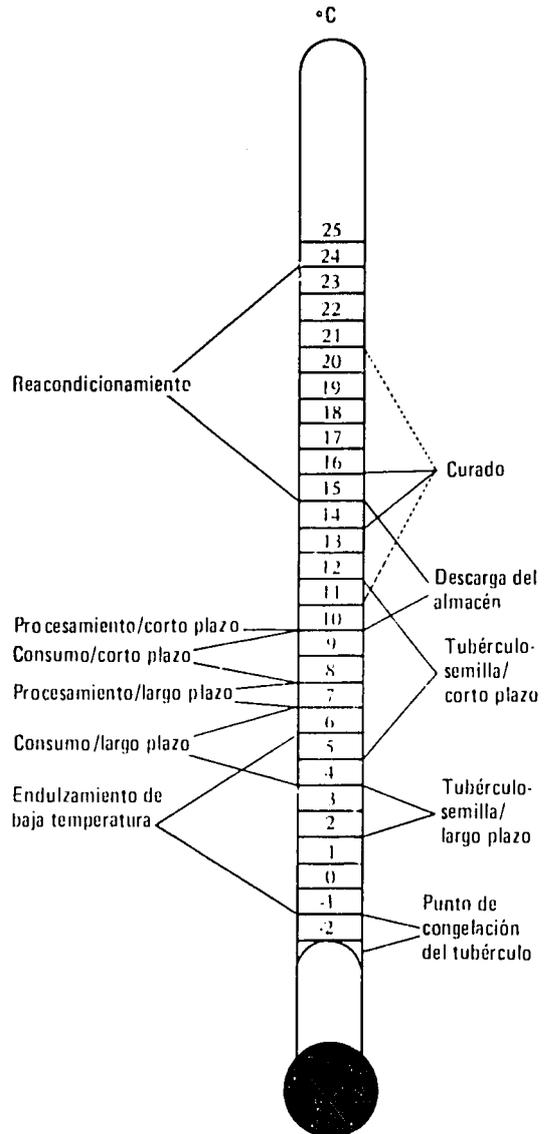


Figura 16. Temperaturas ambientales del almacenamiento.

do de la duración del período de almacenamiento y del uso que se piensa dar a los tubérculos. Los tubérculos-semillas se pueden mantener en almacenamiento prolongado a bajas temperaturas (2 a 4 °C) debido a que, en este caso, el endulzamiento por baja temperatura es de poca importancia.

La refrigeración que de ordinario se necesita para mantener temperaturas apropiadas requiere un manejo experto y un sistema de ventilación diseñado cuidadosamente. Bajo ciertas condiciones la refrigeración no es posible. Los tubérculos pueden ser almacenados por períodos bastante largos a temperaturas mayores que las indicadas anteriormente. Existen numerosas técnicas estruc-

turales y de manejo para reducir las temperaturas de almacenamiento, pudiendo citarse como ejemplo el uso que se hace del aire frío de la noche para lograr tal efecto.

Para reducir la pérdida de humedad por evaporación, el DPV del aire de almacenamiento debe mantenerse lo más bajo posible. Esto se hace manteniendo la humedad relativa a un nivel alto, alrededor de 90%. En algunos casos se requerirá la humidificación artificial del aire frío de ventilación. Se debe evitar la condensación del vapor de agua libre sobre los tubérculos debido a que, como en el caso del agua de lluvia, esto favorece la pudrición bacteriana.

Además de la reducción de las pérdidas de poscosecha, debidas a plagas y enfermedades, mediante adecuadas prácticas fitosanitarias tales como la eliminación de los tubérculos infestados o infectados y de los restos de plantas. También se pueden utilizar, en determinados casos y con buenos resultados, los plaguicidas. Sin embargo, para obtener éxito con estos productos es necesario un conocimiento profundo de la biología de la enfermedad o plaga que se quiere eliminar. Para las plagas y enfermedades cuya infección ocurre en el campo, antes de la cosecha, los productos químicos y otras medidas de control son aplicadas mejor en el campo.

Aunque es posible el control de determinadas plagas y enfermedades de poscosecha mediante aplicación de plaguicidas a los tubérculos, esta práctica no se emplea mucho con la papa para consumo humano, debido a los problemas y peligros de los residuos de los plaguicidas. Antes de su aplicación a los alimentos, los productos químicos deben ser rigurosamente revisados, y luego empleados sólo siguiendo estrictamente las instrucciones de los fabricantes y las disposiciones sobre aditivos a los alimentos que existen en el país correspondiente. Similares precauciones se deben tomar con el uso de venenos para roedores y con los inhibidores químicos del brotamiento. Tales precauciones no son necesarias para el tratamiento del tubérculo-semilla de papa. Siempre se debe tener gran cuidado al utilizar y manipular los productos químicos para la agricultura.

Entre los productos químicos empleados a escala comercial para controlar el brotamiento durante el almacenamiento prolongado a temperaturas superiores a 5 °C se inclu-

yen: MENA (ácido naftaleno-acético), tecnazeno/fusarex/TCNB (tetracloronitrobenzeno), propham/IPPC (isopropilfenil carbamato), chlorpropham/CIPC (isopropilclorofenil carbamato), nonanol (trimetilhexanol) y MH (hidracida del ácido maleico). Con excepción de la hidracida del ácido maleico, que es un producto para asperjar las hojas antes de la cosecha, todos los productos químicos indicados se utilizan sobre los tubérculos después de la cosecha. Esos productos químicos son activos en la fase de vapor, por ello deben ser dispersados con un excipiente inerte. Pueden ser espolvoreados sobre los tubérculos en los almacenes, o cuando están en forma granulada pueden ser mezclados con los tubérculos, o el producto solo puede ser vaporizado y forzado a pasar por en medio de los tubérculos. Los dos primeros métodos de aplicación tienen la ventaja de mantener un continuo efecto de control mediante la evaporación lenta de las sustancias químicas, y pueden ser utilizados conjuntamente con métodos simples de almacenamiento.

El tercer método (forzado del producto químico por los espacios que dejan los tubérculos almacenados) es con frecuencia más fácil de aplicar cuando se dispone de almacenes y equipos adecuados. Con una buena aplicación, el efecto del producto químico debe ser suficiente para mantener una concentración activa durante todo el tiempo de almacenamiento. Con el método de fumigación se puede hacer una segunda aplicación si es necesario. Todos los productos químicos indicados anteriormente, excepto del TCNB, inhiben el proceso de curado y la formación del coreho en la herida. Por ello, a pesar de que mediante la aplicación de estos inhibidores pueden ser prevenidos el brotamiento y la abundante pérdida de agua asociada con él, la pérdida de peso puede, a menudo, permanecer alta debido a la mayor evaporación proveniente de las heridas sin cicatrizar. Retardar la aplicación hasta que el curado sea completo implica el uso de productos vaporizantes, de difícil empleo en almacenes simples. Cuando se emplean inhibidores de brotes en papa para consumo humano se debe tener sumo cuidado de no contaminar la papa para semilla. El TCNB es el único inhibidor que posiblemente pueda emplearse para tubérculo-semilla de papa, pero se requiere investigación de las condiciones locales antes de recomendar su empleo.

# **METODOS DE ALMACENAMIENTO**

INTRODUCCION

SELECCION DE METODOS DE ALMACENAMIENTO

METODOS ALTERNATIVOS DE ALMACENAMIENTO

Postergación de la cosecha

Montones o pilas

Instalaciones adaptadas y de múltiple propósito

Almacenes de papa especialmente contruidos

METODOS DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA

MEJORAMIENTO DE LOS METODOS DE ALMACENAMIENTO

## INTRODUCCION

Antes de seleccionar y diseñar un almacén, se debe dar respuesta a algunas preguntas:

¿Qué cantidad de papa será almacenada y por cuánto tiempo?

¿Cuántas variedades y calidades de papa serán almacenadas?

¿Qué cantidad de papa será cosechada cada semana?

¿Cuáles son los períodos de reposo y otras características de las variedades que van a ser almacenadas?

¿Cuál es el clima durante el período de almacenamiento?

Qué cantidad de papa será almacenada y por cuánto tiempo, puede saberse conociendo el sistema total de producción y demanda. La cantidad de papa indica el tamaño del almacén: uno para 100 toneladas o para 500 toneladas, o tal vez series de edificios para 300 toneladas. La duración del período de almacenamiento es importante. El almacenamiento de uno a tres meses puede efectuarse en almacenes simples con ventilación natural por convección (VNC)\*, o con ventilación por extracción forzada (VEF)\*. El almacenamiento por más de seis meses puede exigir el uso de almacenes costosos con ventilación por refrigeración mecánica (VRM)\* o el uso de inhibidores de brotamiento.

El número de variedades y su calidad constituyen una guía para determinar el número y tamaño de cada almacén y el tipo de contenedor (cajón o bandeja) que debería ser empleado. Cada variedad y cada calidad debe mantenerse por separado, pero pueden ubicarse en el mismo almacén, utilizando para ello cajones o bolsas. Si se van a almacenar numerosas variedades a granel se necesitarán varios almacenes pequeños. El almacenamiento a granel se emplea de ordinario para cantidades de 50 o más toneladas, de una sola variedad o calidad.

---

\* Siglas del inglés: "Natural Convective Ventilation" (NVC); "Forced Draft Ventilation" (FDV); "Mechanical Refrigerated Ventilation" (MRV).

## Cosechas semanales

La papa debe ser curada durante 10 a 14 días después de haberla colocado en el almacén. La experiencia ha demostrado que la cosecha de una semana se cura convenientemente de una sola vez. El tamaño ideal de los almacenes individuales es el que puede recibir la cosecha de una semana.

## Características varietales

Tratándose de variedades que tienen período de latencia corto, se deben emplear almacenes con VRM o inhibidores de brotamiento, o ambos métodos, cuando el almacenamiento va a durar más de dos a tres meses. Las variedades con período de reposo largo pueden ser mantenidas de tres a cinco meses en almacenes con ventilación natural por convección (VNC) o con ventilación por extracción forzada (VEF), en zonas donde las temperaturas nocturnas permanecen debajo de 10 °C por más de 8 horas en cada período de 24 horas.

## Clima

El conocimiento del clima durante el período de almacenamiento es esencial para determinar el aislamiento requerido. Ayuda a decidir las necesidades de ventilación, ya sea ventilación natural por convección (VNC), ventilación por extracción forzada (VEF) o ventilación por refrigeración mecánica (VRM). Se debe determinar si es necesario humidificar el aire de ventilación.

La información indicada anteriormente es necesaria para seleccionar y diseñar los almacenes.

## SELECCION DE METODOS DE ALMACENAMIENTO

No hay un método que sea el más eficiente de almacenamiento y manejo de la papa. La selección de un método depende de numerosos factores técnicos, sociales, económicos, financieros y de condiciones que cambian continuamente. Diferentes métodos pueden ser más o menos apropiados en diversas circunstancias, y aun en diferentes períodos

en una misma temporada de almacenamiento. Los métodos deben ser seleccionados de modo que sean aceptables para el sistema total de producción-almacenamiento-demanda, con el propósito de obtener el máximo rendimiento de la inversión y reducir a los niveles mínimos posibles las pérdidas cualitativas y cuantitativas de almacenamiento. Para ello, en lugar de seleccionar un sólo método de almacenamiento, el cual necesitaría frecuentemente costosos y complejos almacenes grandes, se podrían obtener mayores beneficios seleccionando diferentes métodos y estructuras de almacenamiento que se complementen, para formar un sistema integrado de almacenamiento.

La Figura 17 ilustra un ejemplo de dicho sistema, empleando tres métodos diferentes de almacenamiento. En este ejemplo la cantidad de papa (1) requerida durante la primera etapa (I) del período total de almacenamiento es mantenida en almacenes simples o rústicos en el establecimiento. La cantidad (2) que se necesita durante el segundo período (II) es almacenada en depósitos de tipo intermedio y solamente la cantidad (3), que se necesita para el período final (III) es almacenada en depósitos refrigerados complejos.

Antes de usar de manera efectiva los métodos integrados, se requiere información sobre el tiempo durante el cual la papa puede ser almacenada, empleando diferentes métodos sin pérdidas económicas, bajo las condiciones ambientales predominantes del lugar. La información sobre pérdidas de almacenamiento se utilizan, juntamente con los datos económicos y de comercialización, para diseñar un sistema integrado, como se muestra en la Figura 17.

En general, los almacenes simples o rústicos son más baratos y en la mayoría de los casos se puede tolerar un incremento mayor de las pérdidas que en los sistemas caros de almacenamiento.

Al seleccionar determinados métodos de almacenamiento se debe tener en cuenta el valor total en el mercado de la cosecha anual que se piensa almacenar, ya que es necesario conocer cuánto se va a invertir en los sistemas de almacenamiento para proteger el valor de la cosecha. Con frecuencia, los esfuerzos y gastos en el almacenamiento de una cosecha en condiciones inadecuadas dan como resultado pérdidas sustanciales. Tales pérdidas podrían ser reducidas con una inversión adi-

cional relativamente pequeña. Sin embargo, el costo de reducir las pérdidas de almacenamiento siempre debe ser confrontado con el valor social y financiero de esas pérdidas. Por ejemplo, puede ser técnicamente posible reducir de 15 a 8% las pérdidas totales de almacenamiento en un determinado almacén con VEF, instalando una unidad de refrigeración (VRM). Pero si el costo anual de la instalación y el funcionamiento de esta unidad es mayor que el valor del 7% de la cosecha almacenada, esta mejora técnica no estará justificada desde el punto de vista netamente financiero.

Finalmente, en la selección de un método de almacenamiento se deben estimar sus aspectos técnicos y económicos, teniendo en consideración su aceptación tanto por el sector productivo como consumidor, dentro del sistema total. Si los métodos seleccionados no son aceptados por ambas partes, no serán usados. Un almacén técnicamente muy bueno pero inapropiado para el sistema total, de ordinario, permanecerá sin uso. Los ejemplos al respecto se encuentran generalmente en lugares donde los métodos de almacenamiento fueron transferidos directamente de otras regiones con climas similares, pero sin haber hecho esfuerzo alguno para adaptar la tecnología a los sistemas locales predominantes, tanto de producción y consumo como socioeconómicos. En síntesis, un método de almacenamiento debe ser seleccionado y desarrollado dentro de las necesidades del sistema total local y no "importado" o transferido como una copia de algún otro sistema.

## MÉTODOS ALTERNATIVOS DE ALMACENAMIENTO

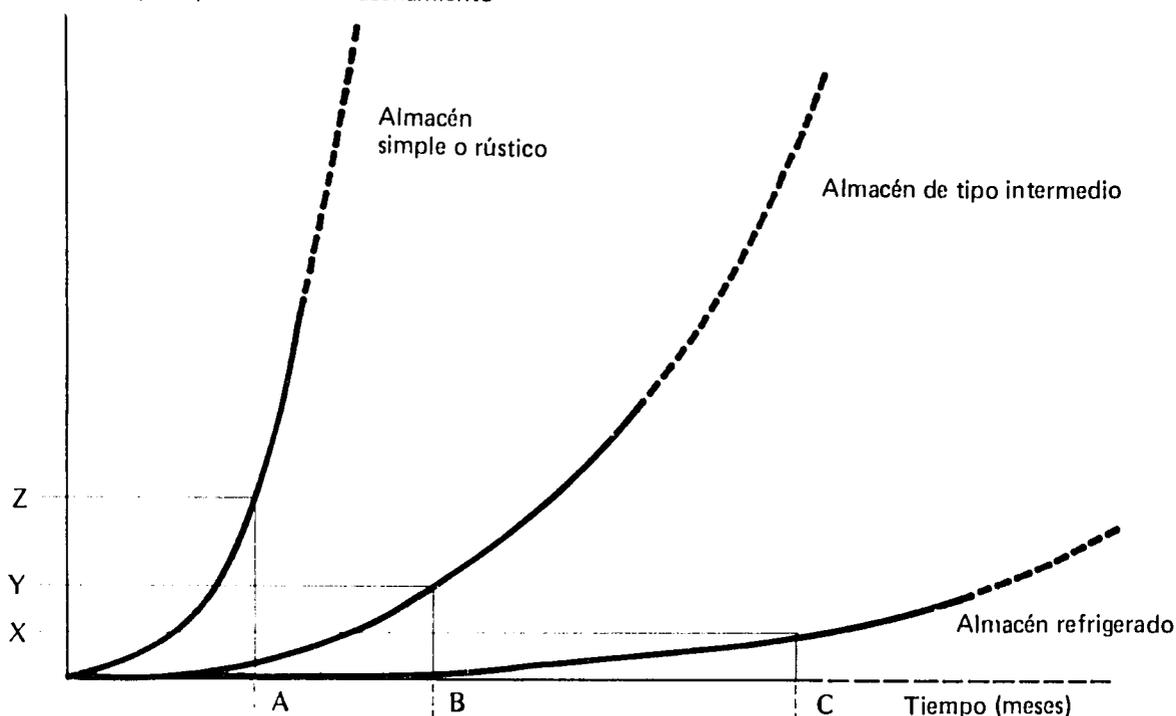
En la selección, proyección, construcción y el manejo de un método de almacenamiento se debe considerar su ubicación física:

- en el campo postergando la cosecha, o
- en pilas simples o montones cubiertos con paja y algunas veces con tierra, o
- en edificios ya sea especialmente construidos para almacenamiento de papa o modificados de manera conveniente.

Figura 17. Desarrollo de sistemas integrados de almacenamiento.

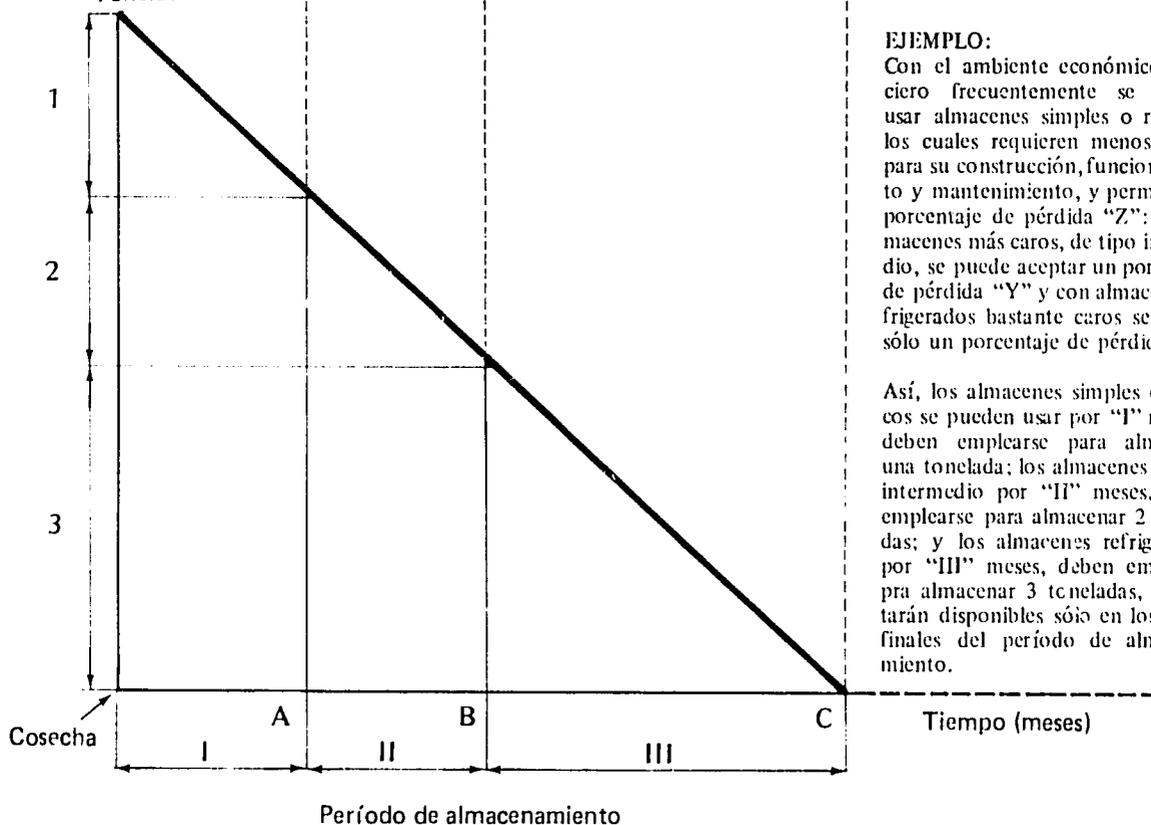
(A)

Porcentaje de pérdida en almacenamiento



(B)

Toneladas



**EJEMPLO:**

Con el ambiente económico-financiero frecuentemente se pueden usar almacenes simples o rústicos, los cuales requieren menos dinero para su construcción, funcionamiento y mantenimiento, y permiten un porcentaje de pérdida "Z"; con almacenes más caros, de tipo intermedio, se puede aceptar un porcentaje de pérdida "Y" y con almacenes refrigerados bastante caros se acepta sólo un porcentaje de pérdida "X".

Así, los almacenes simples o rústicos se pueden usar por "I" meses y deben emplearse para almacenar una tonelada; los almacenes de tipo intermedio por "II" meses, deben emplearse para almacenar 2 toneladas; y los almacenes refrigerados, por "III" meses, deben emplearse para almacenar 3 toneladas, que estarán disponibles sólo en los meses finales del período de almacenamiento.

## Postergación de la cosecha

La postergación de la cosecha, o el almacenamiento dentro del suelo, es el método más simple y puede ser empleado con éxito por un tiempo hasta de tres meses, dependiendo de la variedad, el clima, el suelo, las enfermedades y los insectos.

La postergación de la cosecha consiste en dejar la papa dentro del suelo después de que el follaje haya madurado y muerto. Cuando exista la posibilidad de que la infestación de insectos o las enfermedades dañen la papa, el follaje puede ser destruido por medios químicos o mecánicos.

La postergación de la cosecha ofrece las ventajas del bajo costo de almacenamiento y de la oportunidad de una cosecha cuidadosa en la que se puede hacer un buen trabajo de selección con menor número de trabajadores.

Solamente se deben considerar para almacenamiento dentro del suelo las variedades de papa que tienen un período de reposo de tres meses por lo menos. Tratándose de variedades de reposo breve, el brotamiento puede ser un problema.

El clima debe ser frío con una temperatura que fluctúe entre 0 y 15 °C. Si la temperatura baja de 0 °C hay la posibilidad de que se produzcan daños por congelamiento. Si la temperatura asciende a más de 15 °C, quizás a 20 ó 25 °C, el suelo se pondrá muy caliente ocasionando daño a los tubérculos. La temperatura del suelo debe ser tomada en cuenta en zonas que reciban luz solar directa y fuerte.

Una lluvia ocasional de alrededor de 10 mm es aceptable, pero la lluvia que deja el suelo húmedo por más de varias horas ocasionará aumento de la pudrición de los tubérculos. La postergación de la cosecha puede dar lugar también a incrementos de daños por plagas y, si los tubérculos no están bien cubiertos, dará lugar a pérdidas por verdeamiento.

El suelo debe ser ligero o arenoso. El suelo duro forma masas de tierra, o terrones, o costras y puede magullar y dañar la papa; el suelo con costras hace más difícil la cosecha.

Las principales ventajas del almacenamiento dentro del suelo son:

bajo costo,

la cosecha puede efectuarse cuanto se necesite papa para el mercado,

la papa tiene apariencia más fresca que la de que se extrae de almacenes.

## Montones o pilas

Los montones de papa (Figura 13) y sus numerosas modificaciones son estructuras simples, que pueden ser empleados para almacenar papa en el campo o cerca de la casa si esto es necesario por seguridad. El tipo de almacenamiento en montones es especialmente útil cuando no se desea invertir capital, o cuando el costo de mano de obra es de importancia secundaria. Esencialmente, el sistema consiste en acomodar los tubérculos cosechados en montones, cubiertos con capas alternadas de paja y tierra. Las dimensiones y detalles de la formación de los montones varía, y se debe determinar el sistema y diseño que sean más adecuados a las condiciones locales.

Las principales ventajas de los montones o pilas son su bajo costo y su adaptación a numerosas situaciones. Han sido empleados por los pequeños agricultores de los Andes, por agricultores experimentados de Europa y por agricultores que trabajan a gran escala en Argentina.

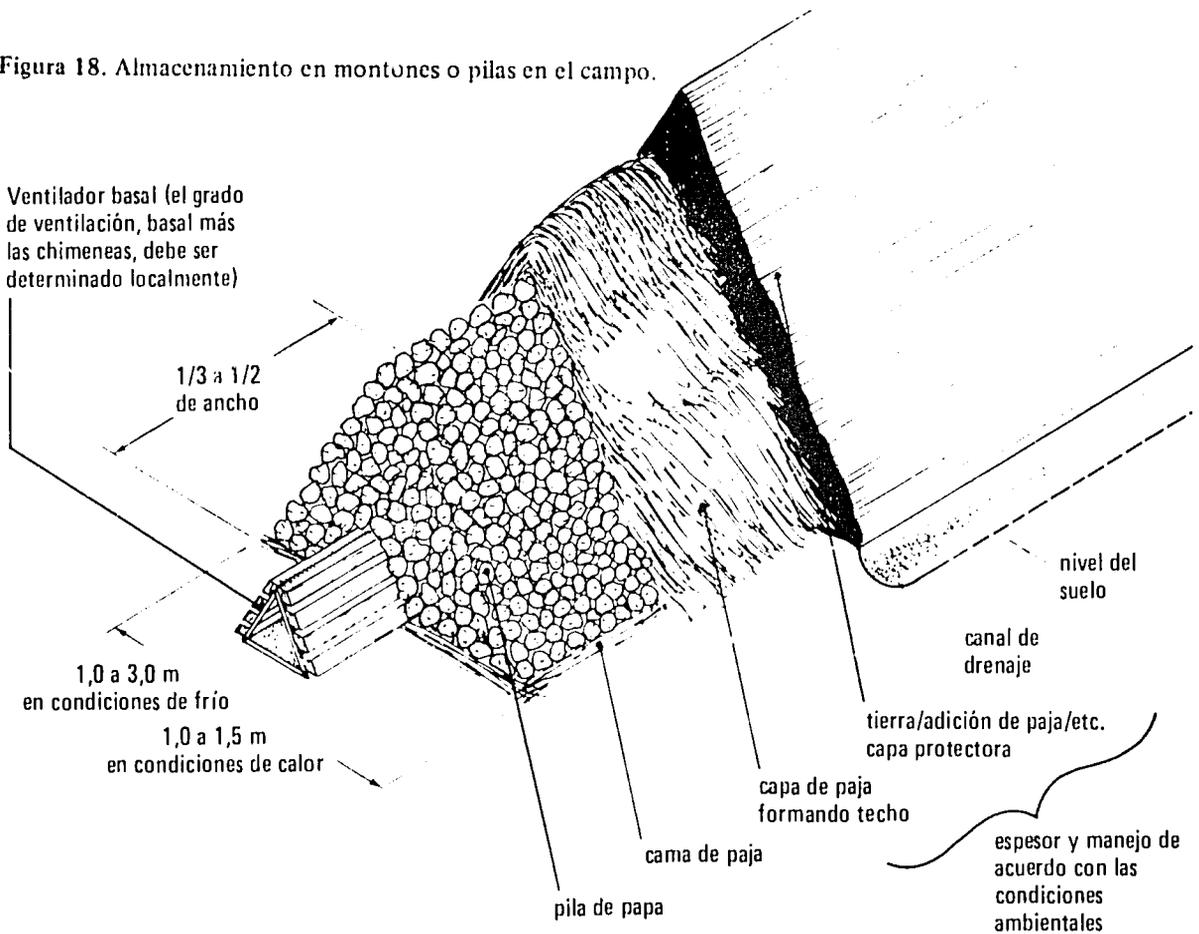
Para preparar los montones, las papas se colocan en una pila de uno a tres metros de ancho en la base y de una altura que depende de la que alcancen las papas acomodadas siguiendo el ángulo natural de reposo (de ordinario alrededor de la mitad o la tercera parte del ancho de la pila). La pila se hace tan larga como sea necesario para que contenga toda la papa que se quiere almacenar.

Guía de capacidad para almacenamiento en montones o pilas

Ancho del montón de papa (m)	1	1,5	2	2,5	3
Capacidad por m de longitud (t)	0,14	0,31	0,56	0,89	1,26

La papa es acomodada en pilas sobre una cama de paja y a medida que la pila va aumentando su longitud se le va cubriendo con una capa de paja compactada de 15 a 20 cm de espesor. La paja larga y que no está rota es mejor y se la coloca como formando un techo de paja. Según el clima, puede dejarse el montón en este estado, o posteriormente se le puede cubrir con una capa de tierra de 15 a 30 cm de espesor para protegerlo más aún contra las heladas. La capa de tierra no debe estar muy compacta. En algunas regiones ha sido bene-

Figura 18. Almacenamiento en montones o pilas en el campo.



ficioso colocar una segunda capa de paja y tierra. En lugares más calientes la adición de paja o cañas de maíz invertidas, sin capa de tierra, ha dado muy buenos resultados (Figura 19 A).

Se han incorporado láminas de plástico

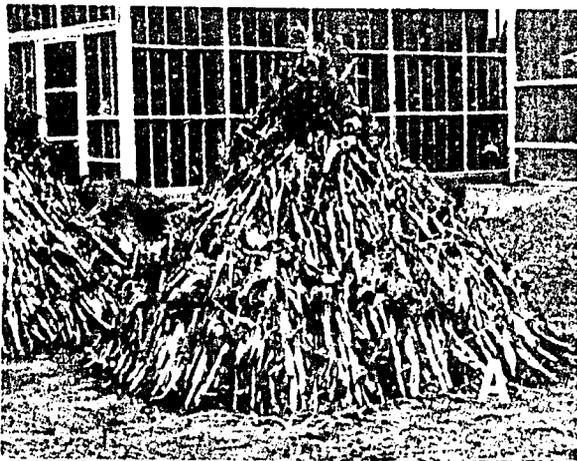
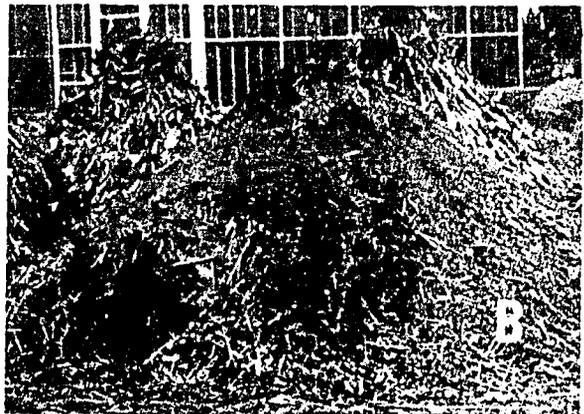


Figura 19. Pequeños montones o pilas de papa (CIP, Huancayo, Perú). A. Montón o pila cubierto con paja y tallos de maíz. B. Montón o pila cubierto con paja y tierra con ducto de ventilación en la base.

a las estructuras pero el plástico aumenta considerablemente los riesgos de condensación de agua sobre los tubérculos, restringe la ventilación y promueve el sobrecalentamiento.

En climas calientes los montones deben tener no más de 1,5 m de ancho y recibir mayor ventilación. En climas calientes no deben usarse los montículos circulares, grandes y altos. La ventilación de los montones puede ser acrecentada colocando ductos debajo de las pilas de papa (Figura 19 B). Si se emplea



tierra para cubrir los montículos se deben utilizar varias chimeneas extractoras en la parte superior de la pila, para permitir la salida del aire. Los ductos ventiladores de la base pueden prepararse en forma simple, por ejemplo de madera o de bambú, y pueden tener forma triangular o cuadrada en su sección transversal o estar conformados por tubos bien perforados. Las chimeneas pueden ser de cualquier material adecuado, pero debe evitarse que dejen pasar la lluvia a los montones. En algunos casos se puede hacer uso de la VEF, colocando un ventilador eléctrico en un extremo de los ductos ventiladores de la base.

Las pérdidas excesivas de los montones generalmente provienen de la pudrición de los tubérculos, como resultado de la penetración del agua de lluvia. Si los tubérculos van a ser almacenados después del período de reposo natural, será necesario el uso de inhibidores químicos de brotamiento.

En diferentes lugares se han efectuado numerosas modificaciones de este sistema de almacenamiento en montones, incluyendo tipos de hoyos y pilas.

### Edificios adaptados y de propósito múltiple

Los edificios adaptados y de propósito múltiple son construcciones comunes empleadas para almacenar papa, particularmente en las zonas productoras.

Un edificio de propósito múltiple ha de acomodarse para otros usos y por ello reduce su efectividad para el almacenamiento. Sin embargo, el sistema puede ser el más apropiado y eficiente cuando se considera toda la operación agrícola. En numerosas zonas productoras de papa no se dispone de capital para construir y operar en forma eficiente almacenes destinados específicamente para esta finalidad, y por ello se justifican las instalaciones de propósito múltiple. Las necesidades de almacenamiento y manipulación de los productos agrícolas varían considerablemente, lo cual significa que los almacenes de propósito múltiple deben ser diseñados y administrados cuidadosamente para evitar las pérdidas excesivas por almacenamiento de cada producto de consumo. El uso de edificios de almacenamiento de propósito múltiple varía de los pisos más altos a los más bajos de las casas de habitación del agricultor, pasando por depósitos generales hasta almacenes

refrigerados de propósito múltiple. Los edificios adaptados varían en rendimiento técnico, dependiendo del grado de eficiencia de la adaptación, especialmente en términos de aislamiento y adecuada y eficiente ventilación. Son siempre menos efectivos que los edificios construidos específicamente para almacenamiento de papa.

### Almacenes de papa especialmente construidos

Una de las primeras decisiones necesarias cuando se proyecta la construcción de una estructura específica para almacenar papa es su tamaño. El tamaño depende de la cantidad de papa que se desea almacenar. Se puede utilizar un edificio único, o una serie de edificios similares. Cada edificio puede constar de una sola cámara, o de una serie de ellas. Cada cuarto debe tener capacidad para la cosecha de una semana. Esto ayudará a administrar la curación, la recepción y el despacho de los tubérculos.

El tamaño de los cuartos dependerá de cómo va a ser almacenada la papa: a granel, en cajones o en sacos o bolsas.

Cada tonelada (t) de tubérculos almacenados a granel ocupa de 1,5 a 1,6 m<sup>3</sup>. Donde se emplea sólo ventilación natural por convección (VNC), la pila de tubérculos no debe exceder 2 m de altura para evitar diferencias excesivas de temperatura en la pila. En climas más calientes se debe reducir la altura de la pila a cerca de 1,3 m. Con esta altura la capacidad de almacenamiento es aproximadamente 0,85 t/m<sup>2</sup> de piso. Con la VEF más refrigeración, es permisible una profundidad de la pila de 3,5 a 4,0 m. Las paredes del almacén deben tener por lo menos un metro de altura por encima del almacenamiento.

Los envases más útiles de almacenamiento son los cajones de 1/2 t o de 1 t (Figura 20). Estos cajones requieren un manejo mecánico. Son particularmente útiles cuando varias cosechas se almacenan juntas. La papa para consumo y para semilla se almacenan, de ordinario, en sacos o bolsas de yute o arpillera o de otros tipos. Los sacos ofrecen muy pocas ventajas o ninguna sobre los cajones o el almacenamiento a granel. Si se usan los sacos, se les debe seleccionar y apilar cuidadosamente para facilitar la ventilación y el movimiento del aire entre ellos y en su interior. Los sacos de material liviano, con el tejido

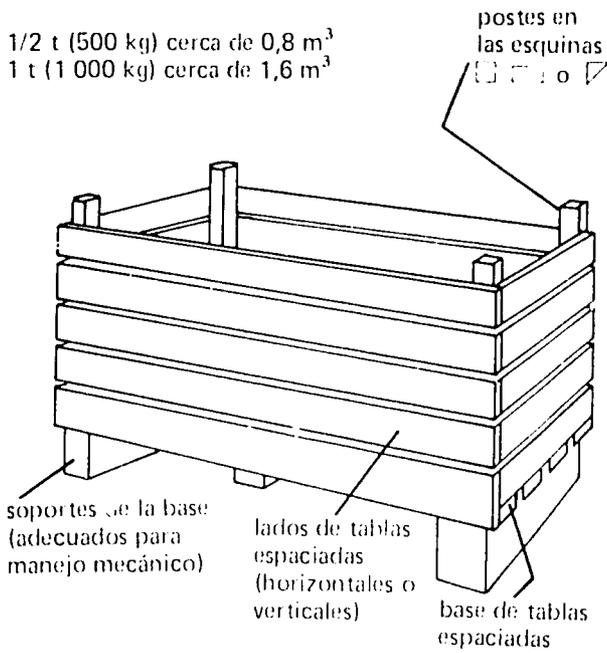


Figura 20. Cajones o bandejas para almacenamiento a granel.

más abierto, son mejores que los de material pesado y de tejido más unido, como los de paja de arroz, aunque estos últimos son útiles para transportar tubérculos del campo al al-

macén, porque ayudan a reducir los daños por manipulación. Cualquier empaque que se emplee debe estar limpio para evitar la diseminación de enfermedades o insectos (ver Apéndice A5 sobre desinfectantes adecuados).

Una vez que se ha determinado el volumen de almacenamiento se puede diseñar el almacén. El diseño específico dependerá de la experiencia local, la disponibilidad y los costos de los materiales. Un aspecto importante del diseño es la relación del área con el volumen, ya que ella afectará el nivel de transferencia de calor. La forma que ofrece la relación más favorable es la esférica y la forma más práctica del edificio es la del cubo. Cuando se necesitan edificios grandes de almacenamiento, los límites técnicos de altura de las pilas de tubérculos y las limitaciones económicas en el costo de edificios espaciosos, imponen una transacción entre la forma ideal y las posibilidades prácticas.

Es importante considerar también en el diseño, el acceso tanto al lugar del almacén como al interior del edificio mismo. Las puertas de ingreso al interior de un almacén deben ser suficientemente grandes para facilitar la carga y descarga. En almacenes grandes de-

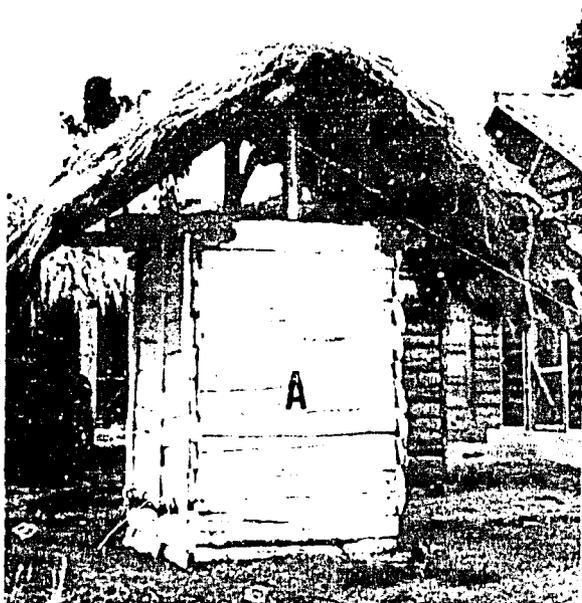
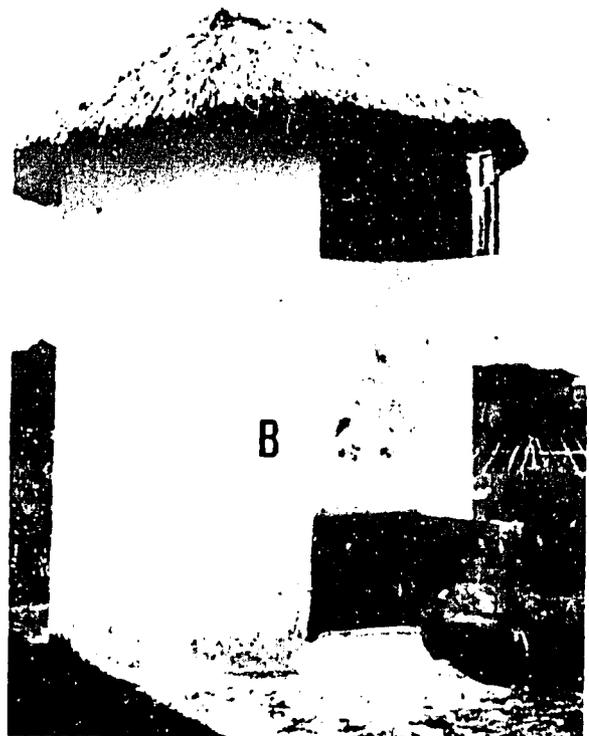


Figura 21. Almacenes simples, rústicos y pequeños, pintados exteriormente de color blanco. A. Construidos con palos y maderas. Capacidad de 1,5 t (CIP, Huancayo, Perú). B. Construidos con adobes. Exterior empastado y enlucido. Capacidad de 2 t (Colegio de Agricultura de "Mountain State", Baguio, Filipinas).



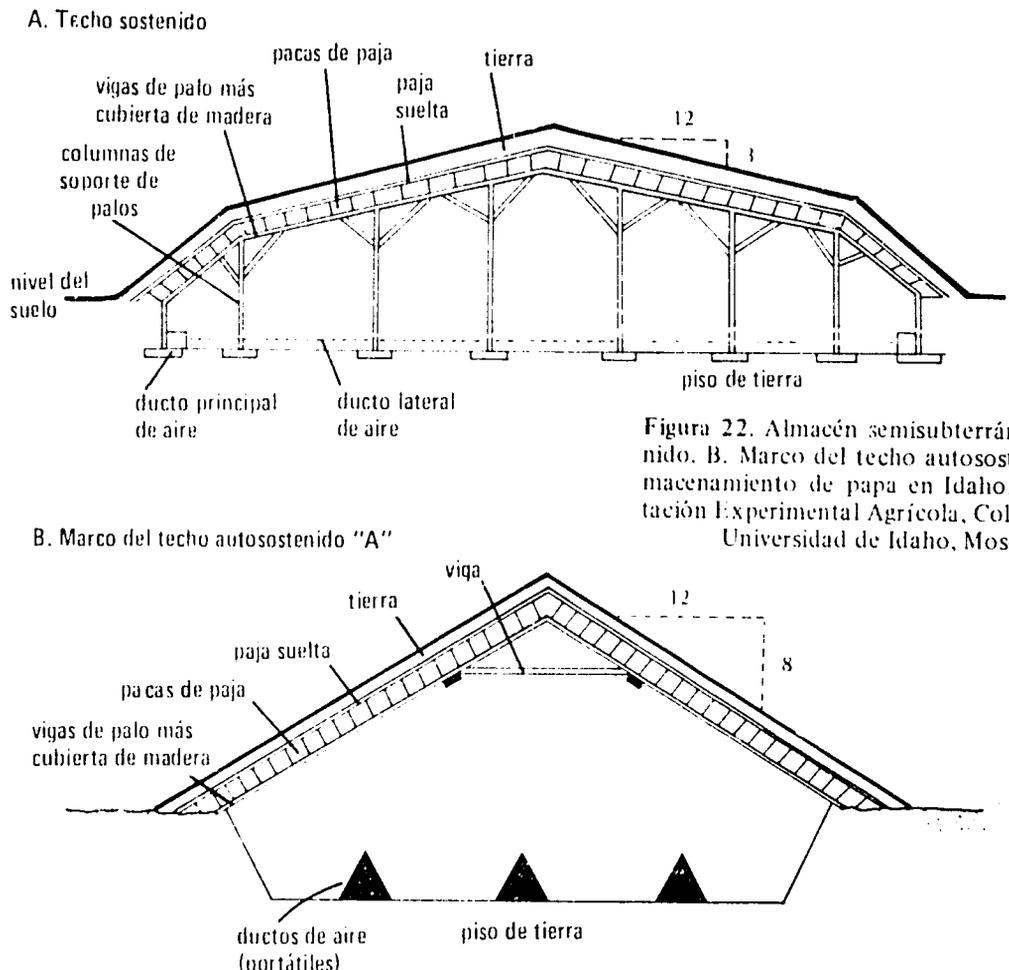


Figura 22. Almacén semisubterráneo. A. Techo sostenido. B. Marco del techo autosostenido "A" (de: Almacenamiento de papa en Idaho, Boletín N° 40, Estación Experimental Agrícola, Colegio de Agricultura, Universidad de Idaho, Moscow, Idaho).

be haber acceso fácil a los compartimientos individuales. El principio "lo que entra primero sale primero" debe ser aplicado siempre. Esto, de ordinario, exige acceso múltiple. Los almacenes especialmente contruidos varían desde pequeños almacenes rústicos de

bajo costo (Figura 21), pasando por almacenes de tipo intermedio, semisubterráneos o sobre el piso y ventilados en forma natural (Figuras 22 y 23), hasta almacenes complicados de gran capacidad con ventilación forzada y refrigeración (Figuras 24 y 25).

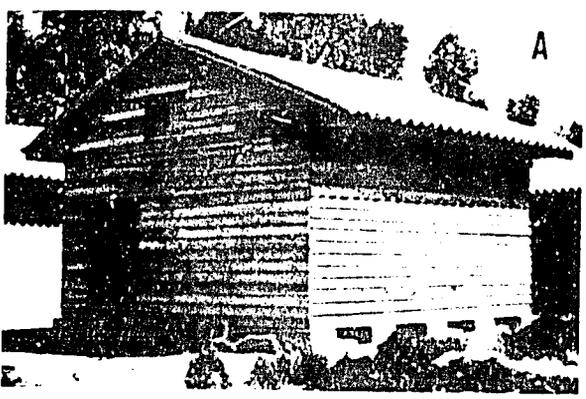
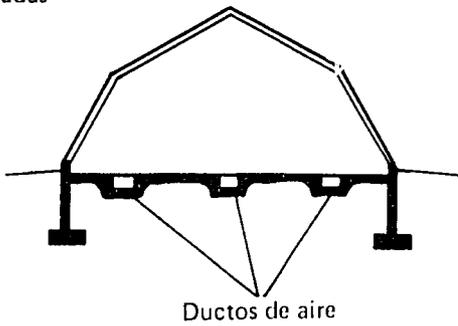
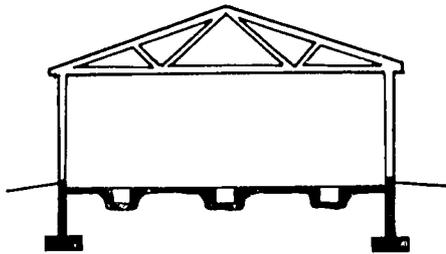


Figura 23. Almacenes con ventilación natural simple. A. Construidos con madera. Capacidad de 20 t (CIP, Huancayo, Perú). B. Construidos con adobes o bloques de concreto. Capacidad de 15 t (CIP-PCARR-MSAC, Baguio, Filipinas).

Marco rígido o vigas reforzadas



Pared de postes y techo a dos aguas



Techo en arco

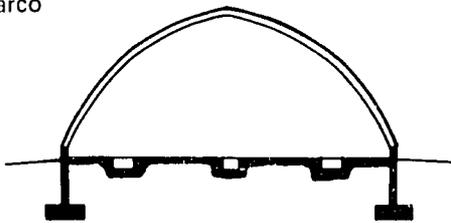


Figura 24. Almacenes sobre el suelo, de gran escala (de: "Bulk Potato Storage", Publicación 1508 de Agricultura de Canadá, Departamento de Agricultura de Canadá).

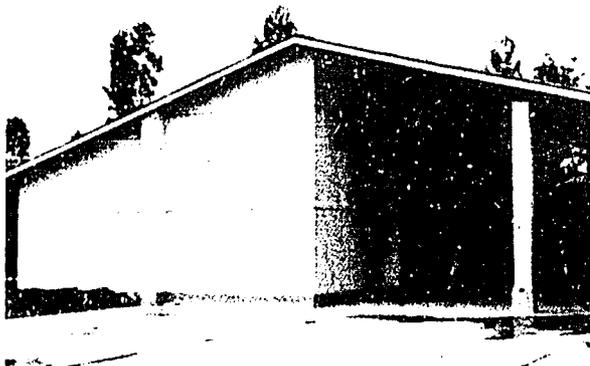


Figura 25. Almacén de tubérculo-semilla, de mediana capacidad, con ventilación por extracción forzada (VEF) (CIP, Huancayo, Perú).

Los aspectos de ingeniería que atañen al diseño, la construcción y administración de los almacenes indicados se tratan en el próximo capítulo.

## METODOS DE ALMACENAMIENTO DE TUBERCULO-SEMILLA

El almacenamiento de tubérculo-semilla demanda especial atención, con el objeto de proporcionar tubérculos-semillas de buena calidad y de condiciones fisiológicas convenientes para la siembra.

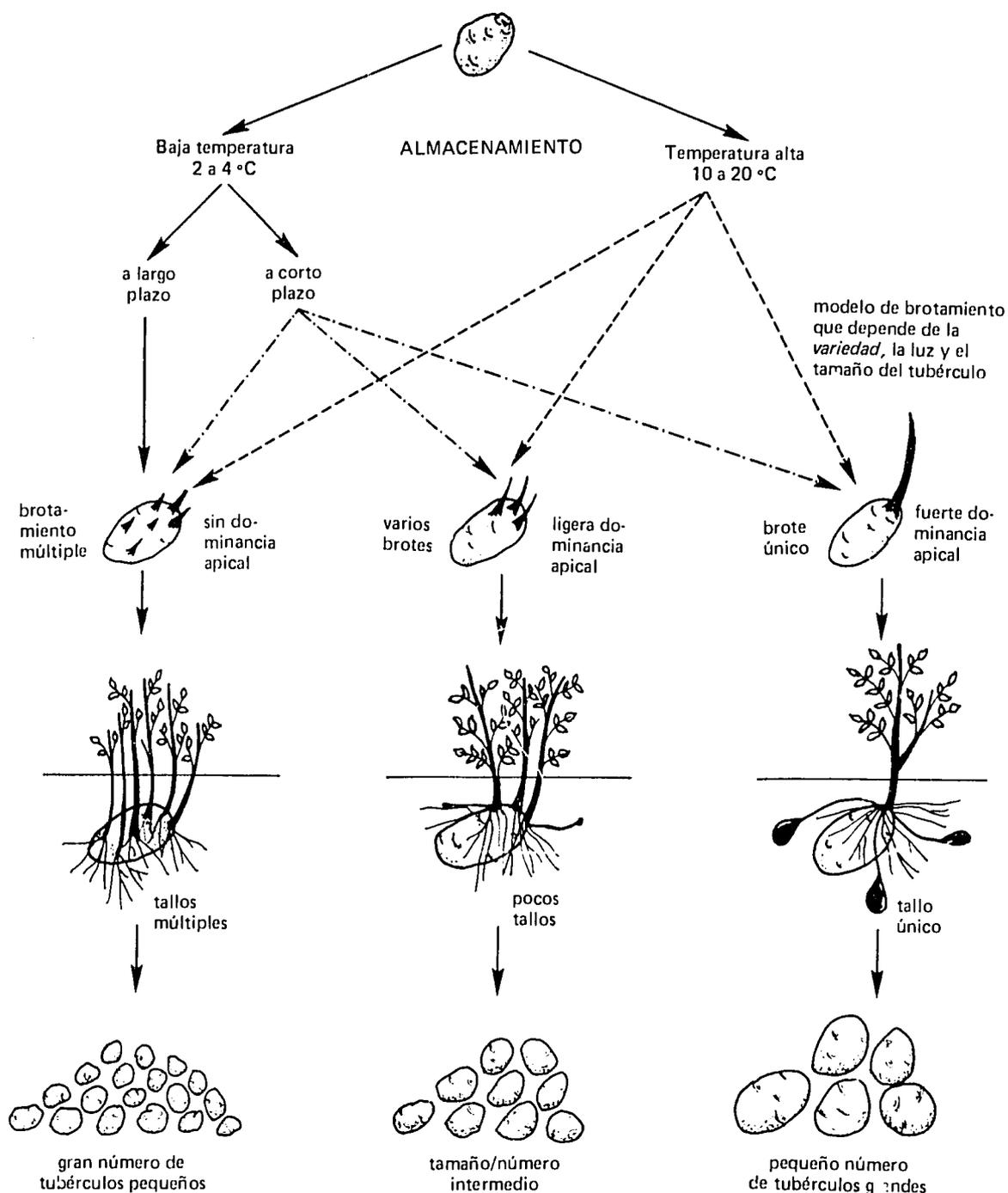
Los métodos de almacenamiento y administración de tubérculo-semilla deben permitir el desarrollo adecuado de los brotes de los tubérculos en número y tamaño antes de la siembra. El número de brotes por tubérculo, que determina el número de tallos principales por planta, depende de la variedad, el tamaño del tubérculo y el grado de dominancia apical. Esta, en una determinada variedad, es afectada por las condiciones de almacenamiento, especialmente por la temperatura (Figura 26).

Los almacenes de tubérculo-semilla de papa deben estar diseñados y administrados en forma tal que favorezcan la producción del óptimo número de tallos principales, así como del número y tamaño de las papas.

Cuando el tubérculo de papa se almacena a una temperatura que promueve un período de reposo corto, las yemas jóvenes del ápice empiezan a crecer, mientras que se suspende el crecimiento de las yemas viejas. Esto se conoce como *dominancia apical*. Un tubérculo con dominancia apical tendrá pocos tallos principales. A consecuencia de ello, la planta producirá menor número de tubérculos, que pueden llegar a desarrollarse demasiado, en desmedro del tamaño adecuado para su comercialización. Si en el almacenamiento de los tubérculos-semillas se controla la dominancia apical, se desarrollará el adecuado número de tallos, generalmente tres a cinco. Esto permitirá sembrar la cantidad adecuada de tubérculo-semilla para producir el máximo rendimiento de tubérculos de tamaño conveniente para el mercado.

Varios métodos de almacenamiento de tubérculos puede dar lugar a los 3 a 5 tallos principales por tubérculo sembrado. Un método consiste en mantener el tubérculo-semilla a una temperatura de alrededor de 4 °C hasta después del término del reposo natural

Figura 26. Dominancia apical.



NOTA: El efecto sobre el rendimiento total depende de la densidad de la siembra, la fertilidad del suelo y las condiciones del crecimiento.

de la variedad y hasta pocas semanas antes de la siembra. Posteriormente se almacena a la luz (natural o artificial), a temperatura de alrededor de 15 °C para propiciar la formación de abundantes brotes verdes.

Cuando es imposible manipular la temperatura de almacenamiento, la dominancia apical puede ser controlada manualmente. Des-

pues del almacenamiento a temperaturas no controladas y bastante altas, los brotes empiezan a crecer cuando ha finalizado el período de reposo natural de la variedad. El grado de la dominancia apical, comparado con el número de brotes, dependerá enormemente de la variedad. En las variedades que muestran fuerte dominancia apical, se puede des-

truir ésta quitando los brotes apicales con la mano. Esto promueve el brote de muchas otras yemas, pero puede ocasionar excesiva pérdida de peso durante el almacenamiento.

Otro método para "romper" la dominancia apical consiste en cortar la papa en dos o más segmentos, cada uno de los cuales tendrá dominancia apical reducida y se podrá sembrar por separado. Si el tubérculo es muy pequeño para estas divisiones, simplemente se debe dar un corte transversal hasta la mitad. Esto también rompe la dominancia apical y da lugar a brotes adicionales para tallos principales.

En los métodos indicados de desbrota- miento o de corte, la pérdida de peso de los tubérculos almacenados aumenta y se hace más probable la diseminación de las enfer- medades.

Otra forma de reducir la dominancia api- cal consiste en almacenar los tubérculos-semi- llas en condiciones de luz difusa, ya sea natural o artificial (Figura 27). Hasta cierto pun- to, el uso de luz difusa suple la necesidad de almacenamiento a baja temperatura de los tu- bérculos-semillas y esta técnica se ha emplea- do en diversos ambientes. Las ventajas del al- macenamiento con luz difusa sobre el almac- enamiento en la oscuridad, además del con- trol del crecimiento de los brotes, son la re- ducción de la dominancia apical, el incremen-

to del número de brotes y de la resistencia a numerosas plagas y enfermedades debido al verdeamiento de los tubérculos.

El uso de la luz natural difusa influye con- siderablemente en el diseño y los materiales de construcción del almacén. En los almace- nes especialmente contruidos, con luz natu- ral difusa, la entrada de la luz a través de pa- redes transparentes es ideal, debido a la mejor distribución de la luz y porque la ganancia de calor dentro de los edificios, por unidad de área, es mayor a través del techo que a través de las paredes. Cuando los edificios espacio- sos son modificados para usarlos como almace- nes de tubérculo-semilla con luz natural di- fusa, la luz desde arriba predomina en el am- biente, con la desventaja del incremento en ganancia de calor. En almacenes de pequeña escala (de hasta 5 a 6 toneladas de capaci- dad), con luz natural difusa, se pueden almacenar los tubérculos en anaqueles de tablas separa- das o en bandejas de semilla, colocándolos a una profundidad máxima de 2 ó 3 tubérculos, a fin de propiciar una buena llegada de la luz. El espacio entre los anaqueles y las bandejas de semilla está determinado mayormente por el ancho del edificio. En los edificios más anchos se necesita espacio adicional para per- mitir buena penetración de la luz. En almace- nes pequeños, de 1,5 m de ancho, se sugiere un espaciamiento de 25 cm entre los anaque- les. En los almacenes más grandes, los ana- queles individuales no deben tener más de 1,5 m de ancho para evitar dificultades de manejo. Aproximadamente pueden ser alma- cenados de 75 a 100 kg de tubérculos-semillas por metro cuadrado de anaqueles.

En almacenes de gran capacidad, con luz natural difusa, los tubérculos-semillas pueden ser almacenados acomodándolos en diversas formas, ya sea en anaqueles planos de tablas separadas (Figura 28) o en bandejas o cajones apilados (Figura 29). Las bandejas de semillas o los anaqueles aumentan considerablemente el costo del almacenamiento. Sin embargo, las bandejas para tubérculos-semillas ofrecen mu- chas ventajas, ya que reducen la manipulación del producto y son especialmente útiles cuan- do se almacenan numerosas variedades. De manera general, los costos de construcción de los almacenes con luz difusa son bajos, pero el costo de los anaqueles y bandejas puede ser el factor principal en el aspecto económico de este sencillo método de almacenamiento. El



Figura 27. Efecto del almacenamiento en luz (izquier- da) versus almacenamiento en la oscuridad (derecha). Se observa la dominancia apical y el número de brotes.

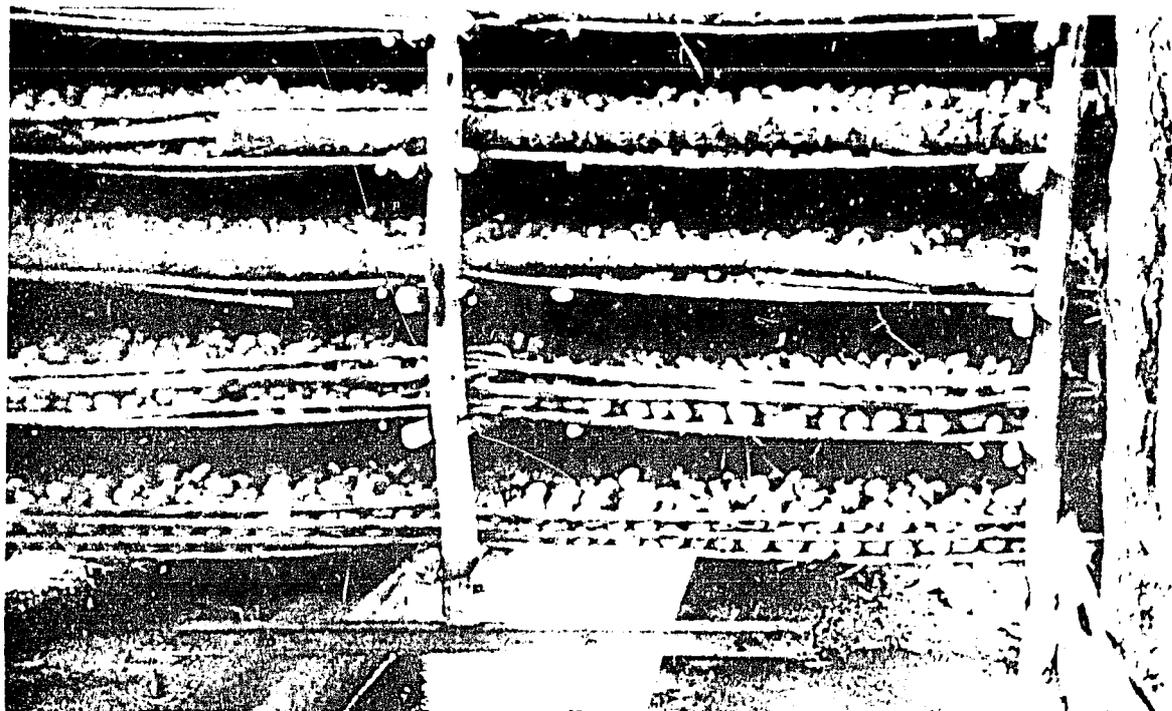


Figura 28. Tubérculos-semillas almacenados en anaqueles de tablas en almacén con luz natural difusa. Este almacén está construido sobre un canal de irrigación para mejorar el ambiente del almacenamiento (Cooperativa de Agricultores, Barranca, Perú).



Figura 29. Tubérculos-semillas apilados en capas de poca altura, en cajones o bandejas colocados en almacenes con luz natural difusa (CIP, Huancayo, Perú).



Figura 30. Pulverización para controlar los áfidos en el almacén de tubérculo-semilla con luz difusa (CIP, Huancayo, Perú).

almacenamiento de tubérculo-semilla con luz natural difusa es el sistema más conveniente para los pequeños agricultores. Cuando se almacenan cantidades de tubérculos-semillas que sobrepasan las 100 toneladas, el costo de los anaqueles o las bandejas y el costo del espacio adicional requerido pueden igualar o exceder el costo de métodos más complicados de almacenamiento a granel con refrigeración.

Se obtiene una penetración óptima de la luz a los almacenes que utilizan luz natural difusa empleando edificios largos y angostos. De acuerdo con la capacidad exigida y el espacio disponible, pueden ser construidos como una sola unidad o varias unidades ubicadas una al lado de la otra. Los materiales de construcción dependen de su disponibilidad en el lugar, costos y clima. Se recomienda una estructura simple de madera redonda o bambú sobre suelo nivelado. El techo debe estar bien aislado y tener aleros grandes para proporcionar sombra a las paredes y para evitar que la luz directa del sol caiga durante períodos prolongados sobre los tubérculos. Los techos de paja son ideales para esta finalidad.

Las paredes transparentes pueden ser de malla de alambre, nilón, o plástico, o de polietileno, o plástico rígido y corrugado, o láminas de fibra de vidrio. También se pueden emplear trozos largos y espaciados de madera, caña o bambú. Las láminas de polietileno, plástico rígido, o fibra de vidrio son apropiadas para regiones frías, pero cuando se las emplea se debe asegurar una ventilación adecuada.

Cuando existe el problema de la polilla de la papa en el almacenamiento, se deben emplear materiales a prueba de polilla, como nilón, plástico o mallas de alambre. También se recomienda el control químico de los áfi-

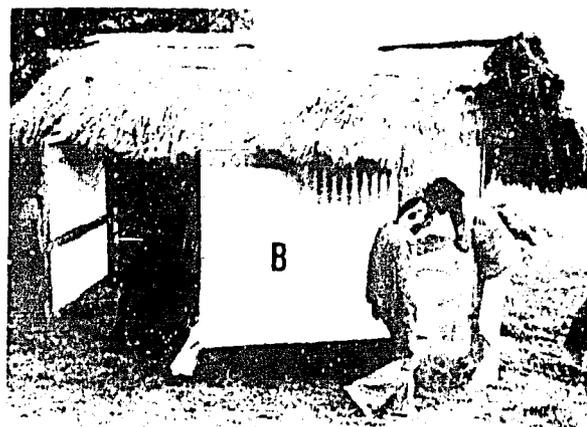


Figura 31. Almacenes de pequeña escala con luz natural difusa, que emplean anaqueles y diseños de edificio y materiales de la localidad. A. CIP, Huancayo, Perú. B. Sayangan, Filipinas. C. Nigale, Nepal.

dos en todos los almacenes de tubérculo-semilla de papa, ya sea en los de luz difusa o en los de temperatura reducida en la oscuridad (Figura 30).

Las Figuras 31 y 32 ilustran varios tamaños y tipos de construcción de los almacenes de tubérculo-semilla que usan luz difusa.

Cuando la temperatura interna de almacenamiento puede ser controlada en parte, pero no es lo suficientemente baja como para controlar por completo el crecimiento de los brotes, se puede utilizar con provecho

la luz artificial. La mejor forma de emplear la luz artificial es suspendiéndola verticalmente o sosteniendo tubos de luz fluorescente entre las pilas de bandejas de semilla (Figura 33). Con temperaturas más altas de almacenamiento y por períodos más largos, se necesitan más luces para obtener el mismo grado de control sobre el crecimiento de los brotes. Para una determinada condición de almacenamiento de una variedad dada, el número necesario de luces depende del costo y el tiempo disponible para su manejo. Es mejor colocar

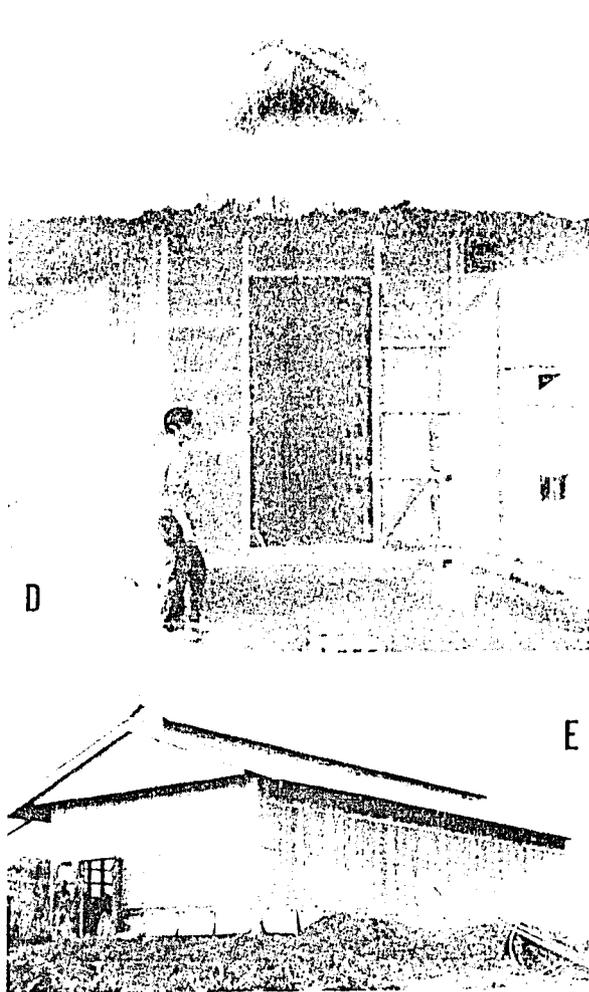
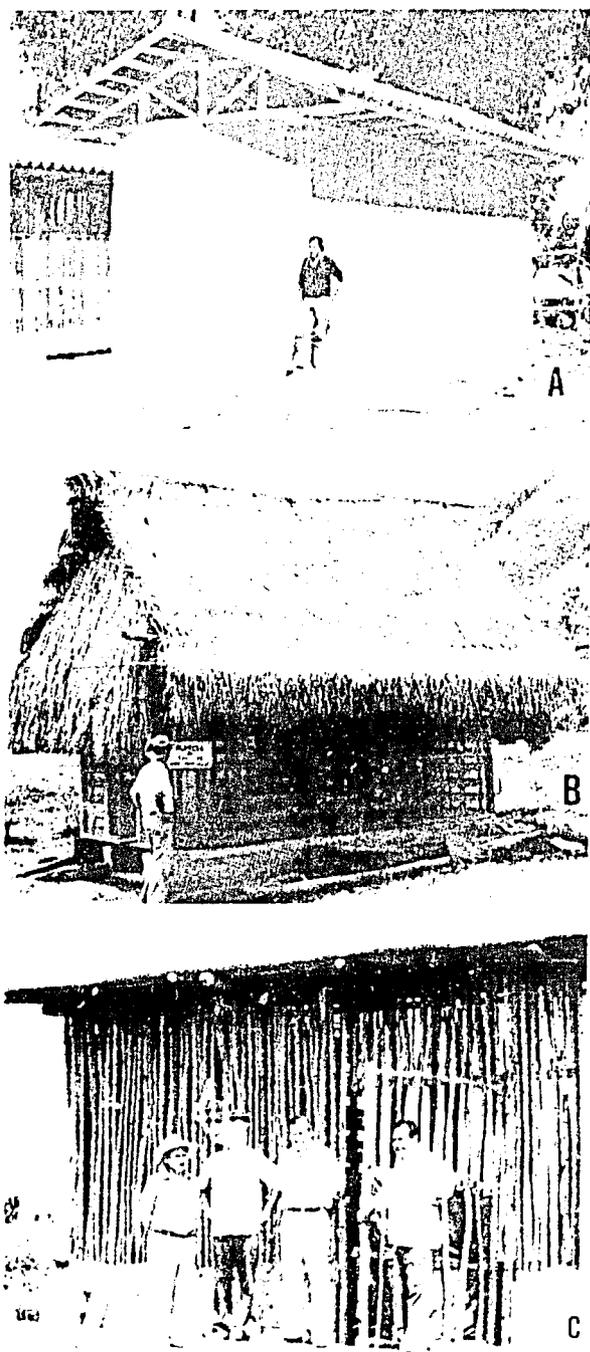


Figura 32. Almacenes de tubérculo-semilla de mayor escala, con luz natural difusa, que emplean anaqueles o bandejas en edificios de diseño local y con materiales de la localidad. A. CIP, Huancayo, Perú (capacidad de 10 a 15 t). B. CIP, San Ramón, Perú (capacidad de 8 a 10 t). C. Cooperativa de Agricultores, Barranca, Perú (capacidad de 12 a 15 t). D. "Mountain State Agricultural College", Baguio, Filipinas (capacidad de 10 a 12 t). E. Cooperativa de Agricultores, Benguet, Filipinas (capacidad de 90 a 100 t).

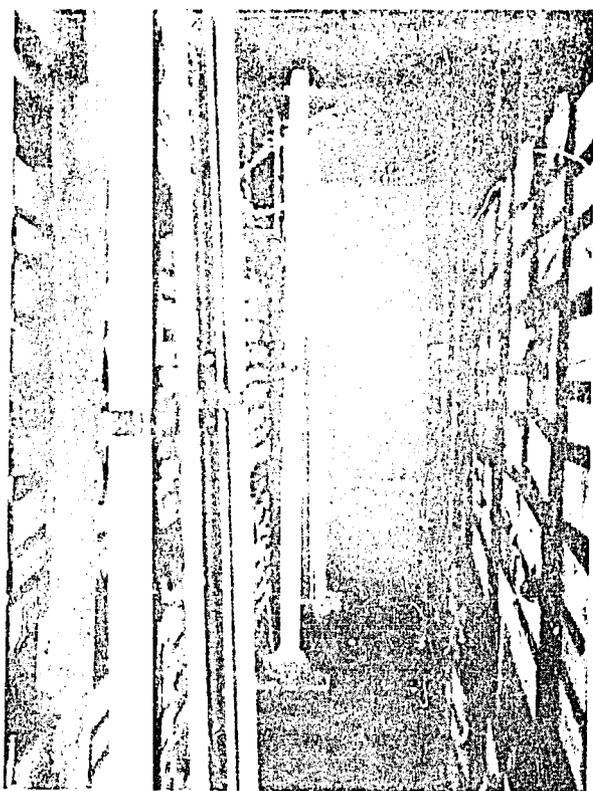


Figura 33. Utilización de luz artificial en almacenes con ventilación por extracción forzada (VEF) (CIP, Huancayo, Perú).

las luces en pasadizos angostos, ubicando una entre cada dos pilas de bandejas de tubérculo-semillas. Esto puede ser bastante caro, pero se puede ir moviendo la luz diariamente a lo largo de los pasadizos, de modo que una luz puede servir para 6 a 10 pilas. Si las luces se desplazan menos se necesitará mayor número de ellas. Cuando se usan luces artificiales, deben ser instaladas de modo que si se necesitan transformadores, éstos puedan ser ubicados fuera de la cámara de almacenamiento, para mantener al mínimo el aumento de temperatura.

Algunas variedades de papa tienden a producir excesivo número de tallos principales, que dan lugar a la formación de demasiados tubérculos en desmedro de su tamaño adecuado. En estos casos un objetivo del almacenamiento de tubérculo-semilla es reducir el número de tallos. Esto se hace estimulando la dominancia apical por almacenamiento a una temperatura de alrededor de 15 °C, hasta lograr que el número deseado de brotes apicales

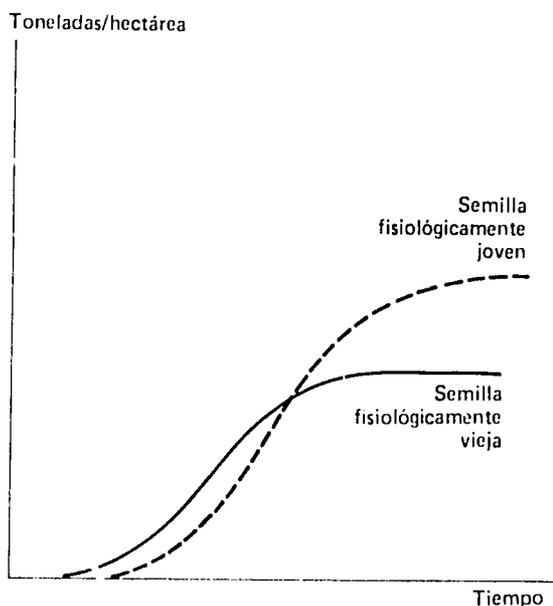


Figura 34. Efecto de la edad fisiológica del tubérculo-semilla sobre los rendimientos.

tenga de 1 a 2 cm de longitud; luego se baja la temperatura de almacenamiento de 4 °C para suspender el desarrollo de los brotes antes de la época de siembra.

Además del brotamiento, durante el almacenamiento de los tubérculos, tienen lugar otros procesos de envejecimiento fisiológico, afectados por las condiciones del almacenamiento, principalmente por la temperatura. De manera general, el tubérculo-semilla llega a ponerse fisiológicamente más viejo con el incremento de la *temperatura diaria*. La edad fisiológica del tubérculo-semilla al momento de la siembra influye en la precocidad y en el potencial de rendimiento del cultivo. Cuando se busca un cultivo temprano, se debe emplear tubérculo-semilla fisiológicamente viejo, con brotes bien desarrollados. Cuando se puede mantener un período de crecimiento más largo del cultivo y del cual se desea obtener rendimientos máximos, se debe utilizar tubérculo-semilla fisiológicamente joven (Figura 34).

### MEJORAMIENTO DE LOS METODOS DE ALMACENAMIENTO

Se deben conocer muy bien las prácticas de almacenamiento ya existentes antes de intentar sus mejoras o cambios. Los sistemas predominantes, que comúnmente se han desarrollado por la experiencia y a través del

tiempo, probablemente tienen razones válidas para ciertas exigencias. Cualesquiera mejoras o cambios que se hagan en la parte de almacenamiento integrante del sistema total de producción, deben ser evaluadas contra las prácticas existentes, no solamente a nivel científico o de estación experimental, sino también a nivel de los últimos usuarios, dentro del sistema total de producción-almacenamiento-demanda. Hay tres niveles en este proceso total de evaluación: (1) técnico, (2) económico y (3) de aceptabilidad.

La *evaluación técnica* compara el comportamiento técnico del método mejorado con el método de almacenamiento existente. En el caso de almacenes para papa de consumo, evaluación significa comparación de pérdidas de almacenamiento. En el caso de almacenes para tubérculo-semilla de papa se deben evaluar no sólo las pérdidas de almacenamiento, sino también el comportamiento posterior en el campo del tubérculo-semilla almacenado. Estas evaluaciones se inician en las estaciones experimentales pero en último término deben ser parte del sistema total en campos de agricultores.

La *evaluación económica* comprende estudios de costo y beneficio de los sistemas "mejorados" y existentes, llevados a cabo en el contexto del sistema total, producción-almacenamiento-demanda. Estos estudios deben tomar en consideración factores tales como costo y disponibilidad de las diversas necesidades de capital, costos de construcción, costos de funcionamiento y mantenimiento, costos de disponibilidad de mano de obra, y cargos por intereses. En las evaluaciones económicas los problemas de flujo y necesidad de dinero en efectivo en determinadas épocas del año, pueden ser factores económicos determinantes en numerosas situaciones. En el Apéndice A6 se da un ejemplo de la metodología para comparar técnica y económicamente sistemas de almacenamiento de tubérculo-semilla.

La *evaluación de la aceptabilidad* es muy importante, ya que si el sistema "mejorado" no es aceptado y utilizado, no se justifica pregonar sus méritos técnicos y económicos. Se exige, pues, un entendimiento de los factores socioeconómicos locales que afecten el cambio social, junto con una observación continua de la adopción del nuevo sistema. Esto se puede conseguir con la cooperación de los científicos sociales del lugar.

El conocimiento y la comprensión de estos tres niveles de evaluación de tecnología constituyen gran ayuda para el diseño de almacenes en una localidad determinada, y para resolver problemas importantes de programas de investigación. Son esenciales para la transferencia de tecnología o programas de extensión que sugieren o recomiendan cambios.

Desafortunadamente, hay muchos ejemplos de casos en que solamente el primer o segundo nivel de la evaluación fueron considerados y aplicados, dando como resultado que, a menudo, permanezcan vacías y sin uso estructuras de almacenamiento técnica y económicamente buenas. El sistema de almacenamiento debe ser aceptable tanto para las partes de producción y mercado del sistema total, como para los usuarios, de lo contrario no será empleado de manera efectiva.

Entre los factores técnicos para mejorar el almacenamiento de papa para consumo están la ventilación y el aislamiento. El aislamiento de edificios ya existentes empleados para almacenamiento de papa puede ser mejorado con materiales de bajo costo, disponibles en la localidad. La capacidad de aislamiento de la mayoría de los materiales se reduce cuando están mojados. La absorción de calor (y por consiguiente las necesidades de aislamiento), puede ser reducida considerablemente en numerosas situaciones pintando de blanco las superficies exteriores del edificio. Con frecuencia, un conocimiento amplio de cómo medir el vapor de agua en la atmósfera (psicrometría) y de las formas óptimas de remover la temperatura de la papa, mediante la distribución eficiente del aire, puede conducir a mejoras simples en los sistemas de ventilación.

En los almacenes de tubérculo-semilla de papa, las mejoras pueden hacerse en el aislamiento y en la ventilación, o pueden también efectuarse en el uso de la luz difusa, como se ha discutido en otra parte de esta publicación. Si el ambiente externo no es adecuado o no se dispone de capital, para almacenamiento refrigerado de tubérculos-semillas, el almacenamiento en luz natural difusa, en construcciones simples de bajo costo ofrece numerosas ventajas sobre el tradicional almacenamiento simple en la oscuridad. La escala a la que la luz natural difusa puede ser utilizada económicamente dependerá de los costos locales, y de los sistemas de producción, distribución y demanda.

De manera general, ésta es una tecnología especialmente adecuada para los pequeños agricultores que desean almacenar su propio tubérculo-semilla. El tamaño de las instalaciones individuales de almacenamiento de tubérculo-semilla que necesitan estos agricultores depende en gran medida de los esquemas predominantes de producción, distribución y mercadeo de ese producto. Tradicionalmente el tubérculo-semilla de categorías mejorada o certificada se almacena en forma centralizada y se vende y distribuye al momento de la siembra, para lo cual se necesitan almacenes bastante grandes. En esos almacenes, para cientos o aun miles de toneladas, el uso de

luz natural difusa no es conveniente, y se requieren complejos sistemas de control de temperatura. Pero si se supone que el sistema de precios es suficientemente flexible, el tubérculo-semilla puede ser vendido y distribuido a los usuarios al momento de la cosecha. Esto significaría que la misma cantidad total de tubérculos-semillas debería ser almacenada en gran número de almacenes más pequeños, en la chacra o finca. En tales circunstancias y también cuando el tubérculo-semilla producido en las casas particulares es almacenado en el campo, los almacenes simples con luz natural difusa son de ordinario apropiados.

# INGENIERIA DE ALMACENAMIENTO

INTRODUCCION

RETENCION DE LOS TUBERCULOS

PROTECCION CONTRA EL CLIMA

AISLAMIENTO

Términos y símbolos

Cálculos de los valores de U

Barreras de vapor

PSICROMETRIA PARA EL ALMACENAMIENTO DE PAPA

Propiedades psicrométricas

Cartas psicrométricas

Cálculo de las necesidades de enfriamiento

Cálculo de las necesidades de ventilación

SISTEMAS DE VENTILACION

Ventilación con aire ambiental

Ventilación por convección natural (VCN)

Ventilación por extracción forzada (VEF)

Ventilación con aire enfriado artificialmente

Enfriamiento por evaporización

Refrigeración

Sistemas de humidificación

DISTRIBUCION DEL AIRE

Resistencia del flujo de aire

Tamaño y distribución de los ductos

Recirculación

Aberturas de entrada y salida

Selección de ventiladores

## INTRODUCCION

Una vez que el tamaño y la forma del almacén han sido determinados, la atención se centra en los detalles de construcción. Una estructura para almacenamiento de papa tiene tres requisitos principales:

- Retención de la papa,
- Protección del clima, y
- Control de temperatura y humedad dentro del edificio.

Al almacenar papa en estructuras construidas con materiales disponibles en la localidad se deben considerar los costos y los valores de aislamiento de los materiales.

El piso, las paredes, el cielo raso y el techo deben ser considerados como parte del sistema de control de temperatura y por lo tanto los valores de los aislamientos forman parte de la evaluación de costos.

El control de la temperatura y humedad de almacenamiento se basa en el conocimiento de las propiedades termodinámicas del aire (psicrometría).

De la comprensión de la psicrometría, asociada con el conocimiento de las condiciones internas deseadas y las condiciones externas existentes (ambientales), así como las características del almacén, se podrán determinar las exigencias para obtener y mantener el medio de almacenamiento deseado. Esto implica el cálculo de las necesidades de enfriamiento. Con base en estas exigencias se elige el sistema de ventilación que se empleará. Una vez hecho esto se podrá seleccionar y diseñar el medio más apropiado para la distribución y ventilación del aire por los espacios remanentes entre los tubérculos almacenados, para obtener las condiciones del almacenamiento.

## RETENCION DE LOS TUBERCULOS

El piso debe resistir una cantidad de papa con una masa de  $641 \text{ kg/m}^2$  por metro de profundidad. Si la papa se coloca en pilas de 4 m de profundidad (como ocurre con la VEF y la refrigeración), entonces el piso deberá resistir  $4 \times 641$  ó  $2564 \text{ kg/m}^2$ . Adicionalmente, el piso deberá tener aberturas o ductos que permitan el paso del aire de ventilación.

Con la papa almacenada en sacos o bolsas o en cajas, la presión total recae sobre el piso. Cuando la papa es almacenada a granel una

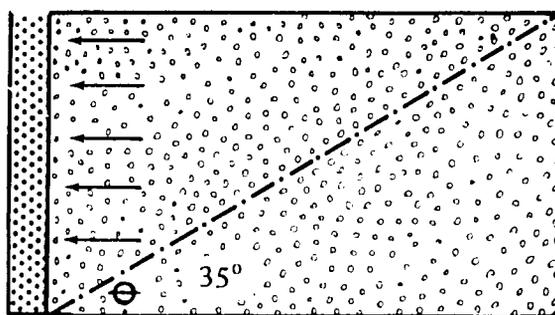


Figura 35. Angulo de reposo del montón de papa (de: Edificios de Almacenamiento, "Storage Buildings", Primera parte, Consejo de Comercialización de Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge, Informe N° 6, Londres).

parte considerable del peso recae en las paredes. Las paredes deben ser suficientemente fuertes para resistir el empuje de la presión.

Para el cálculo de la presión sobre las paredes, la masa de papa puede ser considerada como un fluido. La "densidad" de este "fluido" puede calcularse usando la fórmula de Rankine.

El ángulo de reposo de la papa varía entre  $30$  y  $40^\circ$ , con  $35^\circ$  como promedio para tubérculos sin brotes. Cuando los tubérculos están apilados contra una pared vertical, ejercen una presión sobre la pared tal como se ilustra en la Figura 35.

La magnitud de la presión horizontal puede ser calculada por la fórmula de Rankine:

$$p = \frac{wh(1 - \sin \theta)}{1 + \sin \theta}$$

Donde:  $p$  = presión horizontal ejercida por el apilamiento en  $\text{kg/m}^3$  a  $h$  metros debajo de la superficie libre de los tubérculos

$w$  = peso de la papa en  $\text{kg/m}^3$  ( $641 \text{ kg/m}^3$ )

$h$  = profundidad, en metros desde la parte más alta del montón de papa

$\theta$  = ángulo natural de reposo.

Ejemplo: Cuando el ángulo de reposo es  $35^\circ$

$$\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \frac{1 - 0,57}{1 + 0,57} = \frac{0,43}{1,57} = 0,27$$

Por lo tanto,  $p$  a un metro de profundidad bajo la superficie del apilamiento equivale a:

$$= \frac{641 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 1 \text{ m} \times 0,27$$

$$= 173 \text{ kg/m}^2$$

y p a 2 m de profundidad debajo de la superficie de apilamiento

$$= \frac{641 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 2 \text{ m} \times 0,27$$

$$= 346 \text{ kg/m}^2$$

El diagrama de presión sobre la superficie vertical (Figura 36) es de forma triangular con su centro de empuje en el centro de gravedad, a un tercio de la altura, medido a partir de la base. Si la pared tiene 3 m de altura, la presión máxima en la base alcanzaría una cifra de  $641 \times 0,27 \times 3 = 519 \text{ kg/m}^2$ . La presión total ejercida sobre la pared actúa en un punto ubicado a un tercio hacia arriba de la pared, en su centro de presión. Su valor se representa por el área de un triángulo, cuya base equivale a la presión máxima y su altura a la profundidad total.

Ejemplo:

$$p = 1/2 (\text{base} \times \text{altura})$$

$$p = 1/2 (519 \times 3) = 774 \text{ kg por metro de longitud de pared con la fuerza actuando a } 1/3 \text{ de la altura (1 m de la base)}$$

Los postes de la estructura deben ser diseñados para resistir el empuje trasladado a ellos por las paredes de contención. Esto normalmente se logra aumentando las dimensiones de la estructura.

El cálculo anterior se ha basado en un ángulo de reposo promedio y no permite el fenómeno de "asentamiento". El "asentamiento" ocurre cuando la papa "se acomoda mejor" durante su almacenamiento. Una parte del peso vertical se transforma en presión ho-

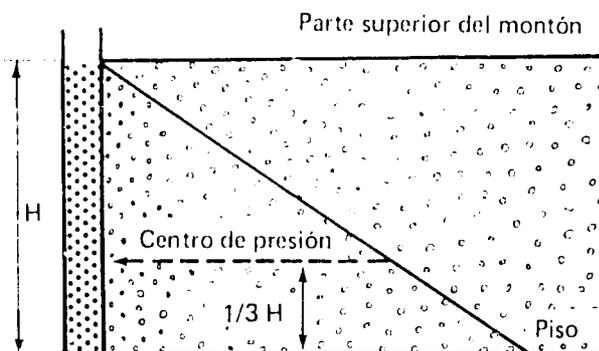


Figura 36. Presión contra la pared (de: Edificios de Almacenamiento, "Storage Buildings", Primera parte, Consejo de Comercialización de Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge, Informe N° 6, Londres).

rizontal. En efecto, el ángulo de reposo se hace menor, pudiendo reducirse a sólo 30°. El cálculo entonces es como sigue:

$$\frac{1 - \text{sen } 30^\circ}{1 + \text{sen } 30^\circ} = \frac{1 - 0,50}{1 + 0,50} = 0,33$$

$$\Lambda = 1 \text{ m de profundidad, } 641 \times 1 \times 0,33 = 212 \text{ kg/m}^2$$

$$2 \text{ m de profundidad, } 641 \times 2 \times 0,33 = 424 \text{ kg/m}^2$$

$$3 \text{ m de profundidad, } 641 \times 3 \times 0,33 = 636 \text{ kg/m}^2$$

Por tanto:  $p = 1/2 (636 \times 3) = 954 \text{ kg por metro de longitud de pared, actuando en un punto a } 1/3 \text{ de la altura de la pared.}$

Con la experiencia local se llega a determinar el ángulo exacto de reposo para efectuar el cálculo de la presión. Para el diseño apropiado y seguro de las paredes para almacenes de papa (a granel) se debe considerar a un ingeniero.

Un almacenamiento bien diseñado tendrá un cielo raso encima de la papa almacenada, el cual, tanto en ventilación natural por convección como en ventilación por extracción forzada puede ser de paja de 15 a 30 cm de espesor, sostenido por una malla de alambre. Esto no estorbará la salida libre de aire caliente de la papa almacenada o la entrada de aire enfriado debajo y a través del piso provisto de tablas separadas, y permite mantener el aislamiento adecuado. Otra función de la paja es evitar que la luz caiga sobre la papa.

En un almacenamiento refrigerado el cielo raso debe ser sólido y construido de manera que permite la recirculación. Debe tener suficiente aislamiento para proteger el producto de cualquier ganancia o pérdida de calor. En todos los casos debe estar por lo menos un metro por encima de la altura de la papa.

El techo sirve solamente para proteger el almacén contra el sol y otros elementos (viento, nieve y lluvia). Debe sobresalir lo suficiente para proteger las paredes contra el exceso de sol. La ganancia de calor por unidad de área de techo puede ser el doble de la alcanzada por unidad de área de pared. Aún cuando la papa esté bien protegida de la ganancia de calor por el cielo raso, se recomienda dar al techo algún aislamiento.

## PROTECCION CONTRA EL CLIMA

La protección contra el clima exige que las superficies exteriores del techo y las pare-

des sean a prueba de lluvia y viento y, en el caso de papa para consumo, que tengan además protección contra la luz. En áreas de alta radiación solar, el edificio pintado con un color claro ayudará a reflejar la energía solar. Como se muestra a continuación, un edificio pintado de blanco puede tener una temperatura de la superficie externa de la pared 10 a 20 °C menor que un edificio de paredes oscuras.

Efecto de la pintura blanca en la temperatura de almacenes simples de madera, Huancayo, Perú  
Temperatura (°C) (promedio de 5 días)

Tiempo (horas)	Superficie			
	exterior		interior	
	Natural	Blanca	Natural	Blanca
0800	2	2	2	2
0900	23	15	8	4
1000	32	22	15	8
1100	37	24	17	10
1200	42	25	22	14
1300	44	28	24	15
1400	46	32	25	15
1500	20	17	19	15
1600	20	17	19	14
Promedio	29,6	20,2	16,8	10,8

En este caso, las paredes de madera de color natural necesitarían 5 cm de espesor para tener el mismo valor aislante que una pared de madera de 2,5 cm de espesor, pintada de blanco, en las condiciones de este experimento en Huancayo, Perú. Bajo estas circunstancias la pintura blanca fue equivalente a 2,5 cm adicionales de espesor de la pared de madera. Los materiales comúnmente usados para protección contra el clima (planchas de metal, plástico corrugado o asbesto-cemento) tienen valores bajos de aislamiento, y es necesario proveer aislamiento adicional.

### AISLAMIENTO

Todos los almacenes de papa necesitan buen aislamiento. Esto es importante en los almacenes de tipo refrigerado, como en los casos en que la ventilación natural con aire exterior es el único medio de controlar la temperatura. Con base en una temperatura exte-

rior ideal de 5 °C, los almacenes de papa deben estar a un valor ( $\mu$ ) de

$$\mu = \frac{2,34 \text{ kg}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}} \left( \frac{0,6 \text{ vatios}}{\text{m}^2 \times \text{°C}} \right)$$

El aislamiento de las paredes laterales y del techo en almacenes de papa sirve para hacer posible el control del medio ambiente. El aislamiento debe emplearse (1) para reducir la transferencia de calor entre el interior y el exterior del almacén (esto rebaja las fluctuaciones de temperatura), y, (2) en algunos casos para eliminar condensación dentro del almacén.

Durante períodos de temperaturas inferiores a -5 °C el calor fluye hacia el exterior a través de las paredes laterales y del cielo raso. Esta pérdida de calor superior al límite de calor de respiración producido por la papa debe ser compensada con calefacción. Esto significa mayores costos de combustible.

Durante períodos de alta temperatura exterior, el calor fluye hacia el interior de la estructura dando como resultado mayor temperatura de almacenamiento. Para compensar el aumento de temperatura debe emplearse el aire frío natural o el aire refrigerado. Esto aumentará los costos de almacenamiento. La condensación ocurre cuando la pérdida de calor hace que el aire interior se enfríe por debajo del punto de rocío. Si esta condensación tiene lugar en el cielo raso y las paredes, y gotea sobre la papa almacenada, la descomposición resultante puede causar serias pérdidas.

### Términos y símbolos

Algunos términos y símbolos se emplean para definir las propiedades térmicas de los materiales de construcción y de las estructuras. Es necesario entender esto antes de intentar calcular los valores del aislamiento térmico para materiales individuales o estructuras compuestas.

**Conductividad térmica (k).** La conductividad térmica de un material es una propiedad específica de dicho material y se define como la cantidad de calor (flujo de calor) en julios (J) que fluye a través de 1 m<sup>2</sup> de material, de 1 m de espesor, en un segundo, cuando hay una diferencia de temperatura de 1 °C entre las caras. Las unidades de (k) se expresan en

$$\frac{\text{vatios}}{\text{m}^2 \times \text{°C}} \text{ o, } \frac{\text{julios}}{\text{seg} \times \text{m}^2 \times \text{°C}} = \frac{3,6 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}}$$

Cuando menor es el valor de (k) del material, mayor es la eficiencia del aislamiento. El valor (k) aumenta si el material se humedece, porque el agua es un buen conductor del calor. Por eso, para obtener máxima eficiencia de aislamiento de un material, debe mantenerse tan seco como sea posible. En el Apéndice A2 se encuentran algunos valores de (k) para materiales comunes.

**Resistencia térmica (R).** La resistencia térmica es una medida de la resistencia al flujo de calor de un material de cualquier espesor dado, o de una combinación de materiales. Puede ser definida como el número de segundos requeridos para transmitir 1 julio a través de 1 m<sup>2</sup> cuando la diferencia de temperatura entre las superficies exterior e interior es 1 °C. La resistencia térmica (R) se expresa en:

$$\frac{\text{m}^2 \times \text{°C} \times \text{seg}}{\text{Julio}} \text{ o, } \frac{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}}{\text{kJ}} \text{ o, } \frac{\text{m}^2 \times \text{°C}}{\text{vatios}}$$

Si el espesor del material aumenta, habrá un aumento correspondiente en la resistencia térmica, y si varios materiales son agrupados en capas paralelas la resistencia térmica combinada puede ser obtenida sumando la resistencia del espesor de cada componente.

**Transmitancia térmica (U).** El valor de (U) se define como la cantidad de calor en julios que atravesaría 1 m<sup>2</sup> de la estructura en un segundo cuando existe una diferencia de temperatura del aire de 1 °C entre cada cara. Las unidades de (U) son:

$$\frac{\text{vatios}}{\text{m}^2 \times \text{°C}} \text{ o, } \frac{\text{J}}{\text{seg} \times \text{m}^2 \times \text{°C}} \text{ o, } \frac{\text{kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}}$$

El valor de (U) determina la cantidad de calentamiento o enfriamiento necesarios para mantener las temperaturas del almacenamiento deseadas.

Los valores de (k) y (R) definidos anteriormente están relacionados con las temperaturas en las superficies de los materiales. Las temperaturas de la superficie de un edificio no siempre se conocen, sin embargo, y para los propósitos del cálculo de pérdida de

calor, se usan temperaturas del aire dentro y fuera del almacén. El calor es transferido primero del aire interior a la estructura, luego a través de la misma y, finalmente, de la estructura hacia el aire exterior. Tanto la superficie interior como la exterior ofrecen alguna resistencia al flujo de calor y la transmitancia térmica, o el valor de (U), debe tomar en cuenta esas resistencias de las superficies (ver el Apéndice A2).

El valor de (U) puede ser tomado como la conductancia global del aire al aire, el cual es el recíproco de la resistencia global, del aire al aire. Esto es: (U) = 1/(R).

### Cálculo de los valores de (U)

Para calcular los valores de (U) de una estructura es necesario determinar la resistencia global del aire al aire de la estructura, que es igual a la suma de la resistencia de las superficies interna y externa, más la resistencia de todos los componentes de la estructura y la resistencia de cualquier espacio de aire.

En otras palabras, el valor (U) depende de tres factores principales:

- una capa límite de aire que rodea la cara interior del muro,
- la naturaleza del muro, y
- una capa límite de aire que rodea la cara exterior del muro.

Mientras el espesor de la capa límite de aire en contacto con la superficie interior del muro es prácticamente constante, el de la exterior varía enormemente con el viento que pasa a lo largo del muro. Con frecuencia esto no se toma en cuenta cuando se calculan los valores de (U). En los casos en que el muro es sólo una lámina de material delgado, como en los de asbesto-cemento, la única resistencia a la transferencia de calor está en las capas interior y exterior de la estructura.

Para diseñar un nuevo almacenamiento es necesario construir los muros para un valor específico de (U). Si se va a emplear un edificio ya existente, debe conocerse también el valor de (U) de los muros. En estos cálculos se usan las fórmulas siguientes:

(k) para materiales en evaluación

$$(R) = \frac{\text{espesor}}{(k)}$$

$$(U) = \frac{(k)}{\text{espesor}} = \frac{1}{(R)} = \frac{1}{(R_1) + (R_2) + (R_3)}$$

### EJEMPLO 1.

Diseñar un muro para almacén. Este muro estará compuesto por una pared exterior de madera de 0,025 m, un espacio de aire y una pared interior de madera de 0,050 m, calcular el espacio de aire necesario para obtener

$$(U) = \frac{4,0 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}}$$

Hay un viento de 5 m/s

$$(k) \text{ espacio con aire} = \frac{0,43 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}} \text{ (del Apéndice A2)}$$

$$(k) \text{ madera} = \frac{0,54 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}} \text{ (del Apéndice A2)}$$

$$(R_1) \text{ madera exterior} = \frac{0,025 \text{ m} \times \text{hr} \times \text{m} \times \text{°C}}{0,54 \text{ kJ}} \\ = \frac{0,046 \text{ m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}{\text{kJ}}$$

$$(R_2) \text{ madera interior} = \frac{0,050}{0,54} = \frac{0,093 \text{ m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}{\text{kJ}}$$

$$(R_3) \text{ superficie interior} = \frac{0,061 \text{ m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}{\text{kJ}} \\ \text{(del Apéndice A2)}$$

$$(R_4) \text{ superficie exterior} = \frac{0,009 \text{ m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}{5 \text{ m/s} \times \text{kJ}} \\ \text{(del Apéndice A2)}$$

(R<sub>5</sub>) espacio de aire = ?

$$(U) = \frac{4,0 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}} = \frac{1}{0,046 + 0,93 + 0,061 + 0,009 + (R_5)} \\ = \frac{1}{0,209 + (R_5)}$$

$$0,209 + (R_5) = \frac{1 \text{ hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}}{4,04 \text{ kJ}}$$

$$(R_5) = \frac{0,041 \text{ m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}{\text{kJ}}$$

$$(R_5) = \frac{\text{Espesor}}{(k) \text{ espacio con aire}}$$

$$\text{Espesor} = \frac{0,041 \text{ m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}{\text{kJ}} \times \frac{0,43 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m} \times \text{°C}} =$$

$$= 0,018 \text{ m} \quad (0,7 \text{ pulgada},$$

### EJEMPLO 2.

¿Qué cantidad de calor atravesará cada metro cuadrado del muro calculado en el Ejemplo 1, en una hora, cuando la temperatura exterior es 25 °C y la temperatura interior es de 8 °C?

$$(U) = \frac{4,0 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}} \times \frac{1 \text{ hr} \times 1 \text{ m}^2 \times 17 \text{ °C}}{1,0} = 68 \text{ kJ}$$

### EJEMPLO 3.

Calcular (U) para un muro de ladrillos de 0,33 m de espesor con viento de 10 m/s.

$$(k) \text{ ladrillo} = \frac{2,6 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m} \times \text{°C}} \text{ (del Apéndice A2)}$$

$$(R) \text{ ladrillo} = \frac{0,33 \text{ m} \times \text{hr} \times \text{m} \times \text{°C}}{2,6 \text{ kJ}} \\ = \frac{0,127 \text{ m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}{\text{kJ}}$$

$$(R) \text{ superficie interior} = \frac{0,061 \text{ m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}{\text{kJ}} \\ \text{(del Apéndice A2)}$$

$$(R) \text{ superficie exterior} = \frac{0,005 \text{ m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}{10 \text{ m/s} \times \text{kJ}} \\ \text{(del Apéndice A2)}$$

$$(U) = \frac{1}{(0,127 + 0,061 + 0,005)} \\ = \frac{\text{kJ}}{0,193 \text{ m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}} \\ = \frac{5,18 \text{ kJ}}{\text{m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}$$

Esto significa que 88,1 kJ atravesarán por hora por metro cuadrado la pared cuando la diferencia de temperaturas es 17 °C.

### Barreras de vapor

La necesidad de mantener la mayoría de los materiales aislantes tan secos como sea posible y evitar la condensación dentro de la estructura de almacenamiento se destaca nuevamente.

La humedad del vapor atravesará la estructura de un área de alta presión de vapor a una de baja presión de vapor. Debido a que dentro del almacén debe mantenerse una alta humedad relativa, habrá un gradiente de

presión de vapor a través del muro interior al exterior del almacén. Si los materiales de la cara externa del muro tienen alta resistencia a la permeabilidad de agua, existe el peligro de que el vapor húmedo que ha atravesado la superficie interior quede atrapado en el aislante, donde puede ser absorbido por el material del mismo. Por esa razón la permeabilidad al agua de los materiales usados en la construcción de las paredes debe disminuir de afuera hacia adentro. En muchas regiones de almacenamiento de papa, la temperatura del día es mayor que la del interior del almacén y la temperatura de la noche es menor que la de éste, lo que puede dar como resultado un gradiente de vapor que fluctúa. Por esta razón es ideal instalar una barrera de presión de vapor (hojas de plástico) en ambos lados (interior y exterior) del muro, para proteger el aislamiento.

#### PSICROMETRIA PARA EL ALMACENAMIENTO DE PAPA

El aire es una mezcla de aire seco y vapor de agua. La psicrometría se refiere a la relación termodinámica entre el aire seco y el vapor de agua. El conocimiento de la psicrometría es fundamental para el diseño apropiado y la administración de los almacenes de papa.

##### Propiedades psicrométricas

**Bulbo seco (BS)** es la temperatura del aire ambiental (aire seco más vapor de agua) medida con un termómetro común. Con ayuda del diagrama psicrométrico (Apéndice A3) se puede determinar la presión de vapor en el punto de saturación a esta temperatura. El intervalo de temperaturas de bulbo seco para el almacenamiento de papa es de 2 a 25 °C.

**Bulbo húmedo (BH)** es la temperatura que se mide en un termómetro común cuando su bulbo está cubierto con algodón o tela húmeda. El aire debe soplar el bulbo cubierto a una velocidad de por lo menos 4 m/s. Las temperaturas de bulbo húmedo para almacenamiento de papa son 1 a 6 °C menores que las temperaturas de bulbo seco. La temperatura de bulbo seco del aire ambiental puede ser disminuida a temperatura de bulbo húmedo mediante el uso apropiado de enfriamiento evaporativo.

**Punto de rocío (PR)** es una relación termodinámica entre BS y BH, determinada por el uso de la carta psicrométrica. Es la temperatura a la que ocurre la condensación del agua (rocío) cuando enfría el aire ambiental. Es la temperatura de saturación para el aire ambiental que está siendo evaluado. La temperatura del punto de rocío es necesaria para determinar la presión de vapor de agua en el aire ambiental. El PR es por lo general 0,5 a 5 °C menor que el BH y puede leerse en la carta psicrométrica. La diferencia de presión de vapor de este aire y el aire saturado a la temperatura de BS se denomina déficit de presión de vapor o (DVP).

**Volumen específico (Vol. Esp.)** es el volumen del aire ambiental por unidad de peso de aire seco. Las unidades son metros cúbicos por kilogramo de aire seco ( $m^3/kg$  de aire seco). Se determina con el (BS) y (BH) con ayuda de la carta psicrométrica. En el almacenamiento de papa la variación de Vol. Esp. está entre 0,80 y 0,85  $m^3$  por kg de aire seco.

**Humedad** es el peso de agua en el aire ambiental. La humedad específica es el peso de agua expresado en kilogramos de agua por kilogramo de aire seco ( $kg/kg$  de aire seco). En el almacenamiento de papa el intervalo rara vez excede 0,005 kg agua por kg de aire seco.

**Humedad relativa (HR)** es la relación entre la presión de vapor de agua del aire y la presión de vapor de agua del aire saturado a la temperatura de BS. Las unidades son decimales, pero comúnmente se multiplican por 100 y se expresan como porcentaje de humedad relativa (% HR).

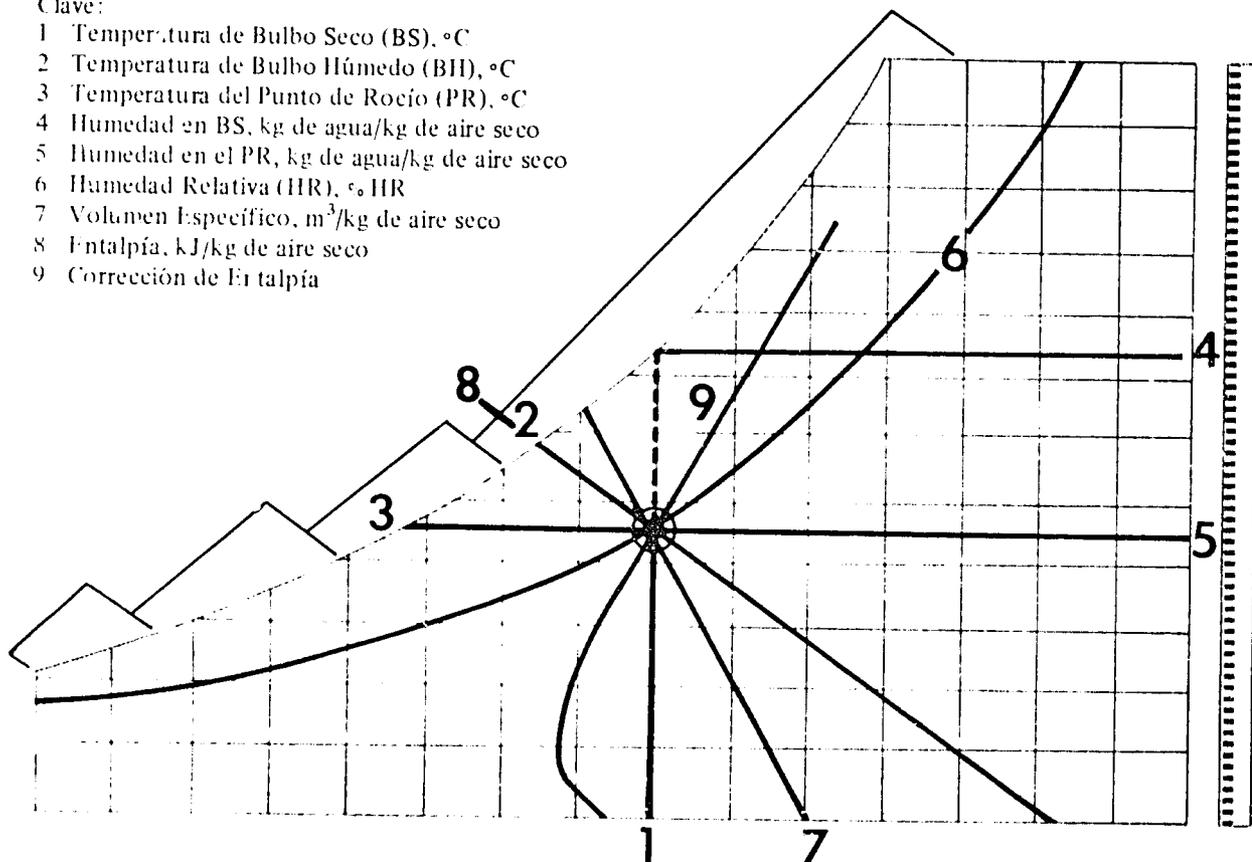
**Presión de vapor (PV)** es la presión parcial ejercida por el vapor de agua contenido en el aire ambiental. Se expresa en bares, o, más comúnmente, en milibares. Cuando el aire está completamente saturado de agua, la PV también se llama presión de saturación a la temperatura medida. La presión de vapor depende solamente de la temperatura y la humedad específica. La PV (saturada) a la temperatura de BS menos la PV (saturada) a la temperatura de punto de rocío (PR) es el déficit de presión de vapor (DPV). Se determina con el BS y el PR con la ayuda de Tablas psicrométricas (Figura 37).

**Entalpía** es el contenido de calor del aire ambiental por unidad de peso de aire seco. Se expresa en kilojulios por kilogramo de aire seco ( $kJ/kg$  de aire seco) y se lee en la carta psicrométrica. Los cambios de entalpía de-

Figura 37. Carta psicrométrica esquematizada.

Clave:

- 1 Temperatura de Bulbo Seco (BS), °C
- 2 Temperatura de Bulbo Húmedo (BH), °C
- 3 Temperatura del Punto de Rocío (PR), °C
- 4 Humedad en BS, kg de agua/kg de aire seco
- 5 Humedad en el PR, kg de agua/kg de aire seco
- 6 Humedad Relativa (HR), % HR
- 7 Volumen Específico, m<sup>3</sup>/kg de aire seco
- 8 Entalpía, kJ/kg de aire seco
- 9 Corrección de Entalpía



ben ser considerados en la determinación de las temperaturas de almacenamiento. A medida que el aire pasa a través de la papa almacenada, la entalpía aumenta en el número de julios recogidos de la papa. La cantidad de aire más el aumento en su entalpía debe igualar o superar la cantidad de calor determinada por las necesidades totales de enfriamiento.

### Cartas psicrométricas

Las propiedades termodinámicas están tan relacionadas que si se conocen sólo dos de ellas, se pueden calcular las otras propiedades. La mejor forma de presentar estos cálculos interrelacionados es mediante las cartas psicrométricas. Con la ayuda de estas cartas, cuando dos propiedades cualesquiera son conocidas, las otras pueden ser rápidamente determinadas. (La Figura 37 y el Apéndice A3 de esta publicación han sido reproducidas con permiso especial de Carrier Corporation, Syracuse, New York, U.S.A.)

En la Figura 37 están ilustradas importantes propiedades psicrométricas para almacenamiento de papa.

**Bulbo seco (BS).** Es la temperatura ambiental.

Si la papa está a la misma temperatura que el aire, su comportamiento fisiológico puede ser predicho. El BS es la escala de la base de la carta y las líneas corren verticalmente.

**Bulbo húmedo (BH).** Es el límite de enfriamiento por evaporación. La escala de BH se encuentra normalmente a lo largo de la parte superior izquierda de la carta y las líneas corren hacia la parte inferior derecha.

**Punto de rocío (PR).** Si el aire es enfriado, el vapor de agua se condensa en rocío a esta temperatura. Si el agua condensada ocasiona el humedecimiento de la papa, es probable que ocurran problemas de enfermedades en el almacenamiento. La temperatura del punto de rocío permite determinar la presión de vapor de agua en el aire ambiente. El PR se lee a la izquierda, a lo largo de una línea horizontal a partir de la intersección de las temperaturas de BS y BH.

**Déficit de presión de vapor (DPV).** Es la presión de vapor en BS menos la presión de

vapor en BH. El DPV causa deshidratación en la papa removiendo el agua del interior de los tubérculos hacia el aire que los circunda. Esta propiedad y la temperatura del bulbo seco son los factores más importantes para el almacenamiento de la papa. El DPV se determina en las tablas de cartas psicrométricas de Apéndice A3.

**Entalpía.** Los cambios de entalpía indican la ganancia (o pérdida) de unidades de calor a medida que el aire pasa alrededor de la papa almacenada. Las líneas de entalpía son paralelas a las del bulbo húmedo y se leen sobre una escala en la parte superior izquierda de las cartas.

**Volumen específico.** Es necesario para determinar el tamaño apropiado de los ventiladores y ductos de los almacenamientos tanto con ventilación por extracción forzada como con refrigeración. Estas líneas se inclinan bruscamente de la parte inferior derecha hacia la parte superior izquierda de las cartas.

Las dos propiedades más fáciles de medir son el bulbo seco y el bulbo húmedo. Se usa un psicrómetro en el que una corriente de aire es esparcida uniformemente a través del bulbo seco y del bulbo húmedo a una velocidad de 4 a 5 m/s. Especialmente en condiciones de campo se usa comúnmente un psicrómetro de aspiración, accionado por batería.

#### EJEMPLO:

Ver la Figura 37 y el Apéndice A3 (carta al nivel del mar). (Los números entre paréntesis corresponden a los números de la Figura 37.)

- (1) BS . . . . . 20 °C  
 (2) BH . . . . . 15 °C  
 (3) PR . . . . . 11,6 °C  
 (4) H en el BS . . . . . 0,0146 kg/kg de aire seco  
 (5) H en el PR . . . . . 0,0084 kg/kg de aire seco
- Relación de H. . . . .  $0,0084 \div 0,0146 = 0,575$   
 (x 100 = 57,5% H)
- PV sat. en BS (20 °C) . . . 23,09 mbares (de las tablas del Apéndice A3)  
 PV sat. en PR (11,6 °C) . . 13,51 mbares (de las tablas del Apéndice A3)  
 DPV . . . . .  $23,09 - 13,51 = 9,58$  mbares

- (6) HR . . . . .  $13,51 \div 23,09 = 0,585$   
 (x 100 = HR de 58,5%)  
 (7) Vol. Específico . . . . . 0,84 m<sup>3</sup>/kg de aire seco  
 (8) Entalpía . . . . . 42,10 kJ/kg de aire seco  
 (9) Corrección de entalpía . . -0,12  
 Entalpía real. . . . . 41,98 kJ/kg de aire seco

Las propiedades varían con la altitud porque la presión parcial de aire disminuye a medida que la altitud aumenta, mientras que la del vapor de agua permanece constante. Como resultado, un kilogramo de aire seco en altitudes elevadas tiene mayor contenido de agua que un kilogramo de aire seco en altitudes menores. Esto da como resultado mayor humedad, mayor contenido de calor y mayor volumen de aire seco.

Como Apéndice A3 se presentan unas cartas psicrométricas para el nivel del mar y para altitudes de 750, 1 500, 2 250 y 3 000 metros. El uso de éstas a alturas intermedias dan errores de más o menos 5%.

Muchas cartas no están en el sistema internacional (SI), pero en el Apéndice A1 se presenta una tabla para conversión a SI.

#### Cálculo de las necesidades de enfriamiento

La falta de enfriamiento suficiente acarrea serias dificultades. Usualmente, como resultado de la ganancia de calor a través de la estructura de almacenamiento, pueden desarrollarse condiciones de fuga térmica, que pueden producir deterioros sustanciales en los meses finales del almacenamiento. Esto es particularmente serio cuando el capital y los costos de operación del equipo fueron calculados en esa fecha. De otro lado, una planta que genere enfriamiento excesivo es antieconómica debido al alto costo de capital de los equipos de refrigeración en relación con el valor de la cosecha.

La carga máxima de enfriamiento se compone de los siguientes factores:

- (1) Carga de enfriamiento del calor del campo a la temperatura de almacenamiento, incluyendo respiración inicial alta.
- (2) Calor producido por la respiración durante el almacenamiento.
- (3) Calor ganado a través de la estructura.

- (4) Calor ganado por infiltraciones de aire, y,  
 (5) Calor de ventiladores y otros equipos.

	°C	(kJ/t/hr)
Tubérculos maduros a	0	85-100
	5	40
	10	65
	15	85
	20	110
	25	180

**(1) Carga de enfriamiento**

El calor del campo de la papa, más la alta velocidad de respiración en el tiempo de la cosecha, comúnmente alcanzan del 50 al 70% del total de exigencias de enfriamiento.

Las condiciones climáticas en algunos países pueden permitir el uso de ventilación por extracción forzada (VEF) del aire ambiental en las noches para esta parte inicial de la demanda de enfriamiento, mientras que en otros países, donde la papa es cultivada en la estación fría y almacenada durante la estación caliente, se necesitará refrigeración. Se recomienda que la papa sea enfriada 1 a 2 °C por día hasta que alcance la temperatura de curado de 15 a 17 °C. Después de un período de curado de 1 a 2 semanas, se recomienda enfriamiento adicional gradual de 0,5 a 1 °C por día. Cuando la reducción de temperatura en la VEF del aire ambiental es imposible, se pueden emplear equipos de refrigeración, cuyo tamaño puede ser calculado según las necesidades.

La temperatura de campo de la papa es casi igual a la temperatura del aire. En condiciones severas de alta temperatura se puede hacer la cosecha durante la parte fría de la noche. Los tubérculos cosechados no deben dejarse expuestos al sol.

La cantidad de enfriamiento requerido para extraer el calor de campo es la suma de dos fuentes de calor: el calor específico de la reducción de temperatura más el calor de respiración de los tubérculos.

El **calor específico** para la papa es de 3 430 kJ/t por grado centígrado.

El **calor de respiración** tiene los valores más altos a mayores temperaturas en la cosecha y durante el curado. Aún cuando el calor de respiración disminuye a temperaturas menores, el diseño del sistema debe ser adecuado para las máximas necesidades de enfriamiento.

**(2) Calor producido por respiración durante el almacenamiento**

	(kJ/t/hr)
Tubérculos en curado	200
Tubérculos en brotamiento	104

Los tubérculos no maduros tienen valores 2 ó 3 veces superiores a los maduros.

Se debe advertir que el calor de respiración disminuye con temperaturas decrecientes. Consecuentemente, la necesidad máxima de enfriamiento dura sólo unos pocos días. Es menos costoso usar VEF con aire ambiental en la noche para estas necesidades iniciales si la temperatura exterior lo permite, en vez de instalar capacidad adicional de refrigeración por esos pocos días.

**(3) Ganancia de calor a través de la estructura**

La ganancia de calor es el mayor componente de la carga de enfriamiento después de dar cabida al calor que traen los tubérculos del campo y al calor de respiración. El efecto de la radiación solar directa puede ser muy grande pues en el techo se dan temperaturas de 90 °C y en las paredes pueden llegar a ser 15 °C más que la temperatura ambiental. El diseño de un almacén debe considerar al techo como una sombrilla, colocándolo independientemente del cuarto del almacenamiento, con un espacio abierto para el movimiento libre del aire ambiental entre el techo y el cuarto de almacenamiento. El techo debe sobresalir para dar sombra a las paredes. Donde esto sea imposible las paredes externas se deben pintar de color blanco, el cual refleja la radiación.

Con tal diseño, el almacén es un cuarto separado en la sombra. No hay efecto de radiación solar directa y los cálculos del diseño para aislamiento pueden basarse en las temperaturas del aire ambiental.

En la mayoría de los lugares tropicales el aislamiento del edificio debe tener un valor máximo de

$$U = \frac{5,8 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}}$$

y mínimo de

$$U = \frac{2,0 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}}$$

#### (4) Calor ganado por infiltraciones de aire

Un edificio bien construido tiene muy pocas infiltraciones de aire frío, el cual es reemplazado por aire caliente ambiental. La siguiente lista puede ser empleada como guía. Esta es importante solo en almacenes de refrigeración mecánica. En almacenes con convección natural o con ventilación forzada (VEF) estos cambios de aire son parte del aire de ventilación.

Volumen del edificio (m <sup>3</sup> )	Cambio de aire/hora (infiltraciones)
28	0,43
142	0,18
283	0,12
566	0,09
1 133	0,06
2 832	0,03

#### (5) Ganancia de calor por ventiladores y otros equipos

La tabla siguiente muestra valores típicos para motores eléctricos. Nótese que la ganancia es reducida en 40% cuando los motores eléctricos están fuera del espacio refrigerado.

Calor equivalente de motores eléctricos.

Motor Caballos de fuerza (HP)	Megajulios/HP/hr	
	Carga conectada en el espacio refrigerado*	Pérdidas del motor del espacio refrigerado**
1/8 a 1/2	4,48	2,68
1/2 a 3	3,90	2,68
3 a 20	3,11	2,68

\* Usar cuando tanto la potencia útil como las pérdidas del motor, se disipan dentro del espacio refrigerado, por ejemplo, motores que accionan ventiladores o equipos similares.

\*\* Usar cuando las pérdidas del motor son disipadas fuera del espacio refrigerado y el trabajo útil del motor se realiza dentro del espacio refrigerado, por ejemplo, una bomba en un sistema de agua fría circulante, un motor de ventilador fuera del espacio refrigerado y el ventilador funcionando dentro del espacio refrigerado.

Con base en esta información, se pueden calcular las necesidades de enfriamiento total.

#### EJEMPLO 1.

Cosechar 100 t de papa a 25 °C.

Colocarlas en un almacén (10 m x 10 m x 3 m) aisladas a un valor (U) de

$$U = \frac{2,2 \text{ kJ}}{\text{m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}}$$

- Enfriar la papa de 25 a 15 °C a razón de 1 °C por día.
- Mantener la papa a 15 °C para su curado.
- Enfriar la papa de 15 °C a una temperatura de mantenimiento de 10 °C.
- Mantener la papa a 10 °C.

Calcular las mayores necesidades de enfriamiento de los periodos A hasta D descritos arriba.

#### Periodo A.

- Carga de enfriamiento

$$= 100 \text{ t} \times \frac{3\,430 \text{ kJ}}{\text{t} \times \text{°C}} \times \frac{0,04 \text{ °C}}{\text{hr}} = 13\,720 \text{ kJ/hr}$$

- Respiración =  $100 \text{ t} \times \frac{200 \text{ kJ}}{\text{t} \times \text{hr}} = 20\,000 \text{ kJ/hr}$

- Ganancia de calor

$$= 220 \text{ m}^2 \times \frac{2,2 \text{ kJ}}{\text{m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}} \times (25 - 15 \text{ °C}) =$$

$$= 4\,840 \text{ kJ/hr}$$

$$\text{Necesidad total} = 38\,560 \text{ kJ/hr}$$

#### Periodo B.

- Respiración =  $100 \text{ t} \times \frac{200 \text{ kJ}}{\text{t} \times \text{hr}} = 20\,000 \text{ kJ/hr}$

- Ganancia de calor

$$= 220 \text{ m}^2 \times \frac{2,2 \text{ kJ}}{\text{m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}} \times 10 \text{ °C} = 4\,840 \text{ kJ/hr}$$

$$\text{Necesidad total} = 24\,840 \text{ kJ/hr}$$

#### Periodo C.

- Carga de enfriamiento

$$= 100 \text{ t} \times \frac{3\,430 \text{ kJ}}{\text{t} \times \text{°C}} \times \frac{0,04 \text{ °C}}{\text{hr}} = 13\,720 \text{ kJ/hr}$$

- Respiración =  $100 \text{ t} \times \frac{85 \text{ kJ}}{\text{t} \times \text{hr}} = 8\,500 \text{ kJ/hr}$

3. Ganancia de calor

$$= 220 \text{ m}^2 \times \frac{2,2 \text{ kJ}}{\text{m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}} \times (25 - 10 \text{ °C}) =$$

$$= 7\ 260 \text{ kJ/hr}$$

$$\text{Necesidad total} = 29\ 480 \text{ kJ/hr}$$

Periodo D.

1. Respiración =  $100 \text{ t} \times \frac{65 \text{ kJ}}{\text{t} \times \text{hr}} = 6\ 500 \text{ kJ/hr}$

2. Ganancia de calor

$$= 200 \text{ m}^2 \times \frac{2,2 \text{ kJ}}{\text{m}^2 \times \text{hr} \times \text{°C}} \times 15 = 7\ 260 \text{ kJ/hr}$$

$$\text{Necesidad total} = 13\ 760 \text{ kJ/hr}$$

Nótese que la carga de enfriamiento es de 38 560 kJ/hr durante la primera fase del almacenamiento, pero sólo de 13 760 kJ/hr después de que la papa alcanza las condiciones finales de mantenimiento.

Con base en los cálculos efectuados siguiendo los procedimientos indicados arriba, se puede conocer cuánto enfriamiento es necesario para el almacén. La decisión debe tomarse sobre (1) cómo será suministrado este enfriamiento, (2) cuánto aire de ventilación se requiere, y, (3) cómo se debe distribuir el aire de ventilación.

**Provisión de enfriamiento**

La decisión de suministrar enfriamiento depende del conocimiento de los climas externo e interno y de la psicrometría, así como de la técnica, los costos, y beneficios sociales relacionados con el uso de aire enfriado artificialmente. El método elegido supone un equilibrio entre los factores técnicos, económicos y sociales. Como se indicó anteriormente, la falta de enfriamiento suficiente acarrea serias dificultades, y las plantas con enfriamiento excesivo son antieconómicas.

Más adelante se discutirán algunos de los factores técnicos asociados con los diferentes sistemas de ventilación apropiados para almacenamiento de papa.

Además se debe tener en cuenta que si en el ejemplo anterior se instala un sistema de refrigeración para remover la carga máxima de calor de 38 560 kJ/hr, solamente sería usado al 50% de su capacidad durante la mayor parte del período de mantenimiento con una carga de calor de 13 760 kJ/hr.

Consecuentemente, cuando las condiciones climáticas son favorables, el aire ambiental frío de la noche debe emplearse para reducir las necesidades de las plantas de enfriamiento artificial.

**Cálculo de las necesidades de ventilación**

Conociendo cuánto enfriamiento se requiere y cómo será suministrado, se debe calcular, mediante la psicrometría, cuánto aire de ventilación con propiedades específicas se requiere, ya sea aire ambiental o aire enfriado artificialmente.

EJEMPLO 1. Continuando con el ejemplo anterior:

Necesidades máximas de enfriamiento	= 38 560 kJ/hr
Capacidad de la planta de refrigeración instalada	= refrigeración para 2 t
(refrigeración para 1 t)	= 12 658 kJ/hr
para 2 t	= 25 216 kJ/hr
Déficit en necesidades de enfriamiento	= 13 244 kJ/hr
Aire ambiental nocturno disponible	= 12 horas a 17 °C (BS) y 12,5 °C (BH)
Aire que sale del almacén	= 20 °C (BS) y 15 °C (BH)

Calcular cuánto aire ambiental se requiere durante las 12 horas de ventilación para completar la unidad de 2 t de refrigeración.

De la carta psicrométrica a nivel del mar se lee:

	BS	BH	% HR	kJ/kg de aire seco	m <sup>3</sup> /kg de aire seco
Aire que ingresa al almacén	17	12,5	60	36,0	0,83
Aire que sale del almacén	20	15,0	60	42,1	0,84

Calor ganado por el aire ambiente de ventilación

$$= 42,1 - 36,0 = 6,1 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

Cantidad de aire necesaria para remover los 13 244 kJ/hr

$$= \frac{13\ 244 \text{ kJ}}{\text{hr}} \times \frac{\text{kg de aire seco}}{6,1 \text{ kJ}} =$$

$$= 2171 \frac{\text{kg de aire seco}}{\text{hr}}$$

Volumen de aire necesario

$$= 2171 \frac{\text{kg de aire seco}}{\text{hr}} \times \frac{0,85 \text{ m}^3}{\text{kg de aire seco}} =$$

$$= 1824 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Esta calidad de aire es disponible sólo por 12 horas y como las necesidades son por 24 horas, el volumen de aire por cada período de ventilación de 24 horas debe duplicarse:

$$1824 \times 2 = 3648 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Esto da como resultado un flujo de aire de 36,48 m<sup>3</sup>/t/hr durante las 12 horas para completar las necesidades de la planta de refrigeración.

Pueden llevarse a cabo cálculos similares para determinar la necesidad de aire cuando todo el enfriamiento es suministrado ya sea por el ambiente o por aire enfriado artificialmente.

Las velocidades de flujo de aire con ventilación forzada (VEF) normalmente recomendadas caen dentro de los límites de 67 a 86 m<sup>3</sup>/t/hr, con un mínimo sugerido de 35 y un máximo de 135 m<sup>3</sup>/t/hr.

## SISTEMA DE VENTILACION

La ventilación es necesaria para mantener a un nivel elegido la temperatura de la papa almacenada. En este contexto la ventilación implica la introducción de aire más frío para remover el calor. Inicialmente, se debe extraer el calor de campo de la cosecha que acaba de ser colocada en el almacén. Una vez que la temperatura en el almacén ha sido reducida a un nivel dado, se necesita ventilación para mantener este nivel, y contrarrestar el suministro de calor de respiración de la papa, del calor ganado por la radiación solar, a través de los materiales de las paredes, o del techo del edificio, como se calculó anteriormente.

Los sistemas de ventilación pueden ser divididos en los que usan aire ambiental y los que usan aire enfriado artificialmente.

### Ventilación con aire ambiental

Las temperaturas del aire ambiental o exterior varían en las diferentes áreas de cul-

tivo de papa. Usualmente las temperaturas del día son altas y las de la noche bajas. Una regla básica para usar este aire frío nocturno es que la temperatura del ambiente debe estar por debajo de la temperatura de mantenimiento del almacén, por lo menos de 30 a 40% del tiempo si se quiere que esta temperatura sea mantenida por ventilación con aire ambiental solamente. La ventilación con aire ambiental puede ser subdividida en sistemas de ventilación natural por convección (VNC) y por ventilación por extracción forzada (VEF).

### Ventilación natural por convección (VNC).

El calor metabólico aumenta la temperatura tanto de la papa como del aire que la rodea, dando como resultado el desarrollo de corrientes convectivas dentro del apilamiento. El aire caliente sube por entre el apilamiento a una velocidad que depende de la diferencia entre su densidad y la del aire ambiental más frío, que entra para reemplazar el aire calentado. Esto crea una transferencia de calor por convección natural proveniente del apilamiento. En un sistema cerrado se alcanza un estado de equilibrio termodinámico, que en la mayoría de los casos está, en promedio, a una temperatura mayor que la óptima para ese almacén. La exposición a la temperatura más fría del aire nocturno puede ayudar a aumentar la ventilación por convección natural y así reducir la temperatura del apilamiento.

Así, los almacenes deben estar diseñados de modo que los sistemas de ventilación puedan ser abiertos fácilmente en las noches, o cuando las temperaturas del ambiente exterior son 3 a 5 °C menores que las del apilamiento y pueden permanecer cerradas durante el día, cuando la temperatura ambiental está por encima de la temperatura del apilamiento.

Los pisos falsos o los ductos con extremos abiertos debajo del apilamiento y con suficiente espacio de aire encima del mismo ayudan a la circulación del aire más frío.

La ventilación por convección crea una diferencia de temperaturas entre la cima y el fondo del apilamiento de tubérculos, que es alrededor de 2 °C, por cada metro de profundidad del apilamiento. Este factor juntamente con la disponibilidad y la temperatura del aire de ventilación determinará la altura máxima a la que la papa puede ser almacenada, bajo las condiciones del ambiente (Figura 38). El intervalo diferencial de temperatura dentro

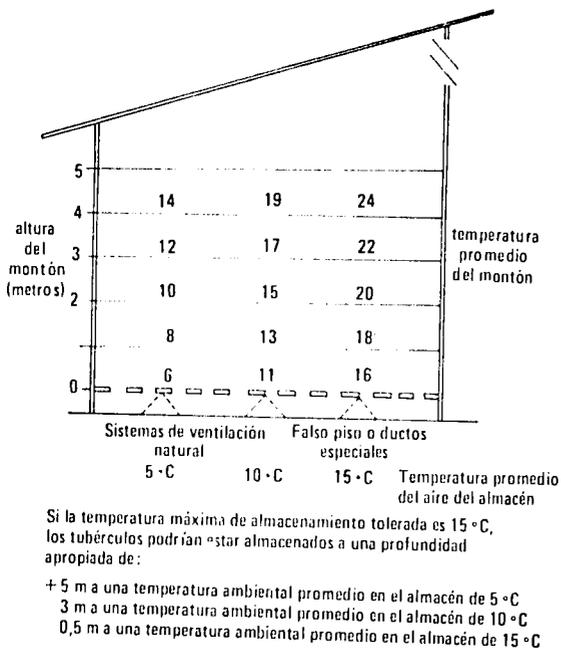


Figura 38. Altura y temperaturas del montón o apilamiento.

del almacén puede ser acortado reduciendo la altura de apilamiento o usando ventilación forzada.

Cuando el aire tibio y húmedo que está subiendo hacia la cima del apilamiento es enfriado lo suficiente por la influencia del aire ambiental que lo rodea, parte de la humedad que contiene el aire puede condensarse. Si la condensación ocurre en las capas superiores más frías, de papa, las condiciones se hacen ideales para el desarrollo y la expansión de la pudrición blanda bacteriana. Para evitar esto es conveniente cubrir el apilamiento inmediatamente después de colocarlo en el almacén, con medio metro de paja suelta donde se condensará dicha humedad.

**Ventilación por extracción forzada (VEF).** Utiliza más el aire frío del ambiente, especialmente cuando está disponible en períodos limitados, para obtener temperaturas de almacenamiento óptimas o cercanas a ellas y reducir el diferencial de temperatura de la papa. El valor de la ventilación forzada debe ser considerado siempre en términos de los beneficios, del costo global, de la disponibilidad de energía y de la eficiencia de la administración. Al estimar la cantidad de ventilación necesaria en un almacén de papa hay que considerar:

- las necesidades totales y específicas de enfriamiento,
- la temperatura promedio del aire exterior y el intervalo de temperaturas,
- el tiempo que la temperatura exterior permanece por debajo de la temperatura deseada del almacén,
- el tipo de sistema de distribución del aire.

La ventilación forzada puede ser de naturaleza continua o discontinua. Los sistemas de ventilación continua se caracterizan por una menor rapidez de ventilación respecto a los sistemas discontinuos. La selección del sistema dependerá mayormente de la calidad del aire de ventilación disponible y de la rapidez de ventilación necesaria para obtener y mantener el ambiente interno deseado.

La tasa de ventilación necesaria estará afectada de todas maneras, por el número de horas en que el aire con calidad aceptable, está disponible para usarlo en ventilación. Por ejemplo, con aire ambiental exterior aceptable, disponible por sólo cuatro horas al día, se necesita una tasa de ventilación seis veces mayor que cuando se dispone de aire refrigerado aceptable por 24 horas al día, y aún así dará un control menos exacto sobre la temperatura del almacén y del apilamiento.

Durante la ventilación por convección, la pérdida de agua de los tubérculos está limitada por la capacidad para conservar el agua de una reducida cantidad de aire con pequeño movimiento. Esto es intercambiado por la pérdida de agua de los tubérculos y tiende hacia el límite máximo establecido por la permeabilidad de la piel de la papa al vapor de agua, mediante el uso de tasas altas de ventilación forzada. Así, bajo condiciones donde la mayor parte del enfriamiento ocurre por evaporación de agua de los tubérculos, no hay razón alguna para aumentar la tasa de ventilación por encima del punto en el que el peridermo se convierte en el factor de control. Bajo condiciones en las que parte considerable del enfriamiento ocurre por radiación es mejor tener un grado establecido de temperatura con ventilación rápida y breve. Los límites de pérdida de agua establecidos por la permeabilidad del peridermo son aproximadamente de 0,5% del peso del tubérculo por semana por mbar de DPV (déficit de presión de vapor) en tubérculos cosechados frescos, y de 0,15% por semana por mbar de DPV en tu-

tubérculos maduros bien curados. Este límite de la pérdida de agua subirá de nuevo considerablemente en los tubérculos brotados, debido a que la permeabilidad es mucho mayor en la superficie de los brotes.

### Ventilación con aire enfriado artificialmente

Hay dos sistemas de almacenamiento de papa con aire ambiente enfriado artificialmente: enfriamiento por evaporación y refrigeración. Ambos sistemas son más efectivos cuando se usan en combinación con un sistema de extracción forzada de aire. Un sistema de recirculación reducirá considerablemente los costos de la carga de refrigeración.

**(1) Enfriamiento por evaporación.** El enfriamiento por evaporación tiene las siguientes ventajas:

- reduce la temperatura del aire,
- aumenta la humedad del aire.

El efecto combinado es reducir el déficit de la presión de vapor (DPV).

El enfriamiento por evaporación es particularmente efectivo cuando la temperatura de bulbo húmedo (BH) es menor en más de 4 °C que la temperatura de bulbo seco (BS). Cuanto mayor es la depresión del bulbo húmedo, mayores son las ventajas del enfriamiento por evaporación. En la carta psicrométrica (nivel del mar), el enfriamiento del aire sigue la línea de temperatura de bulbo húmedo.

Ejemplo:	BS	BH	PR	% HR	Presión de vapor	DPV
Aire fresco	20	15	12	59	23,1 (20 °C)	13,9 (12 °C)
Aire enfriado	17	15	13,8	81	19,2 (17 °C)	15,6 (13,8 °C)

Se ha reducido el DPV en 5,6 mbares y la HR ha aumentado en 22%. Es difícil aumentar el porcentaje de HR encima de 80% por medio de enfriamiento por evaporación solamente.

**(2) Refrigeración.** Se emplea de ordinario para extraer calor del espacio de almacenamiento. Los sistemas de refrigeración constan de cuatro componentes principales que funcionan en un ciclo cerrado. Estos componentes —el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador— y sus funciones,

se describen en el Apéndice A4. Las necesidades de refrigeración pueden ser fácilmente determinadas a partir de la necesidad total de enfriamiento.

Cuando se usa refrigeración, para ahorrar dinero y prevenir el escape del aire refrigerado después de que ha pasado a través de los tubérculos almacenados, se debe insertar siempre un sistema de recirculación en el sistema de distribución de aire. Se recomienda para los almacenes de papa el sistema forzado para distribuir entre los tubérculos el aire refrigerado. Dicho sistema da mayor eficiencia y flexibilidad, permitiendo que los tubérculos sean almacenados en recipientes o a granel. Algunas veces el aire refrigerado es introducido en los almacenes justo por debajo del cielo raso, permitiéndole en esta forma caer por gravedad alrededor de la cosecha almacenada. Para un enfriamiento exitoso en el uso de este sistema, la cosecha almacenada debe ser cuidadosamente apilada en recipientes abiertos. Este sistema no es recomendado para almacenes especialmente construidos para papa, y no puede ser usado para ningún almacén de papa a granel.

Así como en todos los demás almacenes de papa, la construcción de almacenes refrigerados debe llenar los requisitos descritos de protección contra el clima, retención de tubérculos y aislamiento. Esta necesidad no significa necesariamente que los almacenes refrigerados sean más caros que los no refrigerados. Si los requisitos anteriores se cumplen, se pueden emplear los materiales de más bajo costo de la localidad.

### Sistema de humidificación

Los intereses para eliminar las pérdidas por evaporación, de los tubérculos, deben ser dirigidos a reducir el DPV del aire de ventilación. Cuando el aire de ventilación disponible es de baja humedad relativa, lo anterior se puede lograr con sistemas artificiales de humidificación o con el enfriamiento por evaporación, si es apropiado.

Para proveer humidificación artificial en almacenes que utilizan ventilación forzada (VEF) se introducen partículas de agua finamente atomizadas en la corriente de aire que es impulsada por el ventilador. Para mayor efectividad y para evitar arrastrar agua libre hacia el almacén, la introducción de agua de-

be hacerse a presión, con la ayuda de una bomba. Una alternativa para el agua atomizada es la inyección de vapor en el aire de ventilación. Otra alternativa más amplia es dotar al ducto principal con barreras de humidificación tales como carbón o sacos de yute, a través de los que se hace circular agua continuamente.

En almacenes simples que cuentan con ventilación por convección natural, se pueden emplear otros sistemas más sencillos de humidificación. El agua puede ser introducida periódicamente debajo del falso suelo de tablas de almacenes de este tipo. Algunas veces, los canales de irrigación o las pequeñas corrientes de agua pueden ser desviadas y hacerlos correr debajo del falso suelo de los almacenes. Puede ser beneficioso agitar el agua para obtener mayor superficie para la humidificación.

En todos los tipos de almacenes es más fácil obtener y mantener alta humedad relativa del aire interior cuando el almacén está lleno en toda su capacidad. Un pequeño almacén lleno es mejor que un almacén grande lleno hasta la mitad. Los pisos de tierra natural ayudan bastante a mantener alta humedad si están bien húmedos antes de llenar los almacenes.

## DISTRIBUCION DE AIRE

Cualquiera que sea el sistema de ventilación que se use dentro del edificio, el aire introducido o recirculado debe fluir lo más uniformemente posible por entre la cosecha almacenada. La distribución es una función de la resistencia al flujo de aire por parte de la papa, del tamaño del ducto, la situación de los ductos y la ubicación y el tamaño de los conductos de entrada y salida. En la ventilación y distribución de aire, éste siempre toma el camino de menor resistencia.

### Resistencia al flujo de aire

Cuando se emplea cualquier tipo de ventilación forzada es útil la siguiente información básica para seleccionar apropiadamente el ventilador: (1) la cantidad de aire para mover en un tiempo dado ( $m^3/hr$ ) y (2) la presión en contra de la cual operará el ventilador, por ejemplo, milímetros de presión estática de agua (s.w.g.) o presión total de agua (t.w.g.).

Un almacén de papa tiene dos componentes principales de resistencia de aire. Uno es el trabajo de los ductos (y adicionalmente el serpentín de evaporación en el caso de almacenes refrigerados) y el segundo es la resistencia combinada de la papa y de las aberturas de salida. Dichas resistencias requieren presión para vencerlas. Esta presión, en cambio, tiene tres aspectos: (1) presión dinámica ( $P_v$ ), producida por la velocidad del aire en movimiento; (2) presión estática (s.w.g.), que mantiene el flujo venciendo la resistencia, y (3) presión total (t.w.g.), que es la suma de las presiones estática y dinámica.

En un almacén de papa, usualmente se mide sólo la presión estática de agua. Para papa limpia, sin brotes, ésta no excede de 0,75 mm de s.w.g. por metro de altura del apilamiento. Si la papa almacenada tiene bastante tierra la presión puede aumentar alrededor de 1,85 mm de s.w.g. por metro. En caso de que exista abundante brotamiento la s.w.g. puede subir a 7,5 mm por metro.

La resistencia debida al trabajo de los ductos se fija por el tamaño y diseño de éstos. En el caso de un ducto principal único, recto, con bifurcaciones en ángulo recto, es raro que exceda de 12,5 mm de s.w.g. Así, la presión estática total de agua para un apilamiento de 3,5 m de alto puede variar de 15 a 43 mm de s.w.g.

Es conveniente considerar que una instalación bien diseñada para almacenamiento a granel consta de un ducto principal de aire, en ductos laterales; contiene papa hasta una altura de 4 m, y equipos para extracción de tierra en el elevador de entrada, además de una extensión con cabeza móvil para evitar la formación de conos de tierra. La recomendación para esta estructura sería un flujo de aire del orden de  $67 m^3/t/hr$  y 25 mm de s.w.g. Para una instalación menor sin el equipo de extracción de tierra, pero similar en todo lo demás, la presión estática en el ventilador aumentaría a 38 mm de s.w.g., y aumentaría a 50 mm de s.w.g. en instalaciones con limitaciones de diseño, con numerosos dobleces en los ductos de aire y presencia de conos de tierra.

Cuando se almacena en bolsas o sacos y no a granel, el método de apilamiento debe promover el flujo máximo de aire por entre los tubérculos en forma pareja, y no simplemente alrededor del apilamiento. Las bolsas con tejido abierto ofrecen menor resistencia al flujo de aire que las de yute grueso o cáñamo.

## Tamaño y distribución de los ductos

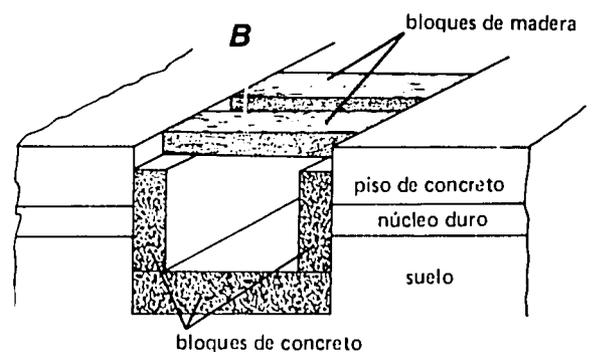
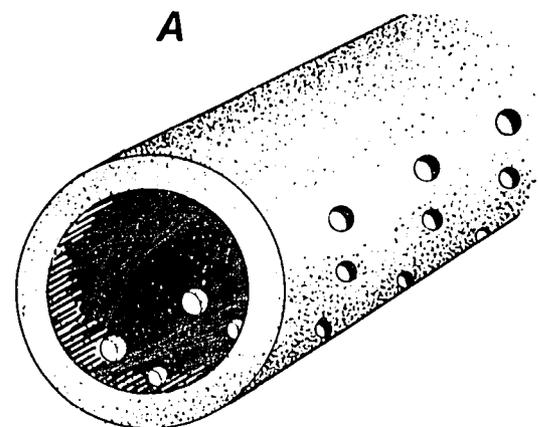
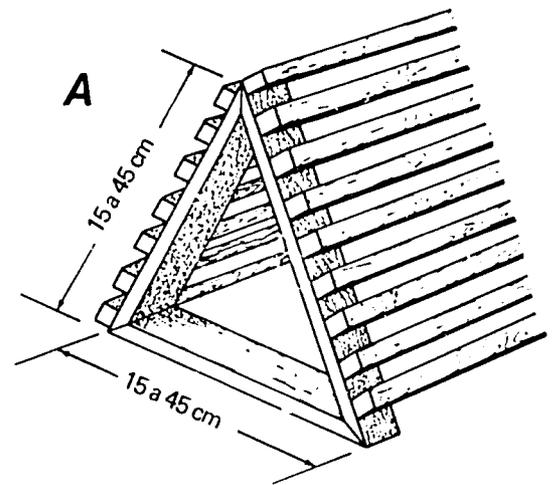
En almacenes pequeños con ventilación natural se precisa de un falso suelo de tablas espaciadas. En la mayoría de los otros casos se requiere el trabajo de ductos, usualmente de un ducto principal, y de un conjunto de ductos laterales. La función principal es proveer un punto único de unión con el ventilador y alimentar los ductos laterales que distribuyen el aire debajo de la papa almacenada. Varios ventiladores pequeños, cada uno colocado en un ducto lateral, por ejemplo, nunca son tan económicos como un solo ventilador grande de capacidad adecuada. Se deben incluir válvulas direccionales en los ductos laterales para controlar la distribución a cada parte del almacén.

**Diseño y distribución.** Tanto los ductos principales como los laterales deben estar ubicados encima o debajo del nivel del piso. Sin embargo, los ductos principales sobre el piso son más baratos de construir y pueden colocarse en las paredes de contención o formar parte de una división física del almacén. Los ductos principales por lo general tienen sección rectangular. El orificio de descarga circular de los ventiladores axiales debe estar unido al ducto con una pieza de transformación. Los ventiladores centrífugos comúnmente tienen orificio rectangular.

Con cualquier tipo de ventilador se debe evitar la descarga de aire en un ducto más grande o más pequeño sin una transformación gradual. Los ductos laterales empotrados no ofrecen ventajas para distribución de aire, pero pueden ser más convenientes en almacenes a granel o en almacenes con cajas. Los ductos subterráneos son usualmente rectangulares y están cubiertos por planchas de 100 a 150 mm de ancho con espacios de hasta 25 mm entre las planchas (Figura 39). Los ductos laterales sobre el suelo por lo general son triangulares y están contruidos con tablas de madera, en forma de rejilla, con espacios de no más de 25 mm entre las tablas. Se pueden usar, alternativamente, ductos tubulares con agujeros (Figura 39).

Todos los ductos deben ser rectos y sin obstrucciones. Si las curvas son inevitables, se deben hacer gradualmente y redondeadas. Deben instalarse paletas guías en el interior de los ductos de aire, lo que es muy importante, en especial si la descarga de aire se hace for-

mando ángulo recto con el ducto principal. El interior de los ductos debe ser liso para reducir la resistencia al flujo de aire. Hay que



**Figura 39.** Diseño de ductos laterales. A. Sobre el piso. Ducto triangular con maderas espaciadas (también puede ser cuadrado o rectangular o un tubo redondo con numerosos agujeros). B. Debajo del piso. Ducto de concreto hundido (de: Control del Medio Ambiente, "Control of Environment", Segunda parte. Consejo de Comercialización de Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge, Informe N° 6, Londres).

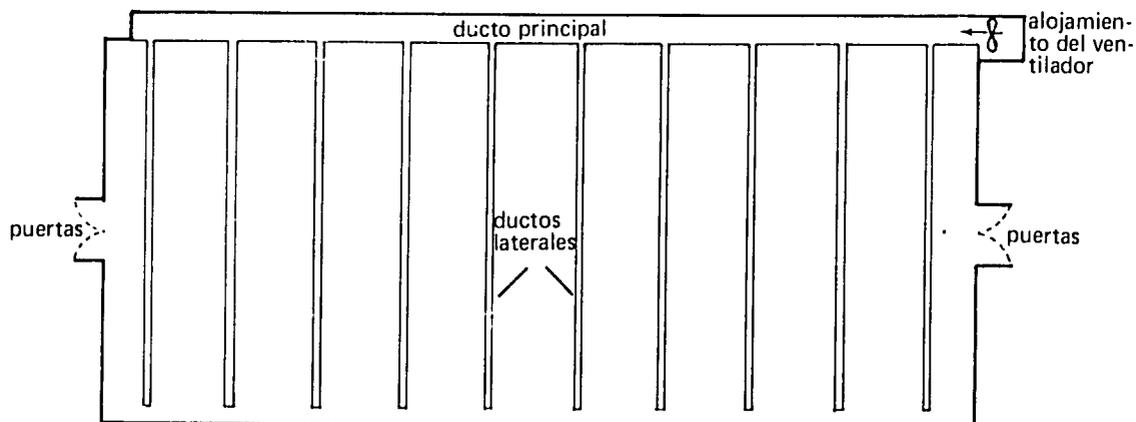
evitar las obstrucciones en las cercanías de la separación de los ductos laterales.

La posición del ducto principal depende de la configuración del almacén individual. Se muestran tres formas en la Figura 40. Se debe

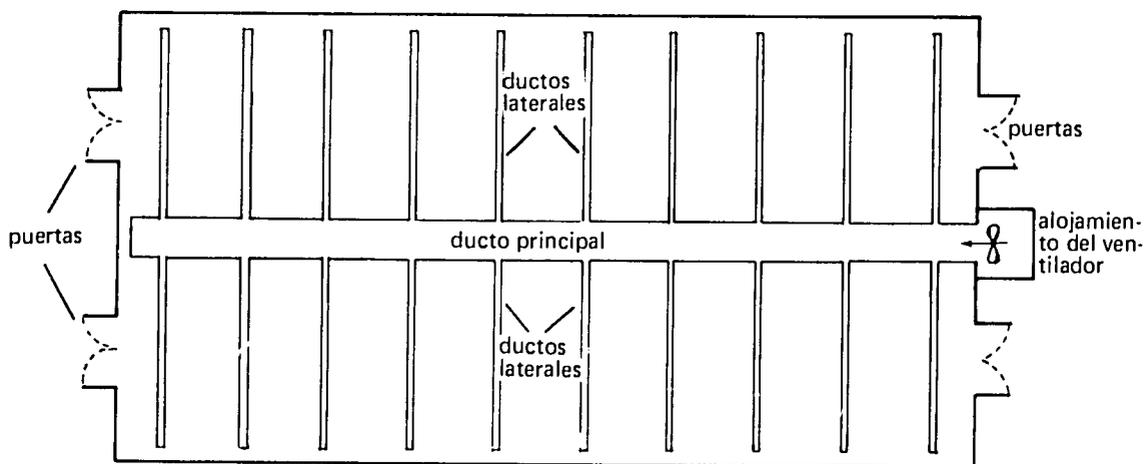
considerar el costo y funcionamiento de los ductos laterales para la distribución final del aire a fin de determinar su espaciamiento.

La experiencia indica que es adecuado un espaciamiento máximo a 2 m, entre ductos la-

A. Ducto principal longitudinal



B. Ducto principal central



C. Ducto principal lateral

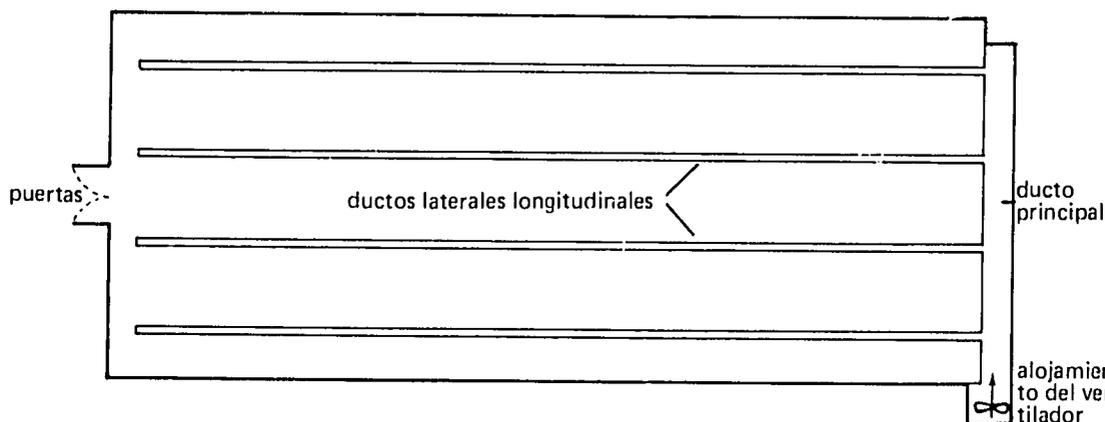
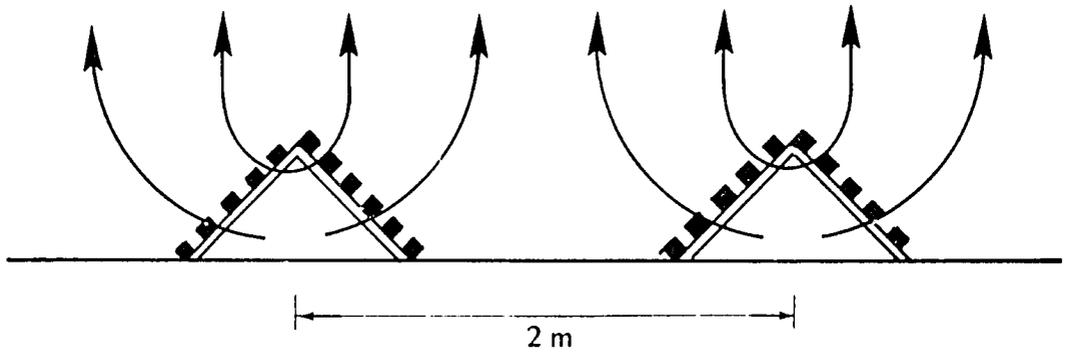


Figura 40. Distribución de ductos de aire (de: Control del Medio Ambiente, "Control of Environment", Segunda parte, Consejo de Comercialización de la Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge, Informe N° 6, Londres).

A. Espaciamiento correcto



B. Espaciamiento muy amplio  
Ventilación deficiente  
del cono de tubérculos

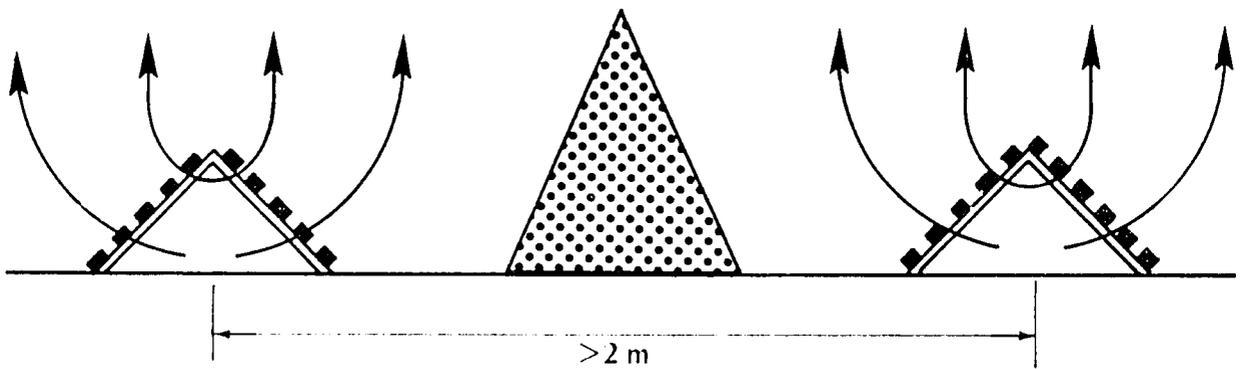


Figura 41. Espaciamiento de ductos laterales. A. Espaciamiento de ductos laterales. B. Espaciamiento muy amplio (de: Control del Medio Ambiente, "Control of Environment", Segunda parte, Consejo de Comercialización de la Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge, Informe N° 6, Londres).

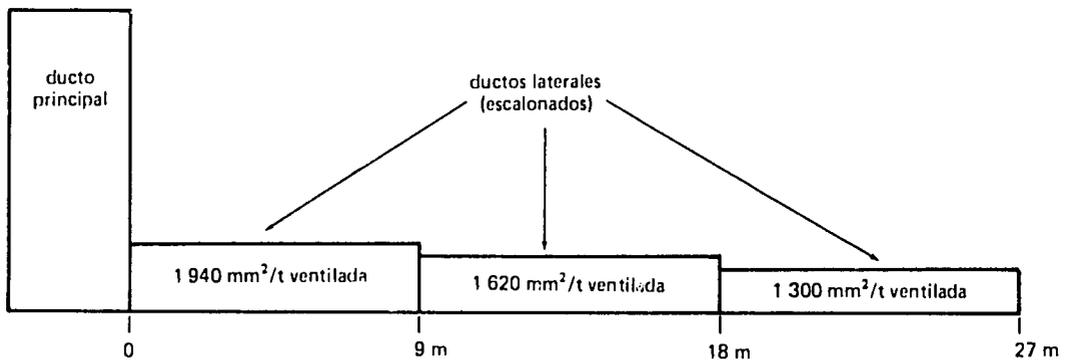


Figura 42. Tamaño de los ductos laterales (de: Control del Medio Ambiente, "Control of Environment", Segunda parte, Consejo de Comercialización de la Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge, Informe N° 6, Londres).

terales (basado en mediciones de centro a centro). El flujo de aire y los problemas inherentes a espaciamientos mayores están ilustrados en la Figura 41. La longitud máxima que se recomienda para los ductos laterales es por lo común de 12 a 14 m.

Si son indispensables ductos más largos, se debe hacer una revisión del área mínima de la sección recomendada (1 300 mm<sup>2</sup>/t de papa ventilada). Los ductos muy largos deben variar gradualmente de tamaño para obtener el arreglo más económico (Figura 42).

**Tamaño.** El cálculo del tamaño del ducto se hace por el método de la velocidad, en el que la velocidad del aire es seleccionada en varias secciones. Se reduce la velocidad del aire progresivamente a través del sistema, desde un máximo en el ducto principal hasta un mínimo en la descarga del edificio a través de las aberturas de salida. Las velocidades en el ducto principal deben ser de 10 a 13 m/s, debajo de 10 m/s en los ductos laterales, y no más de 4 m/s en las aberturas de salida.

En un sistema de flujo de aire por convección las pérdidas por fricción pueden ser despreciables si se garantiza que la velocidad del aire en los ductos no supera los 3 m/s. De este modo, si los flujos de aire por convección están a un máximo de 13,5 m<sup>3</sup>/t/hr, todos los ductos deben tener un área de sección transversal mínima de 1 300 mm<sup>2</sup> por t de papa ventilada.

La velocidad del aire disminuye hacia los extremos cerrados del ducto, dado que allí hay una región de presión estática. Los problemas de distribución desigual asociados con este hecho pueden ser contrarrestados, tanto en los ductos principales como en los laterales haciendo sus terminales en forma ahusada, y proporcionándoles suficiente área de sección transversal, para mantener las velocidades iniciales bajas. En los ductos laterales este problema también puede ser remediado reduciendo la distancia entre las planchas a lo largo del ducto lateral, de modo que al final los espacios sean un tercio de la dimensión de los que están cerca de la conexión con el ducto principal.

Por ejemplo, la papa tiene 3 m de profundidad en un almacén con un sistema de ductos laterales con espaciamientos de 2 m; cada ducto tiene 9 m de longitud y la ventilación forzada para mantener la temperatura interna deseada tiene una tasa de 67 m<sup>3</sup>/t/hr.

Entonces el tonelaje de tubérculos ventilados por cada ducto lateral será:

$$3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times \frac{0,6 \text{ t}}{\text{m}^3} = 34 \text{ t}$$

Por lo tanto, el flujo total de aire en cada ducto lateral será:

$$\frac{34 \text{ t} \times 67 \text{ m}^3}{\text{t} \times \text{hr}} = 2\,278 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Si el flujo máximo recomendado de aire en el ducto es 10 m/s, el área de la sección cuadrada de los ductos será:

$$\frac{2\,278 \text{ m}^3}{\text{hr}} \times \frac{\text{seg}}{10 \text{ m}} \times \frac{\text{hr}}{3\,600 \text{ seg}} = 0,063 \text{ m}^2$$

o alternativamente

$$\frac{0,0633 \text{ m}^2}{34 \text{ t}} = 0,0019 \text{ m}^2/\text{t de papa ventilada}$$

Así, los ductos laterales pueden ser, por ejemplo, ductos cuadrados de 0,252 m x 0,252 m debajo del piso.

Suponiendo que no se quiera que la velocidad promedio del aire en el punto de entrada al apilamiento de papa sobrepase los 4 m/s, el área libre total que comprende los espacios de separación entre las tablas de los ductos laterales sería:

$$\frac{2\,278 \text{ m}^3}{\text{hr}} \times \frac{\text{seg}}{4 \text{ m}} \times \frac{\text{hr}}{3\,600 \text{ seg}} = 0,158 \text{ m}^2$$

Dado que los ductos tienen 0,252 m de ancho, se necesitaría una longitud total de separación de:

$$\frac{0,158 \text{ m}^2}{0,252 \text{ m}} = 0,627 \text{ m}$$

Esto puede obtenerse con 50 espacios de 12,5 mm cada uno.

Sin embargo, en la práctica el aire no deja el ducto a una velocidad uniforme de 4 m/s, pues puede variar de 2,3 m/s cerca del ducto principal a 6,8 m/s en el extremo cerrado del ducto, lo cual producirá una distribución desigual como se calcula a continuación.

El aire que deja el extremo cerrado más lejano del ducto será:

$$0,252 \times 0,0125 \times 6,8 \times 3\,600 =$$

$$= 77,11 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Esto se corrige, como se explicó anteriormente, manteniendo igual el área total de espaciamento ( $0,158 \text{ m}^2$ ), pero alternando los espaciamentos como sigue:

primeros 3 m, espaciamento de 19 mm  
 3 m intermedios, espaciamento de 12,5 mm  
 últimos 2 m, espaciamento de 6,35 mm

De este modo se obtiene un flujo de aire parejo como se calcula a continuación:

Extremo lejano

$$0,252 \times 0,0064 \times 6,8 \times 3\,600 = 40 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Extremo más próximo

$$0,252 \times 0,019 \times 2,3 \times 3\,600 = 40 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Todos los ductos laterales deben terminar a una distancia de 0,3 a 0,45 m del muro del almacén para evitar la pérdida excesiva de aire sobre la cara lisa de la pared. De manera similar, un nivel superior uniforme de la papa almacenada a granel es muy importante para garantizar la distribución uniforme del aire (Figura 43).

### Recirculación

La recirculación de aire dentro de un almacén de papa es una ayuda importante cuando se usa ventilación con aire enfriado artificialmente. Es muy antieconómico introducir aire ambiental a una temperatura alta, y luego enfriarlo antes de que pase a través de los tubérculos almacenados, solamente para dejarlo escapar con algunos grados más. La recirculación del aire del almacén también puede ser empleada para disminuir el gradiente de temperatura dentro de la pila de tubérculos almacenados.

Casi todos los sistemas de recirculación permiten la mezcla de aire ambiental con aire enfriado artificialmente.

Se usan tres sistemas mecánicos para recirculación:

(1) Ventilador de recirculación y chimenea independiente del ventilador principal (Figura 44A).

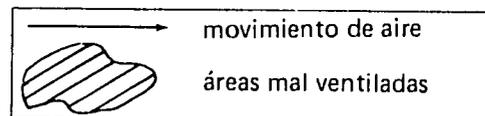
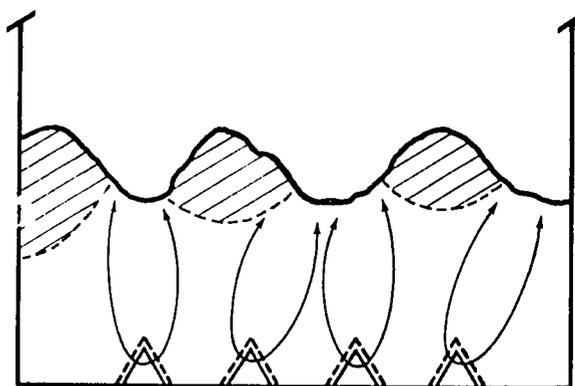
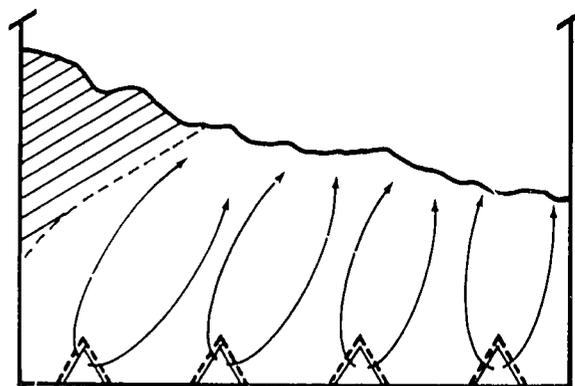
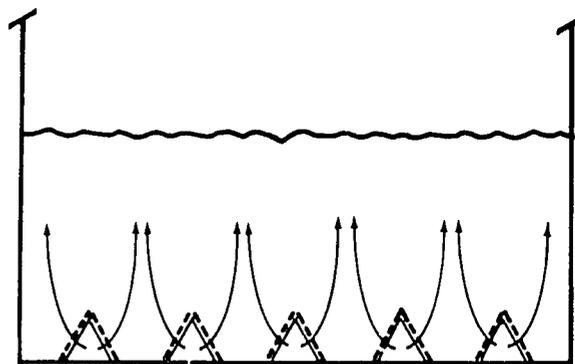
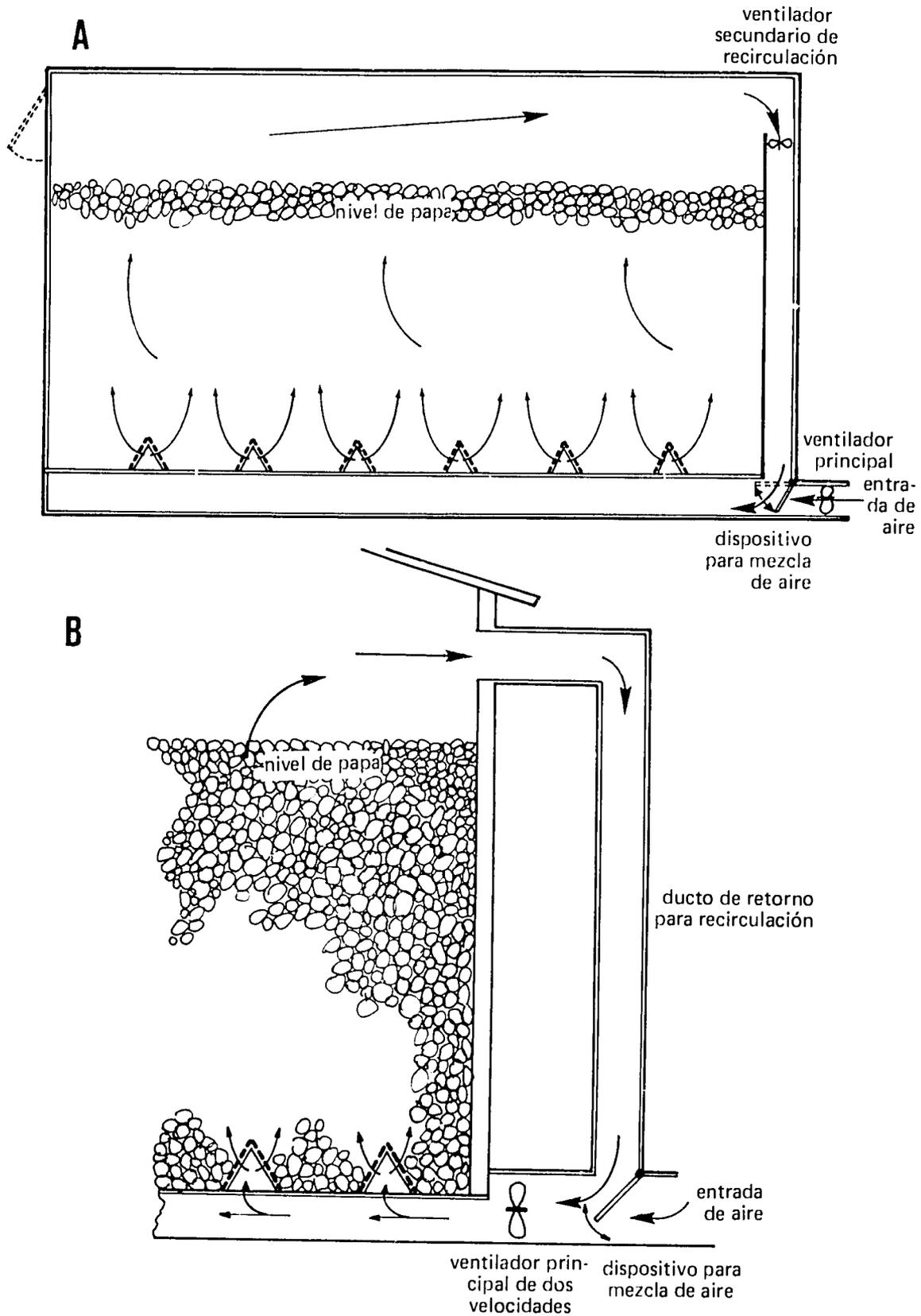


Figura 43. Importancia del nivel de la papa en un almacén a granel con ventilación forzada.

- (2) Ventilador principal de dos velocidades con ducto de recirculación (Figura 44B).
- (3) Ventilador principal usado intermitentemente.

Las tasas de recirculación del aire superiores a  $35 \text{ m}^3/\text{t}/\text{hr}$  no se recomiendan, a no ser



**Figura 44.** Sistemas de recirculación. A. Ventilador secundario de recirculación. B. Ventilador principal con ducto de retorno (de: Control del Medio Ambiente, "Control of Environment", Segunda parte, Consejo de Comercialización de la Papa, Estación Experimental de Sutton, Bridge, Informe N° 6, Londres).

que se seleccione el sistema (3), esto es el uso intermitente del ventilador principal.

### Aberturas de entrada y salida

Las entradas de aire deben ser cuidadosamente diseñadas y ubicadas en sistemas que dependen de la introducción de aire ambiental frío. Se deben ubicar sacando el máximo provecho de las corrientes naturales de aire existentes, y hacerlas en tamaño y número suficiente para permitir la entrada de grandes volúmenes de aire frío, especialmente cuando el aire está disponible sólo durante períodos restringidos (por ejemplo, en la noche). Es virtualmente imposible proveer demasiado número de ventiladores, ya que el grado de flujo de aire puede ser controlado con una apropiada administración del sistema. Se deben diseñar tomas de aire que abran y cierren fácilmente. Se exigen dispositivos de protección para prevenir la entrada de roedores y, especialmente en el caso del tubérculo-semilla, para impedir la entrada de insectos como áfidos y polillas.

Cuando se usa sólo ventilación por convección natural, y de acuerdo con el tamaño, el diseño particular y la ubicación del almacén, las tomas externas pueden abrirse a un sistema de ventilación con falso suelo abierto, a varios ductos principales individuales, o a un menor número de ductos principales con varios ductos laterales cada uno.

En los sistemas de ventilación forzada por tiro, un ducto principal permite un único punto de unión del ventilador con el número requerido de ductos laterales, reduciendo gradualmente la velocidad del aire a lo largo del sistema, como se ha descrito anteriormente.

En almacenes ventilados con convección natural, el aire puede ser evacuado por un canal abierto o un arreglo alternativo similar. En dicho sistema se deben hacer aberturas de evacuación que tengan por lo menos  $0,55 \text{ m}^2$  por cada 100 t de papa almacenada.

En almacenes con ventilación forzada los canales abiertos para la evacuación no son prácticos, por lo que se usan frecuentemente ventiladores controlados en los extremos o en los lados. El área total libre de la sección transversal de estos ventiladores no debe ser menor de  $0,068 \text{ m}^2$  por  $1\,000 \text{ m}^3/\text{hr}$  de capacidad del ventilador. La forma más simple de ventiladores de evacuación controlados para

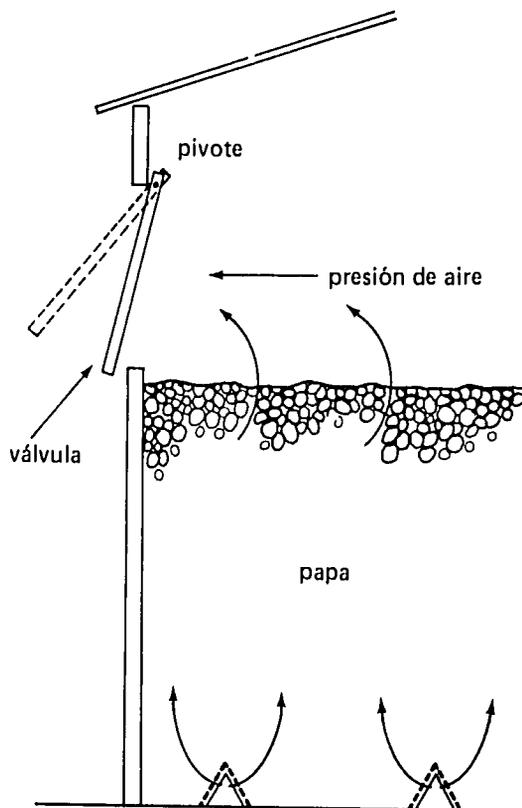


Figura 45. Ventilador de evacuación (de: Control del Medio Ambiente, "Control of Environment", Segunda parte, Consejo de Comercialización de la Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge, Informe N° 6, Londres).

uso con ventilación forzada por tiro son las válvulas de compuerta contrabalanceadas, que actúan con el aumento de la presión interna creada cuando el ventilador está en operación (Figura 45).

Todas las aberturas de evacuación deben estar encima del nivel de la papa almacenada y tan cerca del vértice del edificio como sea posible. Esto aumenta el "efecto de chimenea" y ayuda a la extracción, particularmente en el caso de ventilación por convección. Si no se emplea paja suelta o un material similar encima de la cosecha almacenada, el montaje de los ventiladores debe hacerse a prueba de luz cuando la papa almacenada sea para consumo, con el propósito de prevenir el verdeamiento. Esto se puede lograr con trampas de luz (Figura 46). El espacio de aire libre entre la cima de la pila de papa y el extremo superior de los muros debe ser de 1 m en techos poco inclinados, pero puede ser reducido en edificios con techos más inclinados. La posición de las aberturas de salida de aire respec-

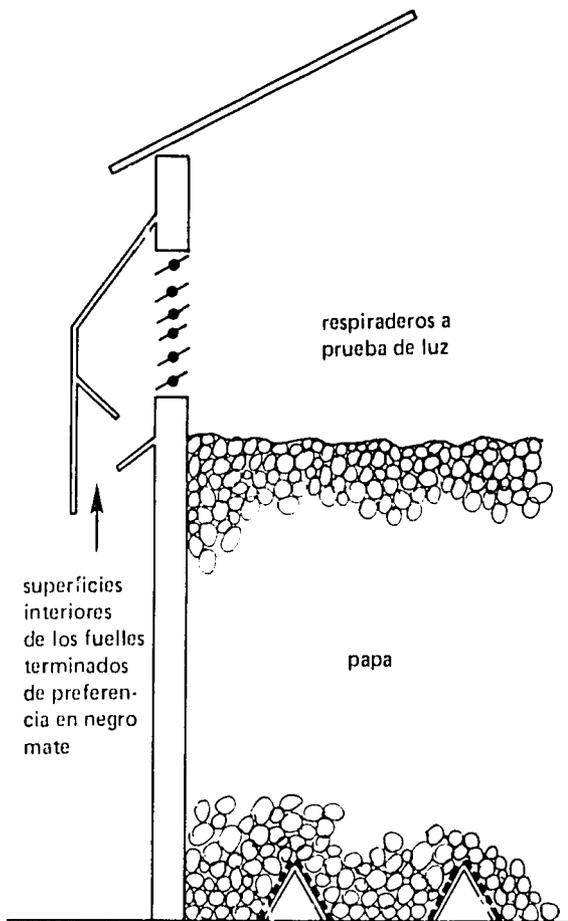


Figura 46. Ventilador de evacuación (persianas a prueba de luz) (de: Control del Medio Ambiente, "Control of Environment", Segunda parte, Consejo de Comercialización de la Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge, Informe N° 6, Londres).

to a las de entrada es importante (Figura 47). Se debe introducir el aire a un nivel bajo y evacuarlo a un punto alto para aprovechar más su flujo y su distribución por entre los tubérculos. Cuando se usan varios puntos de evacuación, todos deben estar equidistantes del orificio de entrada y, en el caso de una sola salida, tan lejos como sea posible de la abertura de entrada.

### Selección de ventiladores

La selección del ventilador correcto es muy importante. Los ventiladores eléctricos apropiados se ubican en dos categorías principales: centrífugos y de flujo axial (Figura 48). Generalmente, debido a que la contrapresión en los almacenes de papa bien diseñados es bastante baja, es conveniente el tipo de ventilación axial y su operación es menos

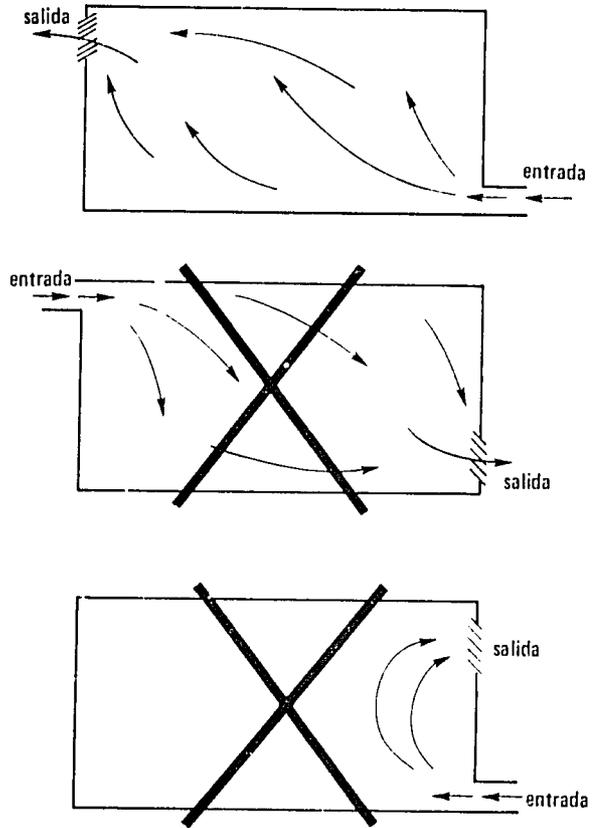


Figura 47. Ventilación (distribución de aire) (de: Control del Medio Ambiente, "Control of Environment", Segunda parte, Consejo de Comercialización de la Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge, Informe N° 6, Londres).

costosa. En edificios destinados a diversos usos, como el secado de granos o cuando se requiere enfriamiento rápido o amplio de la papa, se necesitará un ventilador centrífugo.

Los ventiladores centrífugos son aconsejables en condiciones de la zona tórrida donde las necesidades de ventilación son más altas. Los ventiladores de flujo axial son compactos, fáciles de instalar y el flujo de aire en línea recta permite que sean instalados directamente en el ducto principal de aire. Un inconveniente es que los ventiladores axiales tienden a ser más ruidosos que los centrífugos y transfieren el calor del rotor directamente a la corriente de aire. Adicionalmente, se pueden usar ventiladores de hélice en almacenes con cajas o bandejas, y para ayudar a la ventilación natural donde no existe un sistema de ductos. Son adaptables para la extracción de aire por el techo.

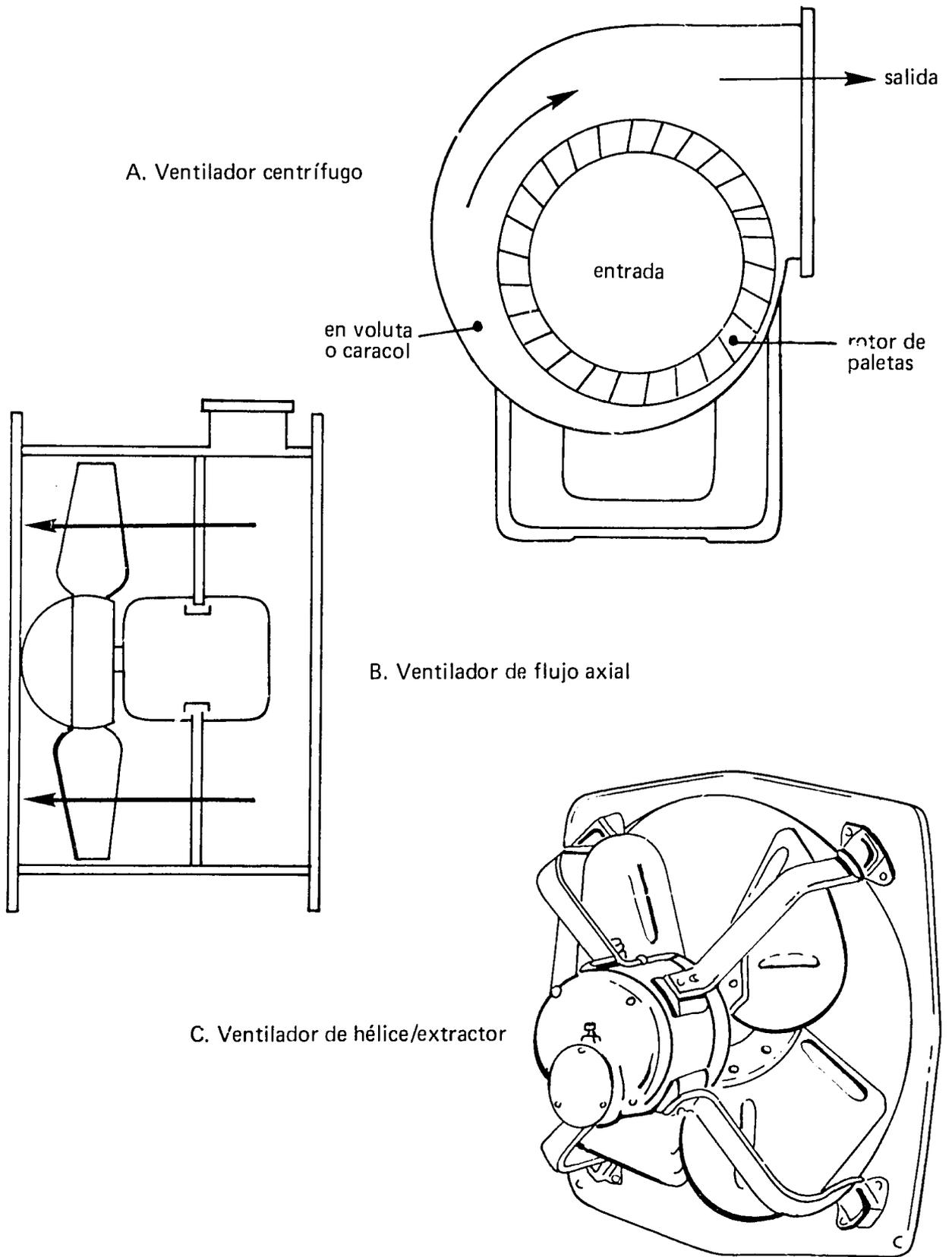


Figura 48. Tres tipos de ventiladores, centrífugo, de flujo axial y de hélice (de: Control del Medio Ambiente, "Control of Environment", Segunda parte, Consejo de Comercialización de la Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge. Informe N° 6, Londres).

# **ADMINISTRACION DE LOS ALMACENES**

INTRODUCCION

FASE ANTERIOR AL ALMACENAMIENTO

FASE DE ALMACENAMIENTO

Secado

Curado

Mantenimiento

Acondicionamiento

Desbrotamiento y prebrotamiento

PRACTICAS DE ADMINISTRACION

Seguimiento del control de la temperatura

Seguimiento del control de la humedad

Control de la temperatura

Control de la humedad

FASE POSTERIOR AL ALMACENAMIENTO

## INTRODUCCION

La administración o manejo de los almacenes es tan decisiva para el sistema como la administración de la producción y el mercado. El manejo del "embalse" del almacenamiento debe hacerse en forma integral. Ello demanda la debida comprensión del sistema total de producción-almacenamiento-demanda y el conocimiento pormenorizado de la tecnología del almacenamiento de la papa. La adecuada administración del almacenamiento ayuda a la eficiencia del sistema total y a la reducción de los costos.

### FASE ANTERIOR AL ALMACENAMIENTO

El factor más importante para el éxito o el fracaso del almacenamiento es la calidad de los tubérculos almacenados. Por ello, aun las mejores instalaciones no serían realmente útiles, si es que no se almacena papa en buenas condiciones. La administración del almacenamiento requiere conocimiento de la historia del cultivo. Las variedades de papa difieren en importantes características de almacenamiento, y éstas deben considerarse en términos de los cultivos efectuados en la localidad.

El comportamiento en el almacenamiento también depende de las condiciones del cultivo, administración de la producción y prácticas realizadas. La selección del campo de cultivo y su preparación determinan en parte la calidad de los tubérculos cosechados. Los campos que no han sido bien elegidos y preparados originan dificultades en el cultivo y la cosecha, dando como resultado, con frecuencia, daños mecánicos que reducen la calidad de almacenamiento de los tubérculos. Las condiciones para rendimientos altos y para la obtención de buenas características para el almacenamiento pueden ser contradictorias. Por ejemplo, la fertilidad alta en nitrógeno aumenta la producción, pero baja la calidad del tubérculo para el almacenamiento. El adecuado manejo del campo para el control de plagas y enfermedades es esencial para producir buena calidad de tubérculos para esta finalidad. Las personas que administran el almacenamiento deben conocer qué plagas y enfermedades afectaron a la papa que se desea almacenar.

Debido a que muchos problemas se deri-

van de lo que ocurre durante el desarrollo del cultivo, el manejo adecuado del campo, así como una buena selección de los tubérculos antes de almacenarlos son aspectos claves para la buena administración del almacenamiento. La selección previa es siempre muy importante, pero es *decisiva* en situaciones donde no es posible ejercer control sobre el ambiente interno del almacenamiento.

En algunos países productores de papa, en general la mano de obra es cara y el capital es barato, y por eso se hace más énfasis en reducir las pérdidas de almacenamiento empleando sistemas complicados, que incluyen niveles altos de control del ambiente interior. Lo contrario sucede en otros países, donde por lo general es difícil construir o administrar sistemas complicados; por ello, se debe dar mayor atención a la selección antes de almacenarlas.

Es necesario conocer la magnitud y el número de los ciclos de producción anual para diseñar y administrar los almacenes. Asimismo, para el buen diseño y la administración del almacenamiento es esencial la información detallada del potencial de producción de los productores individuales y del número y características de almacenamiento de las variedades que se van a emplear. No se debe mezclar en almacenes a granel diferentes variedades o la producción de diversos campos. Esta es una razón principal para que el diseño y la administración de un almacén para las diferentes variedades producidas por varios pequeños productores, tengan que ser diferentes del diseño y la administración de un almacén para una variedad de papa producida por un solo agricultor.

### FASE DE ALMACENAMIENTO

Existen numerosos factores en conflicto que se deben analizar primero para seleccionar el ambiente que conviene a un determinado almacenamiento. La importancia de los factores individuales es una decisión de administración y debe hacerse "de inmediato" basándose en el conocimiento de las prácticas y problemas de la producción local, modelos previstos de almacenamiento y sus problemas y las exigencias del consumidor y del mercado. A continuación se analizan algunas pautas para hacer modificaciones específicas según la localidad.

## Secado

La papa que se cosecha bajo condiciones de suelo húmedo debe ser secada de inmediato. Los tubérculos que han recibido lluvia no deben ser considerados para almacenamiento. Cuando el almacén está equipado con un ventilador, éste debe emplearse para ayudar al secado de la superficie externa durante un tiempo, cuando la temperatura exterior es baja. La ventilación debe ponerse en el nivel más alto para emplear el menor tiempo posible. La ventilación excesiva (después que se ha secado la humedad de la superficie externa) puede deshidratar y ablandar la papa almacenada. Cuando el almacén no está equipado con ventiladores, se puede secar la papa apilándola a un metro de profundidad, como máximo, y abriendo todos los ductos y ventiladores del techo para proporcionar la mayor cantidad posible de ventilación por convección. Bajo ciertas circunstancias se puede hacer el secado parcial en el campo pero hay que evitar exponer la papa a la luz directa del sol y a los vientos fuertes. Numerosas variedades se verdean con mucha facilidad y rapidez, y es necesario secarlas dentro de los almacenes y no en el campo. Es esencial controlar frecuentemente la papa durante la etapa de secado.

## Curado

El buen curado es esencial para el buen almacenamiento. Tan pronto la papa esté en los almacenes, es necesario administrarle ventilación, de modo que la temperatura de los tubérculos sea alrededor de 15 °C. En la mayoría de las zonas templadas y frías de las montañas de la zona tórrida, donde se cultiva papa, sólo se restringe la ventilación, lo que permite que el calor de la respiración se acumule para elevar la temperatura. La restricción de la ventilación también favorece el desarrollo de humedad (encima de 85%), que es esencial para el proceso de curado. Se deben mantener estas condiciones durante 7 a 15 días.

Las condiciones para el curado también favorecen el desarrollo de numerosas enfermedades, particularmente de la pudrición blanda bacteriana. Nuevamente, es necesaria una selección cuidadosa, así como mucha atención para evitar que la temperatura de la papa supere los 20 °C. Inmediatamente después del período de curado hay que reducir la

temperatura a la necesaria para mantenimiento. No se debe hacer el curado si la cosecha se ha efectuado bajo condiciones de bastante humedad o se sospecha que tiene una cantidad significativa de tubérculos infectados con bacterias.

## Mantenimiento

Al final del curado, se debe reducir la temperatura de la papa a la de mantenimiento conveniente. La selección de esta temperatura depende en gran medida de la duración del almacenamiento, la utilización final de los tubérculos y de las variedades que se almacenan. Las variaciones de las temperaturas comunes de mantenimiento se muestran en el cuadro adjunto.

Temperaturas de mantenimiento comunes de almacenamiento

Temperatura (°C)	Tipo de papa	Tiempo
8 a 10	Consumo	1 a 3 meses
4 a 7	Consumo	Larga duración
10	Procesamiento	1 a 3 meses
7 a 8	Procesamiento	Larga duración
5 a 12	Semilla	1 a 3 meses
2 a 4	Semilla	Larga duración

Una vez que la temperatura está al nivel buscado, se debe reducir la ventilación al mínimo necesario para mantener esta temperatura y, en el caso de la papa almacenada a granel, para mantener el diferencial de temperatura del montón tan bajo como sea posible. La humedad relativa debe ser mantenida también a 90% durante el período de mantenimiento, para reducir la pérdida por evaporación de la humedad de la papa.

El almacenamiento a largo plazo entre 4 y 7 °C de la papa para consumo y entre 7 y 8 °C de la papa para procesamiento requiere el uso de inhibidores de brotación. Se necesita mucha habilidad y experiencia para obtener éxito con el empleo de esos productos químicos. Los métodos de aplicación y las prácticas de manejo varían de acuerdo con las dosis que se emplean en la localidad, los diseños de los sistemas de ventilación y de los almacenes, y los ambientes interno y externo del almacenamiento.

La luz indirecta puede ser empleada en

algunos casos en lugar de las temperaturas bajas para controlar el excesivo crecimiento de los brotes en almacenamiento a largo plazo de tubérculo-semilla de papa. La luz natural indirecta puede emplearse en estructuras simples de bajo costo, las que son particularmente apropiadas para los pequeños agricultores.

Se debe hacer que la temperatura suba a 10 ó 15 °C antes de sacar los tubérculos de los almacenes, pues son más susceptibles a los daños mecánicos cuando se les manipula a bajas temperaturas.

Es necesario manipular los tubérculos con cuidado en todas las etapas del almacenamiento. La temperatura ha de cambiarse gradualmente, máximo un 1 °C por día. Dependiendo de la temperatura de los tubérculos en la cosecha, se necesitan 2 ó 3 semanas para enfriarlos a la temperatura de curado y 2 semanas más para la temperatura de mantenimiento. De manera similar, al finalizar el período de almacenamiento se necesitan alrededor de dos semanas para elevar la temperatura de la de mantenimiento a la de descarga. Con este tipo de administración se reducen los cambios fisiológicos y las pérdidas.

### Acondicionamiento

Los tubérculos almacenados a bajas temperaturas y sometidos a endulzamiento en frío deben pasar por un período de acondicionamiento si van a ser destinados al mercado de procesamiento. Se puede revertir el proceso manteniendo los tubérculos durante 2 a 3 semanas a una temperatura entre 15 y 20 °C. Este proceso comprende la reconversión de algunos de los azúcares libres a almidón y el consumo de algunos azúcares en el proceso de respiración, dando por resultado la disminución del contenido de azúcar. Sin embargo, el reacondicionamiento rara vez es total y tiende a hacerse irregular. El endulzamiento por temperatura baja no debe ser confundido con el endulzamiento por senescencia, pues éste no puede modificarse en la forma indicada, y más bien aumenta con esas temperaturas altas.

### Desbrotamiento y prebrotación

La administración diseñada para fomentar el desarrollo óptimo de los brotes de los tubérculos-semillas antes de la siembra, ten-

drá éxito sólo si la semilla puede ser sacada de los almacenes, manipulada y sembrada sin que los brotes hayan sido rotos o dañados. En la práctica, esto significa que esos métodos son efectuados sólo por el último receptor del tubérculo-semilla, el agricultor que piensa sembrarla. La administración exacta de las temperaturas de los almacenes y de la luz debe ser determinada de acuerdo con el período de reposo, la dominancia apical y las características del crecimiento de los brotes de las variedades que se utilizan.

## PRACTICAS DE ADMINISTRACION

La administración exitosa de un sistema de almacenamiento incluye seguimiento y control del ambiente del almacenamiento. La temperatura y la humedad relativa deben ser controladas constantemente. Hay numerosos métodos alternativos que se pueden utilizar para esta finalidad.

### Seguimiento del control de la temperatura

Lo fundamental de la administración de los almacenes es el conocimiento de la temperatura del aire ambiental tanto del interior como del exterior del almacén. Las temperaturas exteriores pueden ser medidas con un termómetro simple de máxima y mínima, que se debe ubicar fuera de las influencias externas fuertes, como la luz directa del sol. Para medir la temperatura del aire que rodea a la papa (que rara vez varía más de medio grado de la temperatura interna de la papa) se pueden utilizar instrumentos de lectura directa o indicadores remotos de temperatura. Los termómetros de vidrio pueden emplearse para lectura directa, suspendiéndolos dentro de la pila de tubérculos, 400 a 500 mm debajo de la capa superior del montón. La manera de hacer esto es suspender el termómetro dentro de un tubo (una manguera de agua, por ejemplo) con un pedazo de hilo. Se sujeta el hilo en su posición con un corcho (Figura 49). El fondo del tubo se deja abierto. Se obtienen mejores resultados si el bulbo del termómetro se reviste con plastilina (o plasticina) u otro material similar para evitar cambios bruscos de temperatura cuando se le saca para la lectura. Emplear no menos de un termómetro por cada 50 t de papa. Una ventaja de este tipo de instrumento

Termómetro de mercurio/alcohol  
suspendido en un tubo

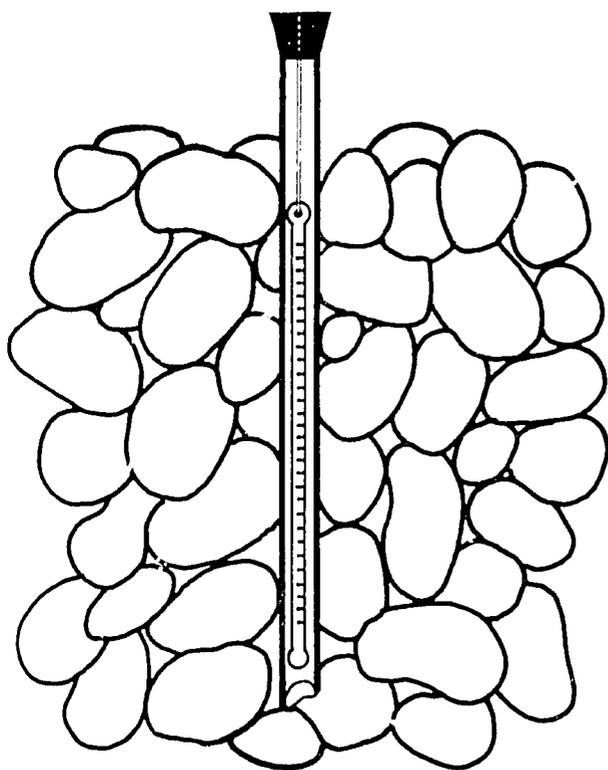


Figura 49. Termómetro simple de la temperatura (de: Control del Medio Ambiente, "Control of Environment", Segunda parte, Consejo de Comercialización de la Papa, Estación Experimental de Sutton Bridge, Informe N° 6, Londres).

de lectura directa es que la persona encargada ingrese a los almacenes, dando oportunidad para que aprecie el aspecto y el olor de la papa, dos indicadores importantes de la condición de la papa almacenada.

Los indicadores automáticos de las estaciones usan termosensores o termocapas para transmitir una señal eléctrica a un dispositivo visual en un punto de control conveniente dentro del almacén o adyacente a él. Estos artefactos son fácilmente colocados y utilizados en un almacén. Siempre deben emplearse algunos termómetros comunes de vidrio como refuerzo y comparación de la calibración.

La parte más caliente de un montón o apilamiento de papa está de 400 a 500 mm debajo de la superficie más alta. Esta temperatura siempre debe ser controlada. Los datos de diferentes niveles son útiles para determinar los gradientes de la temperatura del apilamiento y para señalar los "puntos calientes" localizados.

La descomposición de los tubérculos debida al ataque de bacterias, como por ejemplo la pudrición blanda, está acompañada invariablemente por un marcado aumento de temperatura. El reconocimiento a tiempo de esta situación ayuda al control de la papa removiendo las afectadas o tal vez aumentando la ventilación para prevenir que se extienda la pudrición.

### Seguimiento del control de la humedad

El método más simple, y probablemente el más confiable, consiste en el uso de un termómetro de bulbo húmedo y seco, como, por ejemplo, de un psicrómetro, dentro de un cabestrillo u operado por una batería. El enfriamiento que produce el agua que se evapora de una manga de tela que rodea el bulbo del termómetro húmedo proporciona una lectura de temperatura y la diferencia entre ésta y la lectura del bulbo seco, proporciona una cifra que permite, con la ayuda de tablas psicrométricas, calcular la humedad relativa, el punto de rocío o la presión de vapor. En los almacenes de papa, donde la humedad relativa debe pasar de 70%, no es aceptable el uso de higrómetros de algodón o de cabello, de simple dilatación/contracción, pues no son exactos en el extremo alto de la escala.

### Control de la temperatura

El funcionamiento de las aberturas externas o ventiladores y recirculadores de aire puede ser manual, semiautomático o completamente automático. El funcionamiento manual o semiautomático requiere buena administración y habilidad de pronóstico y es a menudo inconveniente, porque gran parte de la ventilación ocurre en la noche. De otro lado, la automatización supone equipos relativamente complejos, que deben ser bien conocidos y mantenidos. Sin embargo, el costo de las instalaciones automáticas puede ser pequeño en comparación con el costo de los almacenes refrigerados, o con ventilación forzada, o con el valor de la cosecha en los almacenes. El elemento principal para el control automático es un termostato diferencial. Este instrumento, en su forma más simple, tiene dos sondas sensibles de temperatura una de las cuales se coloca fuera del almacén y mide la

temperatura del aire ambiental y la otra se ubica en el interior del almacén para medir la temperatura del montón o apilamiento de papa.

Basándose en una temperatura diferencial preestablecida (de ordinario de 2 a 3 °C) un circuito cierra el termostato que conecta el ventilador. Si hay posibilidad de que ocurran temperaturas ambientales de congelamiento, se necesitará un dispositivo anticongelante. Para los almacenes grandes se pueden utilizar termostatos electrónicos diferenciales, con los que se pueden obtener lecturas de temperaturas en múltiples puntos. Los sistemas de control pueden ser proyectados para satisfacer virtualmente cualquier necesidad pero no se les puede tener como sustituto de una buena administración.

### Control de humedad

La humidificación artificial periódica del aire, si es necesaria, se justifica como respuesta a un sistema completamente automático de seguimiento y control. El control manual o el acoplamiento automático entre los sistemas de humidificación y los ventiladores pueden, excepto en condiciones muy específicas, permitir fácilmente que se sature el aire, con aumento del riesgo de pudrición de la papa almacenada.

Bajo circunstancias normales, se debe considerar a la temperatura como factor prepon-

derante de la administración. No obstante, si la humedad relativa es extremadamente baja, se cuidará de evitar la deshidratación. Existiendo esas condiciones, la humedad del aire de ventilación debe ser incrementada.

### FASE POSTERIOR AL ALMACENAMIENTO

Para que tenga éxito la etapa de almacenamiento en un sistema, la administración debe tener acceso a información del mercado, y la habilidad suficiente para responder a ella. La necesidad de respuesta inmediata a la información del mercado influye en la determinación del diseño y de la ubicación de los almacenes. Estos deben tener fácil acceso tanto a las áreas de producción como a los mercados que van a abastecer. Los almacenes diseñados y administrados en forma adecuada permiten que siempre se cumplan los principios de "lo primero que entra, lo primero que sale". En administración exitosa de los almacenes comerciales, los operadores deben tener transporte propio o fácilmente accesible para responder de inmediato a las necesidades del mercado. La información acerca de la influencia del sobreabastecimiento o subabastecimiento sobre los precios del mercado y sobre la demanda es también esencial para administrar el flujo de salida del "embalse" de túberculos.

# **ECONOMIA DEL ALMACENAMIENTO**

INTRODUCCION

INCREMENTO DE BENEFICIOS

COSTOS DE LA ESTRUCTURA

COSTOS DE ADMINISTRACION DEL ALMACEN

COSTOS DE CARGA Y DESCARGA

CARGO POR INTERESES

## INTRODUCCION

La función principal del almacenamiento de papa para consumo es cubrir a tiempo la brecha entre la cosecha y el consumo. Cuando la producción se concentra en una estación, el almacenamiento tiene el propósito de proporcionar papa a precios razonables a los consumidores durante todo el año. Cuando la producción es escalonada a través del año las necesidades de almacenamiento son mínimas.

No importa quién haga esta actividad (el agricultor, la cooperativa, el intermediario, o el gobierno) y no interesa cuán simple o complicada sea la tecnología que se emplee (montones, almacenes ventilados en forma natural, o almacenes que utilizan refrigeración), cualquier sistema de almacenamiento implica dinero. Aunque no se emplee estructura alguna, se pierden los intereses del dinero que está paralizado en la papa almacenada. Y si el almacén se emplea sólo parcialmente, o no se usa, su construcción y mantenimiento se suman al costo de todo el sistema de producción-almacenamiento-demanda. Cuando más

complejo es el almacén, más alta es la inversión, y se debe recordar que el sistema más complicado no es necesariamente el más efectivo.

En un sistema de producción de papa con una sola temporada de cultivo y sin almacenamiento, el precio de la papa en el mercado puede caer debajo de los costos de producción en el momento de la cosecha, pero subir mucho más después. Con el almacenamiento, el precio en la cosecha puede no estar por debajo de los costos, pero después, durante el año, no subirá tan alto como cuando no se efectuó el almacenamiento (Figura 50). El aumento de precio después de la cosecha puede o no compensar la inversión en el almacenamiento. El almacenamiento de papa no garantiza su rentabilidad, pero da al vendedor (agricultor o comerciante) una alternativa: una oportunidad para intentar posteriormente, si se desea, mayores utilidades.

Una creencia común es que toda la diferencia entre los precios recibidos por los productores de papa y los pagados por los consumidores constituyen utilidad para el interme-

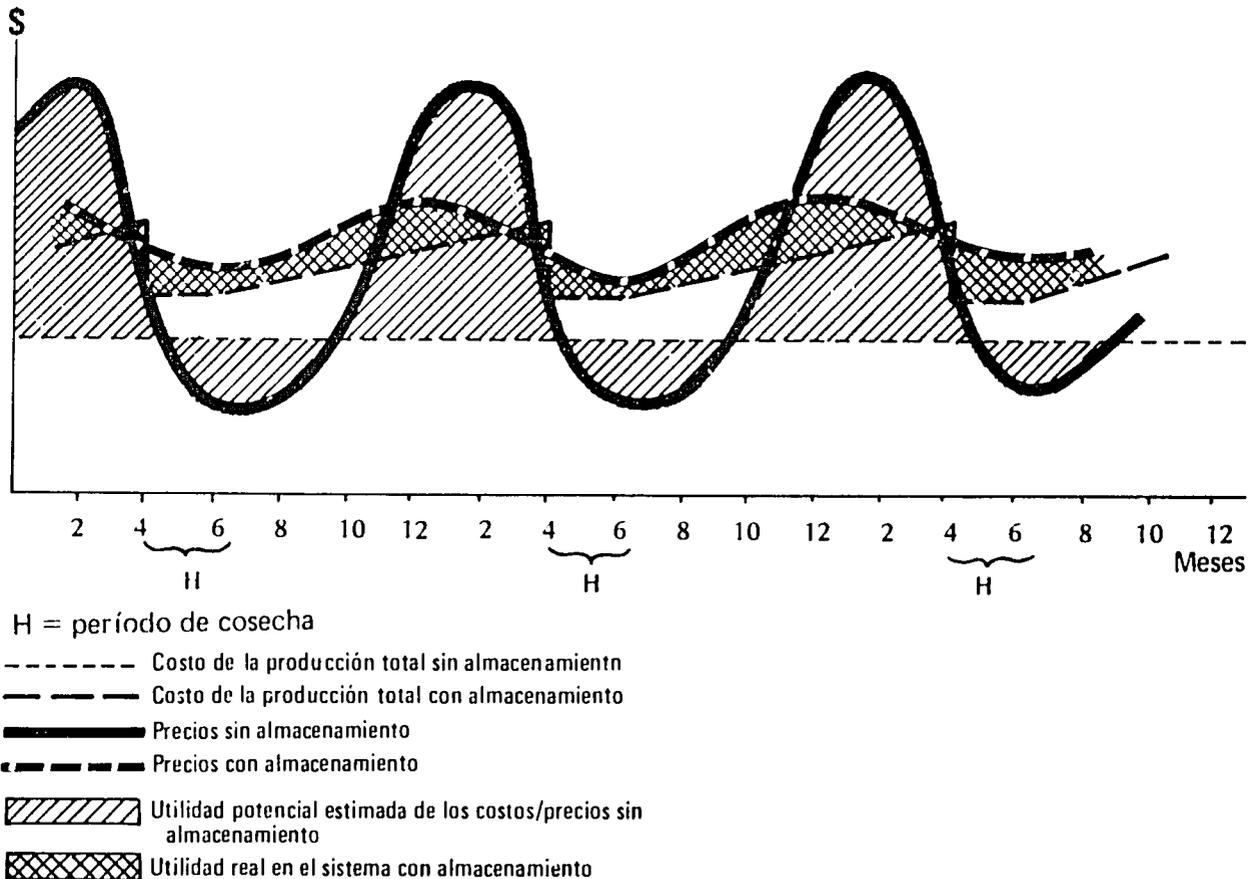


Figura 50. Efecto sobre los precios de la producción cíclica con y sin almacenamiento.

diario. Las fluctuaciones de precio por lo general se consideran como signos de imperfecciones del mercado y manipulaciones de los negociantes. Las agencias de mercadeo del gobierno y los esquemas de almacenamiento se establecen con frecuencia para proporcionar un canal alternativo de mercadeo, para reducir las diferencias y la inestabilidad de precios. Pero la experiencia con programas de los gobiernos para el almacenamiento de papa en gran escala no han sido promisorias. Muchos han tenido costos más altos que los de los canales particulares y han generado mayor inestabilidad de los precios.

En los siguientes párrafos se analiza el almacenamiento como una opción para los agricultores particulares o los comerciantes. Sin embargo, los mismos principios se pueden aplicar para los almacenes a cargo de cooperativas o del gobierno.

El agricultor individual puede vender toda su cosecha cuando sale del campo, almacenarla completa, o venderla y almacenarla en variadas proporciones. Además de la tecnología, los factores financieros que se deben considerar para la selección de las alternativas de almacenamiento incluyen la disponibilidad de capital de trabajo, de capital a largo plazo para inversión en sistemas de almacenamiento, y las tasas de retorno que la actividad produzca sobre el capital invertido.

Suponiendo, que no se practica el almacenamiento, el cambio esperado en las utilidades ( $\Delta U$ ) del almacenamiento se puede calcular restando del incremento esperado de los beneficios ( $\Delta B$ ) los costos de: estructura (E), administración o manejo del almacén (A), manejo (M), e interés (I).

$$\Delta P = \Delta B - E - A - M - I$$

### INCREMENTO DE LOS BENEFICIOS ( $\Delta B$ )

El cambio en el beneficio es la diferencia en valor del producto al inicio y al final del período de almacenamiento. En otras palabras, el incremento del beneficio ( $\Delta B$ ) del almacenamiento es igual al tonelaje que se saca del almacén ( $Q_2$ ) multiplicado por el valor promedio de la tonelada que sale del almacén ( $V_2$ ) menos el tonelaje colocado en el almacén ( $Q_1$ ) por su valor promedio ( $V_1$ ).

$$\Delta B = (Q_2 \times V_2) - (Q_1 \times V_1)$$

El incremento de los beneficios del almacenamiento de papa depende en gran medida de la situación total bajo la cual la papa ha sido cultivada, almacenada y comercializada. Para un avalúo exacto de los beneficios, el tonelaje colocado en el almacén y el extraído de él deben ser separados en varias categorías económicas tales como tubérculos para consumo, para alimentación animal, y desechables, cada una de las cuales tiene diferente precio o valor. Los siguientes ejemplos ilustran el cálculo del incremento de los beneficios del almacenamiento obtenido por el agricultor.

#### 1. Papa colocada en el almacén

Calidad	Cantidad	Precio unitario	Valor
Consumo humano	850	30	25 500
Alimentación animal	150	4	600
Desechables	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1 000</b>		<b>26 100</b>

#### 2. Papa sacada del almacén:

Calidad	Cantidad	Precio unitario	Valor
Consumo humano	750	40	30 000
Alimentación animal	150	5	750
Desechables	100	0	0
<b>Total</b>	<b>1 000</b>		<b>30 750</b>

$$\text{Cambio en los beneficios} = 30\,750 - 26\,100 = 4\,650$$

Tres factores principales influyen en los beneficios del almacenamiento: (1) incremento de precios, (2) pérdida de la calidad de la papa almacenada y (3) cantidades diferentes de papa para el consumo humano, para alimentación animal, y tubérculos malogrados colocados en el almacén y sacados de él. La calidad de consumo, y de alimentación animal y lo que se considera como pérdida de almacenamiento, varían de estación a estación y de una región a otra, y aun entre los diferentes grupos de agricultores en la región.

La idea que tiene un pequeño agricultor sobre las pérdidas de almacenamiento es probablemente diferente a la del agricultor que cultiva en gran escala, y lo que es aceptable para los consumidores varía según las estaciones y los lugares. Estas diferencias deben ser consideradas cuando se seleccionan los sistemas apropiados y económicos de almacenamiento. Se debe obtener información acerca de los precios de mercado y de las tendencias y patrones del precio anual. La estabilidad y posibilidad de predicción de estos esquemas afectan enormemente los riesgos del almacenamiento. La influencia de las prácticas de almacenamiento en las futuras variaciones del precio de mercado también deben preverse antes de calcular los beneficios potenciales del sistema de almacenamiento que se va a emplear. De manera similar, se necesita información sobre la sensibilidad de la relación entre los precios y la oferta. Para administrar con éxito el embalse del almacenamiento se debe conocer hasta qué punto el sobreabastecimiento y el subabastecimiento afectan los precios.

En general, la papa en buenas condiciones, y bien almacenada obtiene precios superiores al precio promedio del mercado. En los mercados donde los consumidores son más exigentes, la calidad de la papa influye enormemente en los precios. Una forma que ayuda a incrementar consistentemente las utilidades del almacenamiento es tener siempre como objetivo sacar al mercado tubérculos de alta calidad. Ello exige conocimiento de las diferentes calidades que demandan los consumidores.

Por ejemplo, las enfermedades que deforman la papa, como la costra plateada, que afecta el aspecto de los tubérculos, puede tener pequeña importancia económica en los mercados tradicionales, pero mucha trascendencia en los mercados más exigentes, especialmente donde la papa se vende lavada y empaçada en bolsas transparentes. Lo contrario puede ocurrir con las cualidades culinarias de la papa, que con frecuencia son más importantes en los mercados tradicionales.

El porcentaje de la papa para consumo, que sale de los almacenes varía con dos factores: (1) el porcentaje de papa para consumo que fue almacenado, y, (2) la pérdida de la calidad durante el almacenamiento de los tubérculos para consumo humano. El primer factor está afectado enormemente por el nivel de la clasificación y selección antes del alma-

cenamiento. Los factores que contribuyen a las pérdidas durante el almacenamiento han sido tratados anteriormente en esta publicación. La pérdida mínima de los tubérculos con calidad de consumo humano varía de 5 a 15%, aun cuando hayan estado en buenos almacenes y con apropiada administración. Esta pérdida será mayor si no se tiene cuidado de evitar los daños y si las condiciones de almacenamiento y administración son deficientes. Es obvio que si el precio de la papa para consumo humano tiene precios altos, la pérdida de una determinada cantidad de papa de consumo representará una pérdida financiera mayor que con precios más bajos.

### COSTOS DE LA ESTRUCTURA

Los costos de la estructura pueden ser divididos entre inversión de capital y costos de mantenimiento anual de las estructuras. Algunos tipos de almacenes simples, como los montones o los hoyos, exigen muy poca o ninguna inversión de capital fijo. La modificación de los edificios existentes en el campo para utilizarlos como almacenes de papa necesita muy poca inversión, pero tiene gastos anuales relativamente altos en algunos artículos como paja para aislamiento. Los almacenes especialmente construidos, particularmente los almacenes a granel, requieren mayor inversión a largo plazo y menor gasto anual.

Además del nivel de inversión de capital es importante considerar también el tipo de éste. Los almacenes que demandan una inversión fija considerable requieren una visión confiable de la rentabilidad a largo plazo de cultivar y almacenar papa. Los almacenes que demandan tan sólo inversión a corto plazo dan oportunidad a los agricultores para almacenar o no su cosecha, de acuerdo con la producción y la condiciones del mercado.

El empleo de edificios ya existentes limita el tipo y tamaño del almacén, el tipo de su administración o manejo y los sistemas de carga y descarga. Los costos anuales de estructuras pueden comprender artículos como paja para aislamiento, ductos de ventilación, polietileno, cajones y mano de obra. Cuando se calculan los costos de mano de obra, los "costos de oportunidad" deben estimarse sobre las bases de la familia campesina integral. En algunos casos, cuando el agricultor tiene otras actividades importantes de trabajo, el salario

promedio en el área puede estar muy por debajo de los costos de oportunidad, y lo contrario puede ocurrir con la mano de obra empleada en forma permanente durante los períodos de menos trabajo. Así, la programación integral de las operaciones de la familia campesina es muy importante para mantener bajos los costos de oportunidad de la mano de obra.

### **COSTOS DE ADMINISTRACION DEL ALMACEN**

Los costos de la administración o manejo del almacén tienden a subir con el grado de complejidad del sistema de ventilación. Para los montones simples en el campo, los costos de administración, tanto fijos como variables son bajos. Los almacenes más complicados o con más detalles, que emplean recirculación de aire enfriado, tienen altos costos fijos y variables por la provisión, el mantenimiento y funcionamiento del equipo necesario. A medida que aumenta el grado de complejidad, también aumenta la destreza en la administración y el mantenimiento necesarios para manejar los sistemas. La disponibilidad y los costos de estas destrezas deben ser considerados siempre en la planificación y elaboración de presupuestos de las operaciones de almacenamiento.

### **COSTO DE CARGA Y DESCARGA**

Los costos de carga y descarga incluyen los costos de oportunidad de la mano de obra y el capital, los costos de operación y de mantenimiento del equipo esencial. Cuando se usa equipo mecanizado, el factor principal que afecta los costos es la cantidad de papa movilizada por este equipo. Por ejemplo, para la papa almacenada en cajones, dos cajones de media tonelada cuestan más que uno de una tonelada y duplican el trabajo para su manipulación.

### **CARGOS POR INTERESES**

Los cargos por interés de todo el capital empleado en los sistemas de almacenamiento de papa deben ser incluidos en el avalúo financiero del sistema. Es relativamente pequeño el capital de trabajo a corto plazo que está comprometido en las estructuras de almacenamiento, administración del almacén, car-

ga y descarga, pero se incrementará de manera general con la complejidad de los edificios y del equipo empleado. El valor de la papa almacenada es de mayor importancia cuando se almacenan grandes cantidades. Así, el interés que se hubiera obtenido del dinero recibido de la venta inmediata de la cosecha debería ser considerado como un costo de oportunidad. Cuando se trata de productores muy pequeños, con frecuencia la oportunidad de la disponibilidad de efectivo es más importante que el factor interés y en numerosas situaciones puede ser un factor determinante en la decisión de almacenar o no.

Cuando la papa ha sido colocada en el almacén, la mayor parte de los costos ya ha tenido lugar. Por ello, es mejor almacenar la papa por el tiempo más largo posible siempre y cuando los gastos de funcionamiento, los cargos por interés y el aumento de las pérdidas de los tubérculos sean compensados y superados por los aumentos de los precios del mercado.

Para que tenga éxito la administración de los almacenes comerciales, los administradores deben tener adecuada información del movimiento de los precios y las condiciones de oferta y demanda en su mercado. Los administradores también deben tener su propio medio de transporte o fácil acceso a él para conducir oportunamente al mercado las cosechas almacenadas. Además, deben conocer hasta qué punto el sobreabastecimiento o el déficit influyen en los precios del mercado. La amplia gama de sistemas de abastecimiento de papa, más o menos adecuados técnicamente para una situación dada, hace posible seleccionar un sistema para hacer óptimo uso del capital disponible y de la capacidad administrativa.

Lo expuesto anteriormente pone en relieve que cualquier sistema de almacenamiento, por más simple que sea, cuesta dinero. Cuando se necesita almacenamiento, para atender las necesidades de consumo, los consumidores o sus proveedores deben estar preparados para pagar los costos del sistema de almacenamiento que son necesarios para cubrir los vacíos de la producción estacional y proporcionar un necesario incentivo de utilidad.

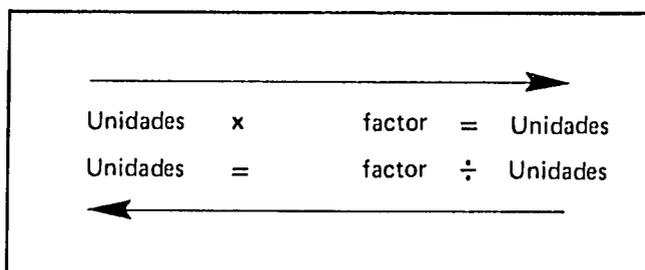
En el Apéndice A6 se da un ejemplo de metodología para evaluar un sistema mejorado de almacenamiento de tubérculo-semilla por comparación con las prácticas tradicionales de los agricultores.

# APENDICES

- A1. FACTORES DE CONVERSION
- A2. AISLAMIENTO Y AISLAMIENTO/CONDENSACION
- A3. CARTAS PSICROMETRICAS
- A4. EQUIPO DE REFRIGERACION
- A5. PLAGAS, ENFERMEDADES Y DESORDENES  
EN LA POSCOSECHA
- A6. EVALUACION DE LOS ALMACENES  
DE TUBERCULO-SEMILLA EN FINCAS

# FACTORES DE CONVERSION

## Apéndice 1



### Longitud

pulgada	2,54	centímetros (cm)
pie	30,5	centímetros (cm)
yarda	0,914	metros (m)
milla	1,61	kilómetros (km)

### Superficie

pulgada cuadrada	6,45	centímetros cuadrados (cm <sup>2</sup> )
pulgada cuadrada	0,0929	metros cuadrados (m <sup>2</sup> )
yarda cuadrada	0,836	metros cuadrados (m <sup>2</sup> )
milla cuadrada	2,59	kilómetros cuadrados (km <sup>2</sup> )
acre (4840 yd. cd.)	0,405	hectárea (ha)

### Peso/superficie

cwt*/acre	112,2	kg/ha
tonelada/acre	2,23	tonelada/ha (t/ha)

### Densidad

libra/pie cúbico	16,02	kg/metro cúbico (kg/m <sup>3</sup> )
------------------	-------	--------------------------------------

### Velocidad

pie/segundo	0,305	metros/segundo (m/s)
pie/minuto	0,0051	metros/segundo (m/s)
milla/hora	1,61	kilómetro/hora (km/hr)

### Flujo

pie cúbico/segundo	0,028	metros cúbicos/segundo (m <sup>3</sup> /s)
pie cúbico/minuto	1,70	metros cúbicos/hora (m <sup>3</sup> /hr)

### Volumen

pulgada cúbica	16,4	centímetros cúbicos (cm <sup>3</sup> )
pie cúbico	28,4	decímetros cúbicos (dm <sup>3</sup> )
yarda cúbica	0,765	metros cúbicos (m <sup>3</sup> )
galón (U.S.)	3,78	decímetros cúbicos (dm <sup>3</sup> )
galón (imperial)	4,55	decímetros cúbicos (dm <sup>3</sup> )

### Peso

onza	28,4	gramos (g)
libra	0,454	kilogramos (kg)
tonelada (2 000 lb)	0,908	toneladas (t)

### Temperatura

(°F - 32)	x	0,56	Grados Celsius (°C)
(°C x 1,8)	+ 32		Grados Fahrenheit (°F)

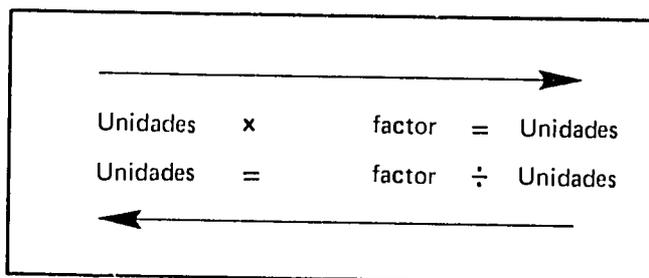
### Calor

kilocaloría	4 187	julios (J)
kilocaloría x 3,97 = BTU		B
Unidad Térmica Británica (BTU)	1 055	julios (J)
caballo de fuerza/hora	2,685	megajulios (MJ)
kilovatio/hora	3,6	megajulios (MJ)

### Flujo de calor

kilocaloría/hora	1,163	julios/segundo (J/s)
BTU/hora = 0,252 kcal/hr		
BTU/hora	0,293	julios/segundo (J/s)
caballo de fuerza	746	julios/segundo (J/s)

\* cwt = 50,8 kg



**Refrigeración**

“refrigeración/ tonelada”	3 516 julios/segundo (vatios) (J/s = V)
	12 000 BTU/hora
	12 658 kilojulios/hora (kJ/hr)

**Aislamiento**

valores (k)	
$\frac{\text{BTU} \times \text{pulgada}}{\text{pie} \times \text{hr} \times \text{°F}}$	$\frac{0,144 \text{ julios}}{\text{seg} \times \text{m} \times \text{°C}}$

valor (U)	
$\frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \times \text{hr} \times \text{°F}}$	$\frac{5,68 \text{ julios}}{\text{seg} \times \text{m}^2 \times \text{°C}}$

**Contenido de calor**

$\frac{\text{BTU}}{\text{libra}}$	$\frac{2 236 \text{ julios}}{\text{kilogramo}}$
$\frac{\text{BTU}}{\text{libra}}$	$\frac{0,56 \text{ kilocalorías}}{\text{kilogramo}}$

**Luz/radiación**

pie candela	0,108 lux
$\frac{\text{lumen}}{\text{pie cuadrado}}$	0,108 lux
$\frac{\text{vatio}}{\text{metro cuadrado}}$	$\frac{0,317 \text{ BTU}}{\text{pie}^2 \times \text{hr}}$

## AISLAMIENTO

### Apéndice 2

	(k)	Espesor para	
	$\frac{\text{kJ}}{\text{hrxm}^2 \times ^\circ\text{C}}$	$U = \frac{2,2 \text{ kJ}}{\text{hrxm}^2 \times ^\circ\text{C}}$	$U = \frac{5,8 \text{ kJ}}{\text{hrxm}^2 \times ^\circ\text{C}}$
Uretano	0,09	0,04 m	0,16 m
Poliestireno	0,12	0,05	0,021
Fibra de vidrio	0,14	0,06	0,024
Aserrín	0,29	0,13	0,05
Espacio de aire	0,43	0,20	0,07
Madera prensada	0,50	0,23	0,09
Madera dura	0,54	0,25	0,09
Bloques de cartón	0,86	0,39	0,15
Adobe	1,8	0,82	0,31
Ladrillo	2,6	1,2	0,45
Concreto	4,7	2,1	0,81
Arenisca	4,7	2,1	0,81
Granito	9,0	4,1	1,6

Las capas límites entre el aire y la pared deben ser tomadas en cuenta cuando se calculan los valores de (U), transmitancia térmica de las paredes del almacén.

$$\text{Para las paredes interiores (R)} = \frac{0,061 \text{ hr} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{kJ}}$$

Para las paredes exteriores:

$$\text{Aire sin movimiento (R)} = \frac{0,033 \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{kJ}}$$

$$\begin{aligned} \text{Viento, } 5 \text{ m/s} &= 0,009 \\ 10 \text{ m/s} &= 0,005 \\ 15 \text{ m/s} &= 0,004 \\ 20 \text{ m/s} &= 0,003 \end{aligned}$$

#### NOTAS:

1. El espesor de los materiales para aislamiento no considera estas capas de aire límites. Por ello, el espesor calculado será ligeramente más pequeño cuando se toman en consideración estas capas.
2. Estos son los valores promedios. Los valores de diferentes fuentes varían.

Las capas límites aire-pared, deben ser tomadas en cuenta cuando se calculan los valores de (U); transmitancia térmica, de las paredes de un almacén. La exposición al viento puede anular la validez de los valores de (U) calculados, particularmente en los casos de edificios no muy bien aislados. Esto quiere decir que la exposición del lugar de los almacenes de papa debe ser tomada en consideración cuando se determinan los niveles de

aislamiento. La estación meteorológica de la localidad puede dar información de ayuda para estos cálculos.

$$\text{Para las paredes interiores : (R)} = \frac{0,061 \text{ hr} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{kJ}}$$

Para las paredes exteriores: (R) tiene los siguientes valores,

Viento paralelo a la superficie	Naturaleza de la superficie		
	Madera	Concreto	Ladrillo
Aire sin movimiento	0,033	0,033	0,033
5 m/s	0,009	0,007	0,006
10 m/s	0,005	0,004	0,003
15 m/s	0,004	0,003	0,002
20 m/s	0,003	0,002	0,002

## AISLAMIENTO/CONDENSACION

El control de las pérdidas por evaporación en la papa almacenada necesita un déficit mínimo de presión de vapor de la atmósfera de almacenamiento. Por lo general una HR de 98% proporciona condiciones de equilibrio sin pérdida de peso por evaporación. La consecuencia de mantener esa humedad relativa alta es que el punto de rocío está con frecuencia por encima de la temperatura del aire ambiental exterior. Bajo estas condiciones puede haber condensación en la cara interna de las paredes del almacén y en el techo. Si esta condensación cae sobre la papa se corre el peligro de que las enfermedades se propaguen rápidamente.

La siguiente tabla proporciona los valores (U) que se requieren para evitar este riesgo de condensación:

$$\text{Valores de (U)} = \frac{\text{kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}} \text{ que se requieren para vencer la condensación}$$

Porcentaje de HR	Diferencia máxima de temperatura		
	16,5 °C	22,0 °C	28,0 °C
80	7,2	5,5	4,3
85	5,3	4,1	3,3
90	2,4	1,6	1,4

Esta Tabla muestra que cuando la temperatura del aire del almacén de papa es aproximadamente  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una temperatura exterior de  $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa del aire dentro del almacén es 90%, se necesita un valor (U) de  $2,4\text{ kJ/hr/m}^2/^{\circ}\text{C}$  para prevenir la condensación. En la práctica, los puentes fríos en la estructura son un problema, ya que forman puntos focales donde tiene lugar la condensación y cae sobre las papas. Se debe tener gran cuidado durante la construcción para garantizar la continuidad del aislamiento, especialmente en las uniones, los elementos principales del marco y los amarres. En realidad la mayoría de las estructuras nunca previenen completamente la condensación, y se emplea una capa de paja para recubrir la superficie de la papa a fin de que absorba la condensación que se ha formado y caído sobre el montón.

Las diferencias de temperatura en los almacenes ventilados en forma natural en los países de la zona tórrida son generalmente de pocos grados y de ordinario no se produce la condensación. Cuando se usa refrigeración mecánica se debe proveer adecuado aislamiento, protegido en ambos lados con una barrera de vapor, para reducir el riesgo de la condensación.

## **CARTAS PSICROMÉTRICAS**

### **Apéndice**

Página 94. Presión barométrica 101 325 kPa, al nivel del mar (0 m de altitud)

Página 95 Presión barométrica 92 600 kPa, 750 m de altitud

Página 96 Presión barométrica 84 600 kPa, 1 500 m de altitud

Página 97 Presión barométrica 77 100 kPa, 2 250 m de altitud

Página 98 Presión barométrica 70 100 kPa, 3 000 m de altitud

**(Cartas reproducidas con autorización.)**



**CARTA PSICROMETRICA**

**TEMPERATURAS NORMALES**

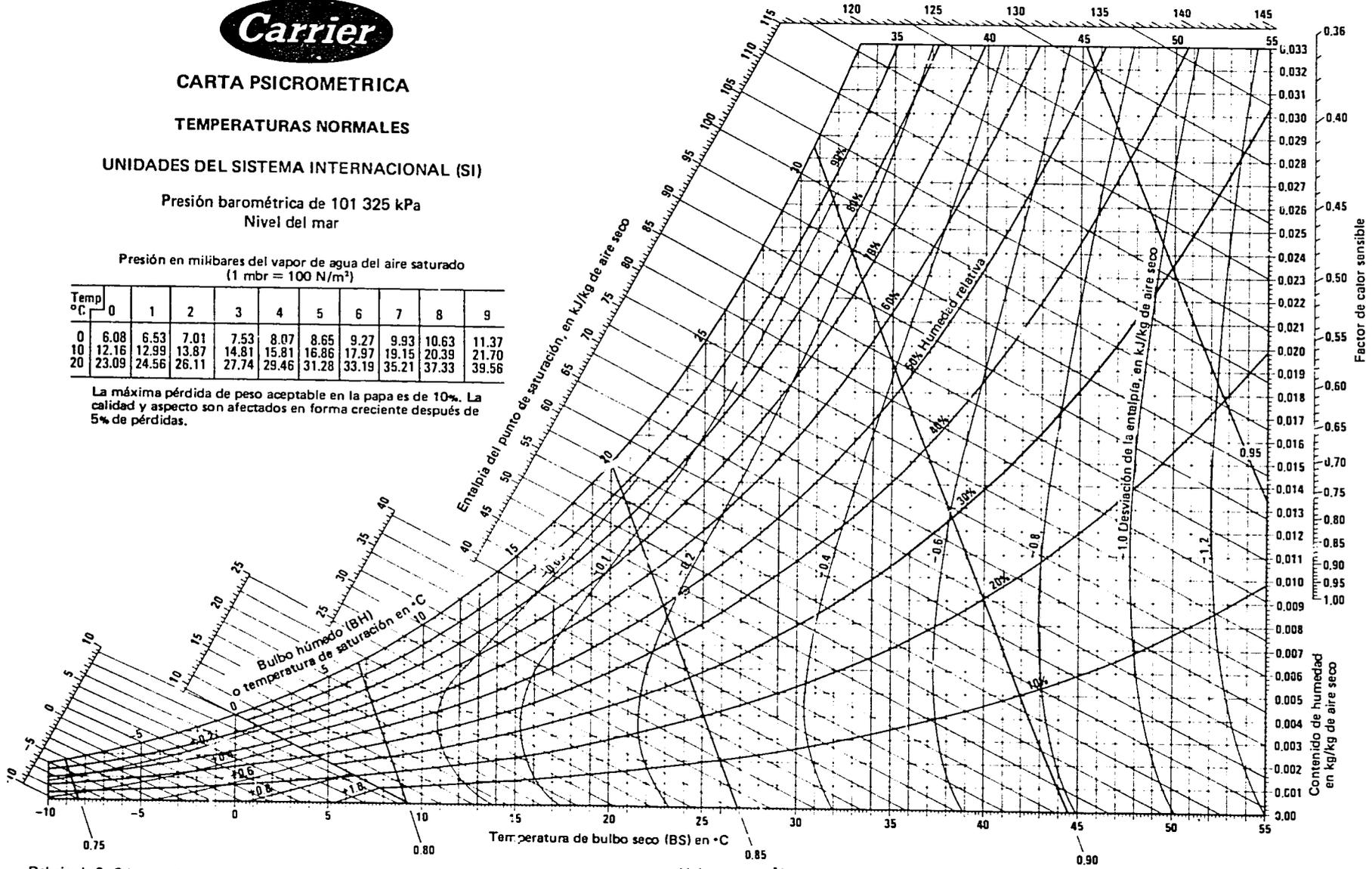
UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL (SI)

Presión barométrica de 101 325 kPa  
Nivel del mar

Presión en milibares del vapor de agua del aire saturado  
(1 mbr = 100 N/m<sup>2</sup>)

Temp °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	6.08	6.53	7.01	7.53	8.07	8.65	9.27	9.93	10.63	11.37
10	12.16	12.99	13.87	14.81	15.81	16.86	17.97	19.15	20.39	21.70
20	23.09	24.56	26.11	27.74	29.46	31.28	33.19	35.21	37.33	39.56

La máxima pérdida de peso aceptable en la papa es de 10%. La calidad y aspecto son afectados en forma creciente después de 5% de pérdidas.



Debajo de 0 °C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para hielo

Volumen en m<sup>3</sup>/kg de aire seco



# CARTA PSICROMETRICA

## TEMPERATURAS NORMALES

UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL (SI)

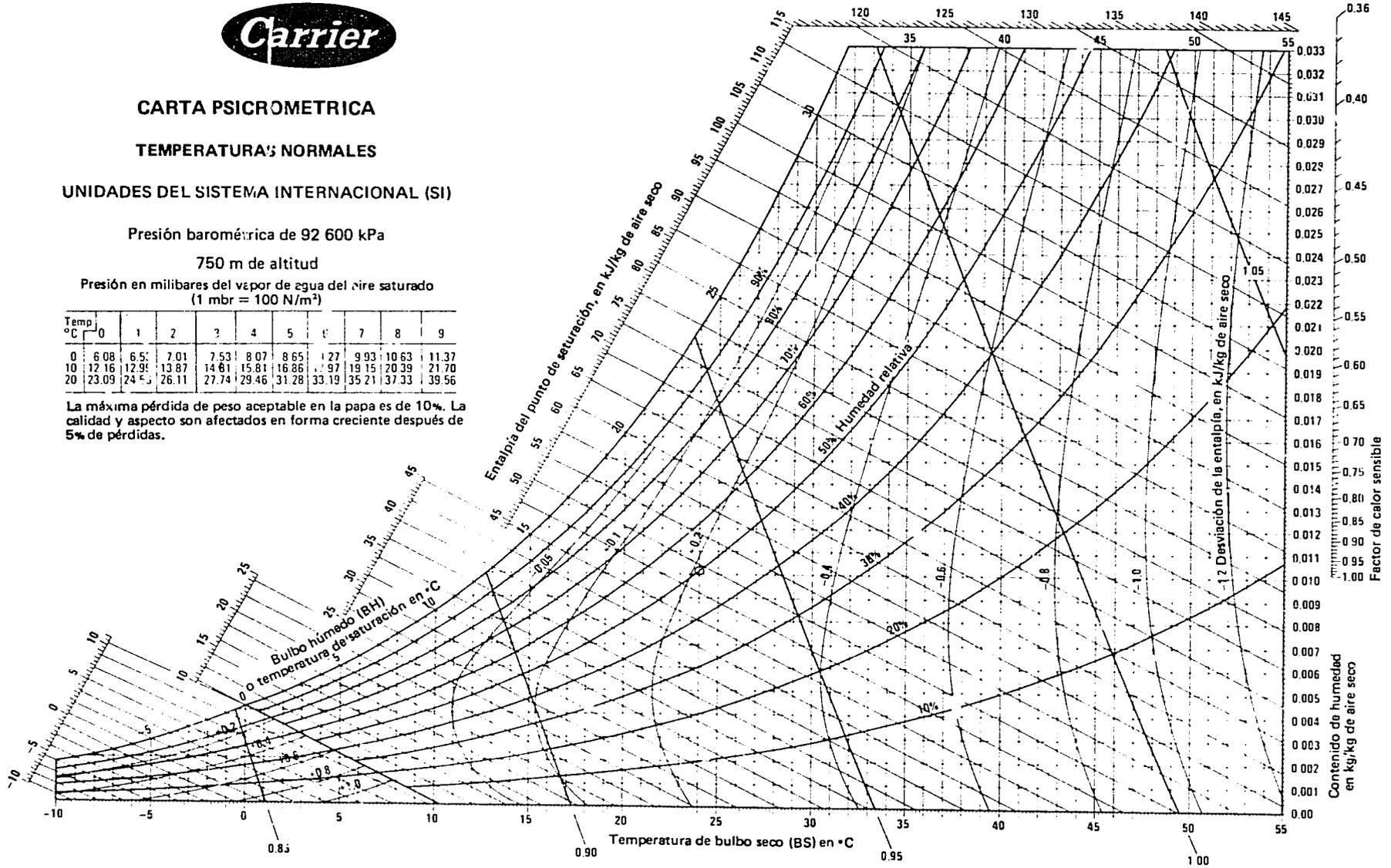
Presión barométrica de 92 600 kPa

750 m de altitud

Presión en milibares del vapor de agua del aire saturado  
(1 mbr = 100 N/m<sup>2</sup>)

Temp °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	6.08	6.5	7.01	7.53	8.07	8.65	9.27	9.93	10.63	11.37
10	12.16	12.95	13.87	14.81	15.81	16.86	17.97	19.15	20.39	21.70
20	23.09	24.5	26.11	27.74	29.46	31.28	33.19	35.21	37.33	39.56

La máxima pérdida de peso aceptable en la papa es de 10%. La calidad y aspecto son afectados en forma creciente después de 5% de pérdidas.



Debajo de 0 °C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para hielo

Volumen en m<sup>3</sup>/kg de aire seco

Copyright Carrier Corporation 1975  
Cat. No. 794 006 Printed in U.S.A



**CARTA PSICROMETRICA**  
**TEMPERATURAS NORMALES**

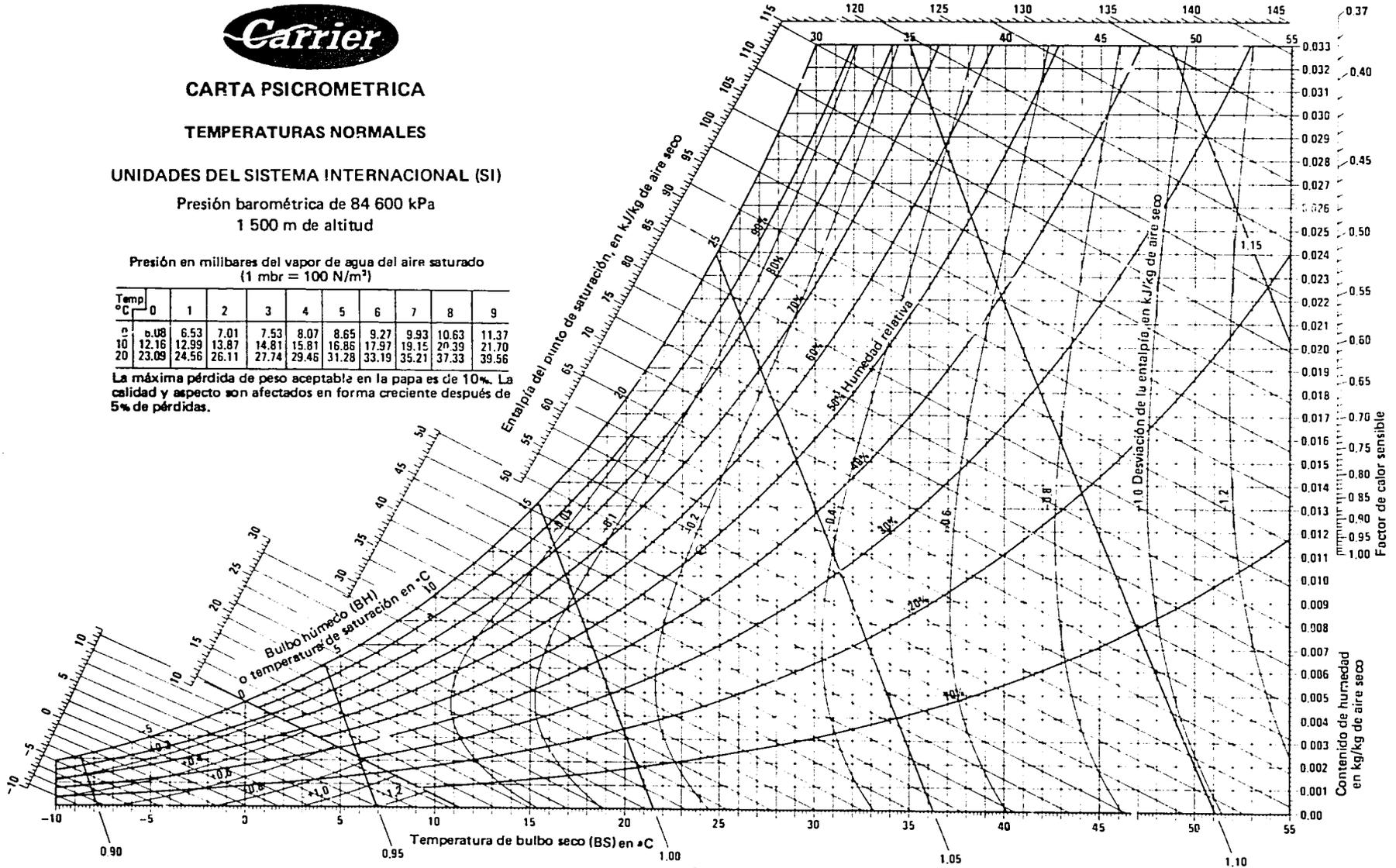
UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL (SI)

Presión barométrica de 84 600 kPa  
 1 500 m de altitud

Presión en milibares del vapor de agua del aire saturado  
 (1 mbr = 100 N/m<sup>2</sup>)

Temp °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>p</i>	0.08	6.53	7.01	7.53	8.07	8.65	9.27	9.93	10.63	11.37
10	12.16	12.99	13.87	14.81	15.81	16.86	17.97	19.15	20.39	21.70
20	23.09	24.56	26.11	27.74	29.46	31.28	33.19	35.21	37.33	39.56

La máxima pérdida de peso aceptable en la papa es de 10%. La calidad y aspecto son afectados en forma creciente después de 5% de pérdidas.



Debajo de 0 °C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para hielo Volumen en m<sup>3</sup>/kg de aire seco



# CARTA PSICROMETRICA

## TEMPERATURAS NORMALES

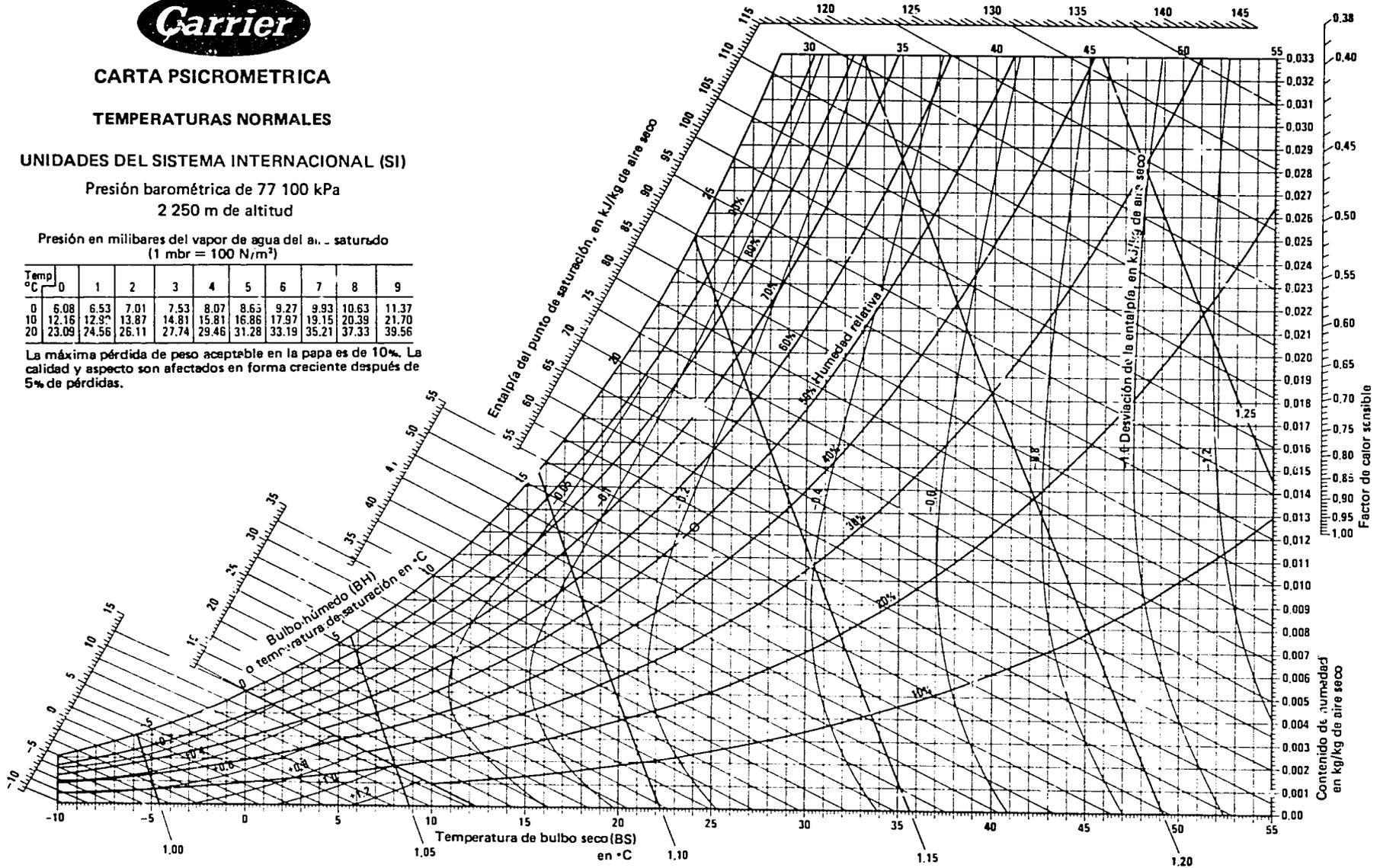
### UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL (SI)

Presión barométrica de 77 100 kPa  
2 250 m de altitud

Presión en milibares del vapor de agua del a. saturado  
(1 mbr = 100 N/m<sup>2</sup>)

Temp °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	6.08	6.53	7.01	7.53	8.07	8.65	9.27	9.93	10.63	11.37
10	12.16	12.93	13.87	14.81	15.81	16.86	17.97	19.15	20.39	21.70
20	23.09	24.56	26.11	27.74	29.46	31.28	33.19	35.21	37.33	39.56

La máxima pérdida de peso aceptable en la papa es de 10%. La calidad y aspecto son afectados en forma creciente después de 5% de pérdidas.



Debajo de 0 °C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para hielo

Volumen en m<sup>3</sup>/kg de aire seco

Copyright ©Carrier Corporation 1975  
Cat. No. 794-008 Printed in U.S.A.



**CARTA PSICROMETRICA**

**TEMPERATURAS NORMALES**

**UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL (SI)**

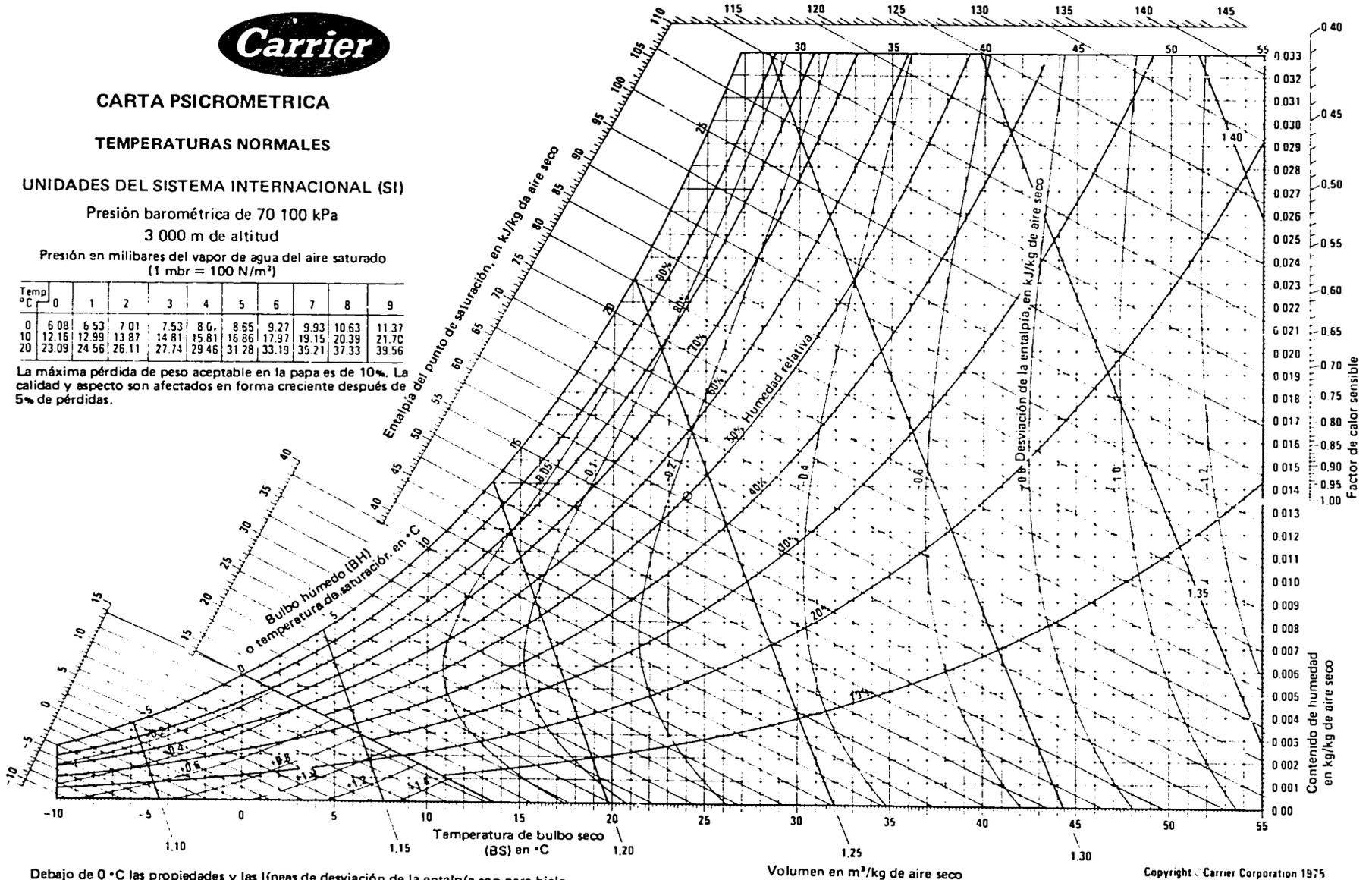
Presión barométrica de 70 100 kPa

3 000 m de altitud

Presión en milibares del vapor de agua del aire saturado  
(1 mbr = 100 N/m<sup>2</sup>)

Temp °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	6.08	6.53	7.01	7.53	8.0	8.65	9.27	9.93	10.63	11.37
10	12.16	12.99	13.87	14.81	15.81	16.86	17.97	19.15	20.39	21.70
20	23.09	24.56	26.11	27.74	29.46	31.28	33.19	35.21	37.33	39.56

La máxima pérdida de peso aceptable en la papa es de 10%. La calidad y aspecto son afectados en forma creciente después de 5% de pérdidas.



Debajo de 0 °C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para hielo

## EQUIPO DE REFRIGERACION

### Apéndice 4

La refrigeración es el proceso que consiste en remover el calor del espacio de almacenamiento. La cantidad de refrigeración es la cantidad de calor removido. Las unidades de refrigeración que se emplean son vatios o Btu/hora. Otra unidad común es la de toneladas de refrigeración, en la que una tonelada de refrigeración = 3 516 vatios = 12 000 Btu/hr = 12 658 kJ/hr.

Los sistemas de refrigeración tienen cuatro componentes principales que funcionan en un ciclo cerrado (Figura 51): (1) compresor,

(2) condensador, (3) válvula de expansión, y (4) evaporador. Algunas veces los dos últimos funcionan como un solo componente.

El compresor comprime el vapor del refrigerante y lo envía al condensador, donde es enfriado para que cambie al estado líquido. El líquido refrigerante pasa a través de una válvula reguladora a un evaporador que está a presión menor. El refrigerante hierve bajo esta presión reducida, absorbiendo el calor del material que rodea al evaporador. El vapor regresa al compresor para empezar de nuevo el ciclo.

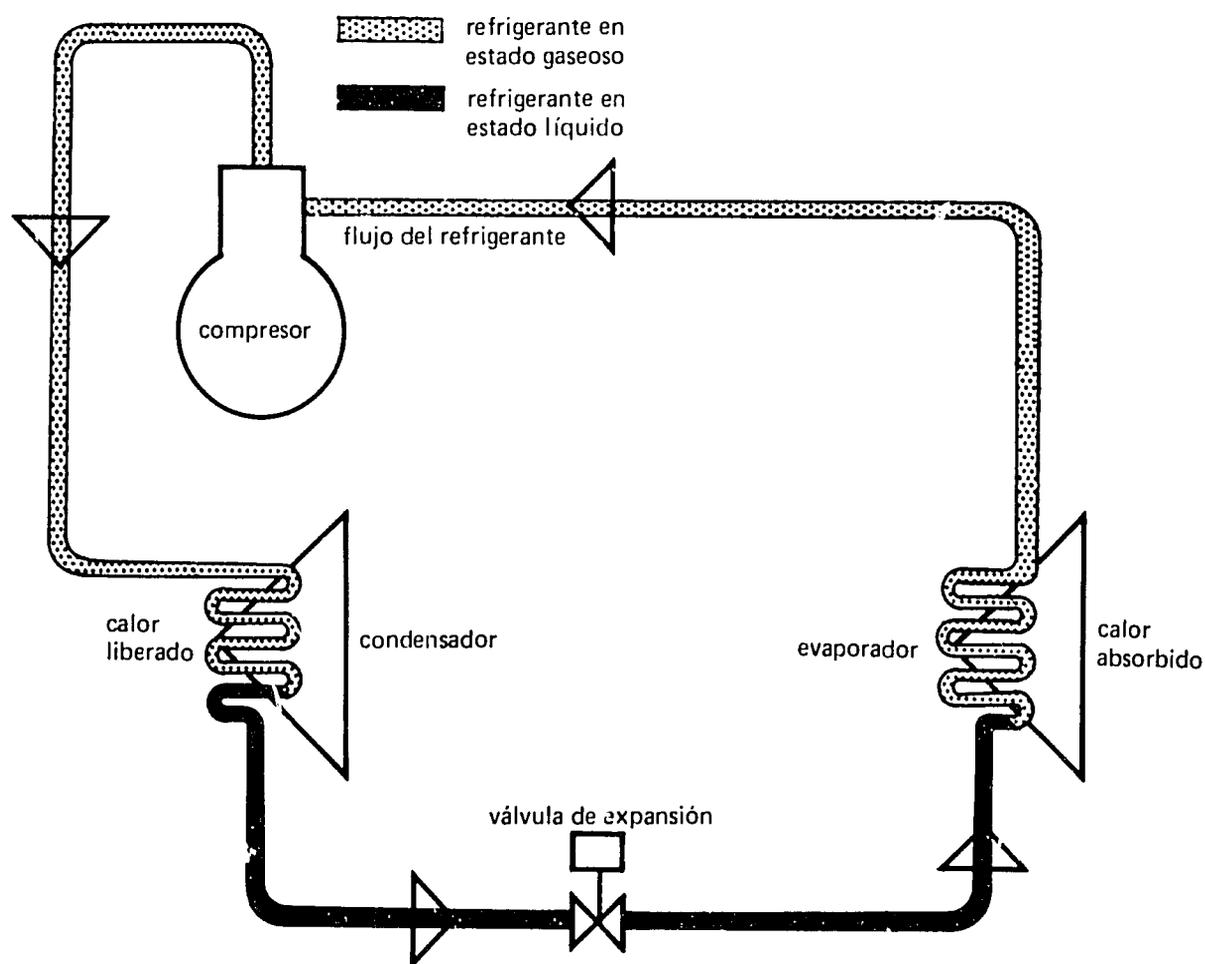


Figura 51. Sistemas de refrigeración (diagrama generalizado). De: Control de las Condiciones del Aire en Almacenes para la Horticultura ("Control of Air Conditions in Horticultural Stores"), Folleto de Mecanización N° 12, Ministerio de Agricultura, Pesquería y Alimentación, Londres.

## Componentes del sistema de refrigeración

### Equipo de compresión y condensación.

Los compresores de desplazamiento positivo de una sola etapa se usan exclusivamente en almacenes para almacenamiento en la agricultura y horticultura. Son más comunes los de transmisión directa por motor eléctrico, aunque algunas máquinas funcionan mediante fajas. Los compresores de numerosos cilindros con capacidad de más de 15 a 20 kilovatios (51 000 a 68 000 Btu/hr o 54 000 a 77 000 kJ/hr) con frecuencia tienen la ventaja de disminuir su carga y permitir la reducción de la capacidad de refrigeración una vez que la fase de enfriamiento ha sido completada. En el rango de refrigeración debajo de 15 kilovatios (51 000 Btu/hr o 54 000 kJ/hr) se usan más frecuentemente compresores herméticos o semiherméticos. El compresor, a menudo, se coloca en un chasis que también sostiene el receptor de líquido, el filtro-secador, el visor de líquido y el serpentín refrigerador, juntamente con su ventilador de enfriamiento. Dicha unidad se denomina equipo de condensación. Cuando se especifica la capacidad de enfriamiento de un equipo de condensación es esencial establecer las temperaturas de condensación y evaporación a las cuales se adapta la capacidad. El poder de enfriamiento de un equipo de condensación varía considerablemente a temperaturas diferentes. Por esta razón, el tamaño del motor del compresor puede ser considerado sólo como una guía para la capacidad de la planta.

Los equipos de condensación funcionan en forma más efectiva cuando se les instala en lugares fríos y limpios. Aunque se puede ahorrar espacio y trabajo de tubería instalando la planta en el techo de los almacenes, no se recomienda esto. El techo es un lugar de difícil acceso para practicar el mantenimiento y la limpieza, la temperatura del aire es con frecuencia muy superior a la del ambiente, la vibración puede dañar las barreras del gas y el peso necesita sustentación adicional.

Hay dos tipos de condensadores remotos. Uno es el condensador enfriado por aire, que se compone de un bloque de tubos dispuestos de forma de aletas y de un ventilador que sopla el aire sobre él. Esta combinación simple de bajo costo se usa generalmente en plantas medianas y pequeñas. El otro es un condensador enfriado por agua, que es más costoso pe-

ro se le prefiere a menudo para plantas más grandes, debido al aumento de eficiencia del sistema de refrigeración, que resulta de la temperatura más baja de condensación obtenida. Los condensadores enfriados por agua ofrecen mayor flexibilidad para su ubicación, ya que no necesitan ser colocados cerca de un lugar que tenga buen abastecimiento del aire frío. Es necesario, por lo general, economizar el uso de agua, y por esta razón es conveniente hacer recircular el agua de enfriamiento a través de una torre de enfriamiento. La condensación por agua enfriada es considerada de importancia económica, generalmente, sólo para plantas de refrigeración de más de 50 kilovatios (170 000 Btu/hr u 80 000 kJ/hr). Con los sistemas enfriados por agua se deben tomar precauciones para prevenir daños posibles por congelamiento.

**El proceso de reducción de presión.** A medida que el compresor retira el vapor refrigerante del evaporador, la unidad de enfriamiento debe tener suministro de refrigerante de más baja presión y más baja temperatura capaz de absorber el calor. Esto se consigue mediante una válvula de control de líquido, conocida como válvula de expansión. Esta válvula reduce la presión del líquido de alta presión del receptor a líquido de baja presión capaz de absorber el calor; esto mantiene constante abastecimiento de líquido en el evaporador y actúa como el punto que divide la presión alta de la presión baja del sistema.

En otras palabras, el freón R-12 a 39 °C y 126 libras de presión estará en estado líquido. Si esta presión es reducida a 21 libras, la temperatura del R-12 será de -7 °C, y cada libra de R-12 recogerá aproximadamente 53 kJ de calor de vaporización a medida que se reduce la presión.

Hay muchos tipos diferentes de aparatos para reducir la presión, que el ingeniero de diseño puede utilizar para obtener la refrigeración adecuada.

El calor latente de vaporización de algunos refrigerantes usados con mayor frecuencia es:

Freón R-12 . . . . .	165,9 kJ por kg
Freón R-22 . . . . .	233,5 kJ por kg
Freón R-502 . . . . .	177,7 kJ por kg
Amoníaco R-717. . . . .	1 324,0 kJ por kg

**Proceso de vaporización.** El proceso de vaporización debe efectuarse en algún tipo de vaporizador o serpentín de enfriamiento.

Sin tomar en consideración el tipo de vaporización que se emplee, la humedad relativa dentro del cuarto de almacenamiento está sujeta principalmente a la diferencia de temperatura entre el aire que ingresa a la superficie de evaporación y la temperatura del aire que sale del vaporizador.

Si se asume que el aire que sale del vaporizador tiene cerca de 100% de humedad relativa, el aire caliente que entra no puede tener, teóricamente, una temperatura que sea 2 °C más alta que el aire que está saliendo, si se ha de mantener 92% de humedad relativa en el cuarto de almacenamiento. Si la caída de temperatura es mayor de 2 °C, teóricamente el vaporizador extraerá más humedad del aire, y no se podrá obtener la humedad alta que se desea. Bajo cualquier circunstancia, la selección del diseño del vaporizador debe basarse en las temperaturas de ingreso y salida del aire, para obtener las humedades exigidas en un almacén o bodega.

La forma y el tamaño del serpentín de enfriamiento también influyen bastante en la humedad relativa que debe mantenerse en el ambiente del almacén. La experiencia ha demostrado que si se ha de mantener alta la humedad relativa, el enfriador debe tener una superficie amplia. Esta superficie debe acomodarse de manera que la mayor parte del aire que pase a través del enfriador tenga contacto con la superficie de enfriamiento. Esto se consigue seleccionando un serpentín con seis o más hileras de tubos en la dirección del flujo de aire. Para proporcionar una superficie suficientemente amplia en el limitado espacio destinado para el serpentín de enfriamiento, es necesario emplear tubos disponiéndolos en forma de aletas. El espaciamiento de estas aletas es importante. Si están muy juntas, restringuen el flujo del aire sobre el enfriador y reducen la eficiencia del sistema de refrigeración. En almacenes que tienen que funcionar a temperaturas sobre los 4 °C es aceptable un espaciamiento de 4 mm entre las aletas (6 por pulgada). Para temperaturas de almacenes inferiores a 4 °C, los tubos deben espaciarse a 6 mm (4 por pulgada) para permitir que se produzca una cierta cantidad de escarchado antes de que el flujo de aire sea fuertemente restringido. Es importante evitar obstrucciones antes y después del serpentín refrigerador, ya que

pueden causar mala distribución del aire. El efecto de esta mala distribución es reducir la superficie efectiva del serpentín dando como resultado humedades más bajas de las que se proyectaron en el diseño.

## SISTEMAS DE REFRIGERACION

Los almacenes pueden ser refrigerados con sistemas de expansión directa o indirecta.

**Expansión directa.** En almacenes refrigerados por expansión directa (Figura 52), el vaporizador se ubica dentro del almacén y tiene función doble, de evaporación y enfriamiento. Este sistema se emplea con mayor frecuencia en almacenes de tamaño pequeño y mediano, porque es más simple y menos costoso que el sistema indirecto.

Generalmente, a cada almacén se le suministra una unidad condensadora por separado (compresor y condensador). En las instalaciones grandes es posible instalar dos o tres unidades condensadoras para proporcionar refrigerante a todas las cámaras de almacenamiento. Esto permite flexibilidad en la administración del almacén, ya que el enfriamiento puede ser dirigido a donde sea necesario.

**Expansión indirecta.** En este sistema el evaporador está sumergido en un medio de enfriamiento secundario que es bombeado a través de los enfriadores dentro de los almacenes. El flujo hacia cada enfriador es controlado automáticamente por una válvula.

El sistema indirecto también proporciona flexibilidad, ya que el enfriamiento puede ser orientado hacia donde se le necesita. Hay cierta seguridad contra las fallas en el sistema eléctrico o la paralización de la planta porque el tanque que contiene el refrigerante frío toma cierto tiempo para calentarse. Otra ventaja del sistema indirecto es que hace posible un control más exacto de la temperatura del enfriador, que la que se obtiene empleando los sistemas de expansión directa.

El sistema indirecto de enfriamiento se considera económico solo en las instalaciones grandes (necesidad de refrigeración de 60 kilovatios o más), o cuando se requiere control muy preciso de la temperatura y humedad.

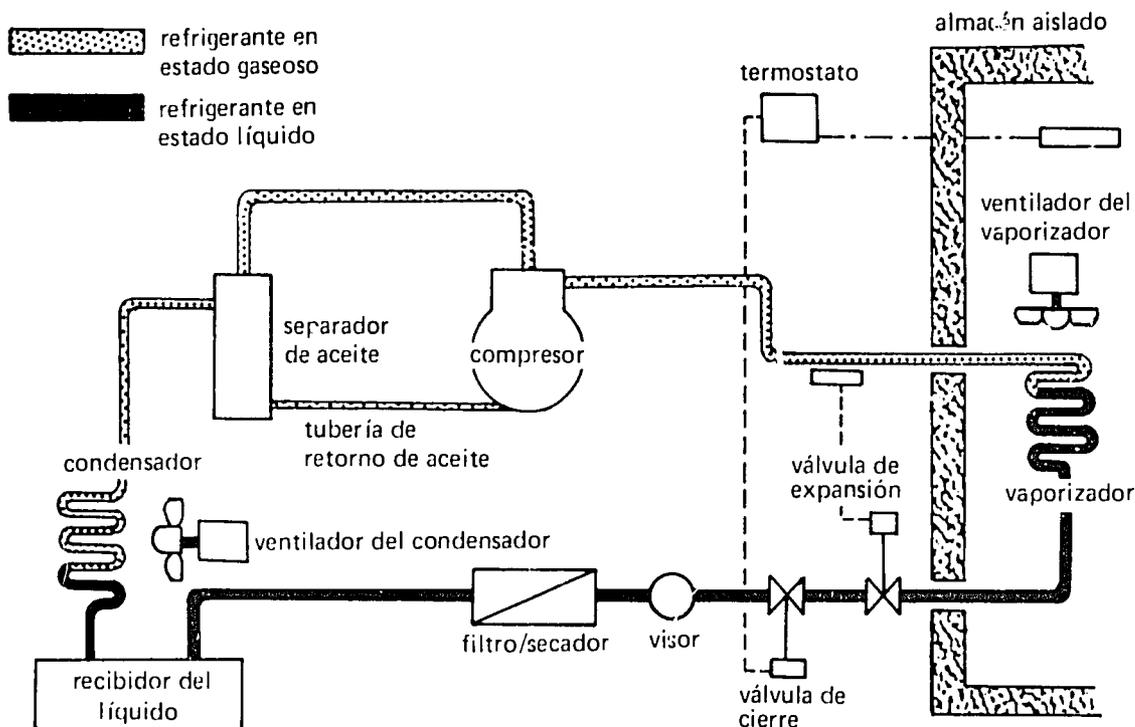


Figura 52. Sistemas de refrigeración (expansión directa). De: Control de las Condiciones del Aire en Almacenes para Horticultura ("Control of Air Conditions in Horticultural Stores"), Folleto de Mecanización N° 12, Ministerio de Agricultura, Pesquería y Alimentación, Londres.

## CONTROL

Si el control de la temperatura de la cosecha va a efectuarse con refrigeración durante todo el período de almacenamiento, entonces, con excepción de la disminución inicial de temperatura, se hará mediante control termostático simple, ya sea por:

- (1) Operación continua de ventiladores de recirculación con control termostático del compresor sobre el sistema directo, o un reservorio de agua helada y bomba en el sistema indirecto, o,
- (2) Control termostático del compresor o bomba conjuntamente con el ventilador. Mediante un enlace adecuado del control del equipo de refrigeración con las instalaciones de VEF (ventilación por extracción forzada) es posible que durante la época de almacenamiento se emplee el control automático con preferencia para los ventiladores principales de VEF con fines de enfriamiento, y que la refrigeración sólo se haga operativa cuando se requiere enfriamiento en condiciones ambientales desfavorables. Esta distribución reduce

sustancialmente los gastos de funcionamiento. El inconveniente es la pérdida mayor de peso durante los períodos de VEF, cuando el porcentaje de HR está con frecuencia considerablemente por debajo del valor óptimo de 95% que se puede obtener del serpentín de una buena instalación de refrigeración.

## RECIRCULACIÓN

La recirculación del aire en un almacén refrigerado es esencial. Es una gran pérdida introducir aire ambiental (más o menos a 21 °C), enfriarlo a 4 °C antes de hacerlo pasar a través de la papa y evacuarlo con algunos grados más. Las tasas de recirculación sobre el serpentín evaporador de un sistema de refrigeración directa, o sobre el serpentín de enfriamiento de un sistema indirecto, se basan normalmente en la tonelada almacenada, dentro del intervalo de 17 a 35 m<sup>3</sup>/t/hr. Cualquier intercambiador de calor, que extraiga una cantidad dada de calor, afectará la temperatura de ese aire en relación directa al volumen del aire que pasa sobre él.

## RECOMENDACIONES

- (1) En lo posible, emplear ventilación por extracción forzada (VEF) para la reducción inicial de temperatura.
- (2) Restringir la ganancia de calor en el edificio poniendo atención al sellado y a la provisión de un valor (U) adecuado. Se recomienda un valor máximo de:

$$\frac{2,0 \text{ kJ}}{\text{hr} \times \text{m}^2 \times \text{°C}}$$

- (3) A menos que se haga un cálculo adecuado, hay que suponer que la ganancia total de calor por almacenamiento sea entre 100 y 150% de la carga de calor de respiración.
- (4) Permitir una rapidez de respiración de 52 kJ/t/hr.
- (5) Consultar al técnico sobre los detalles de la instalación.

## PLAGAS, ENFERMEDADES Y DESORDENES EN LA POSCOSECHA

### Apéndice 5

#### PLAGAS

Las plagas que causan daños a la papa ocurren no sólo en la fase de poscosecha, sino también durante el crecimiento de la planta. Además acrecientan los daños de poscosecha debido a que favorecen la humedad y las pérdidas por enfermedades.

La polilla de la papa (*Phthorimaea operculella* y especies similares) ocasiona uno de los mayores daños a los tubérculos de papa. En estado de larva malogra el follaje barrenando entre las epidermis superior e inferior de las hojas. Se introduce también en el interior de los tubérculos excavando túneles y llenándolos con sus excrementos. La infestación inicial tiene lugar en el campo, pero la larva continúa alimentándose durante el almacenamiento. Un enfoque "integrado", que combine métodos culturales, físicos, químicos y biológicos es una forma promisorio de control de esta plaga. Sin embargo, el control integrado se basa en el conocimiento preciso del comportamiento y la evolución biológica de la plaga en las diferentes condiciones climáticas. Las medidas culturales y físicas incluyen aporque adecuado, irrigación, selección antes del almacenamiento, protección de los almacenes contra polilla, y buen saneamiento. Numerosos productos químicos se han empleado con éxito en tratamientos anteriores y posteriores a la cosecha, aunque se han encontrado altos niveles de resistencia de los insectos a algunos de esos productos. Entre los métodos posibles de control biológico están el uso de resistencia de hospedantes, parásitos naturales, y la feromona sintética que actúa como la feromona sexual de las hembras.

Además de la polilla de la papa otros insectos chupadores y masticadores causan daños a los tubérculos, tanto en el campo como en el almacenamiento. Entre ellos están los gusanos cortadores, gusanos alambres, ciempiés, babosas, y larvas de algunos coleópteros. Todos ellos pueden causar serios problemas según las zonas de cultivo de la papa.

Los nematodos ocasionan también daños

a los tubérculos. El nematodo del nódulo de la raíz (*Meloidogyne* spp.) causa agallas y deformaciones de los tubérculos, los que también pueden mostrar síntomas internos de alimentación de los nematodos. La infección de los tubérculos por el nematodo de la pudrición de la papa (*Ditylenchus destructor*) y el nematodo del tallo (*D. dipsacci*) causa oscurecimiento de los tejidos afectados y agrietamiento de la superficie que predispone la entrada de microorganismos secundarios. Algunas especies de nematodos de la lesión radicular (*Pratylenchus* spp.) causan lesiones con costras, pustulas o granos en los tubérculos. Aunque el nematodo dorado o el nematodo del quiste (*Heterodera rostochiensis* y *H. pallida*) no causan serios daños al tubérculo, la infestación de la superficie externa de éste es un medio de diseminación de estas plagas importantes.

Los áfidos son un problema principalmente en el campo, pero pueden serlo también durante el almacenamiento del tubérculo-semilla de papa, debido a que contribuyen a la diseminación de los virus. Los brotes jóvenes son bastante susceptibles a la infestación de áfidos. La infestación no controlada puede dar como resultado el esparcimiento del virus del enrollamiento de las hojas y del virus "Y" de la papa. Al efectuar el desbrotamiento de los tubérculos-semillas se les debe examinar cuidadosamente para detectar si están infestados con áfidos y si es necesario aplicar productos químicos.

Además de las pérdidas debidas a insectos y nematodos, pueden ser también fuertes las pérdidas ocasionadas en la poscosecha por roedores, pájaros y otros insectos.

#### ENFERMEDADES

Las enfermedades de los tubérculos son causa frecuente de pérdidas de la papa almacenada. No hay una división concreta entre las enfermedades que afectan a la papa durante el cultivo y durante el almacenamiento; muchas están presentes en ambas etapas.

Para ayudar a seleccionar las medidas de control apropiadas, las enfermedades de poscosecha o almacenamiento pueden ser clasificadas entre las que atacan al tubérculo en el campo antes de la cosecha, y las que atacan durante la cosecha o después de ésta. Algunas enfermedades del tubérculo dan por resultado su descomposición, mientras que otras causan alteraciones en la superficie externa, o infección de los ojos de los tubérculos, o ambas alteraciones. Se debe conocer la etiología y epidemiología de la enfermedad que está atacando a los tubérculos para posibilitar su control.

### ENFERMEDADES QUE CAUSAN MAYOR DESCOMPOSICION

Marchitez bacteriana o pudrición parda (*Pseudomonas solanacearum*). Es una enfermedad que ataca a las plantas en el campo, a través de las raíces lesionadas. Las plantas afectadas se marchitan, se tornan amarillas y mueren prematuramente. La infección es sistemática y se extiende a los tubérculos por los estolones. En las etapas iniciales las bacterias que causan la enfermedad están confinadas al tejido vascular. Cuando se corta un tubérculo infectado se advierte un anillo vascular de color marrón y cuando se le comprime exuda una secreción mucilaginosa y blanca que contiene bacterias. Como síntomas más avanzados se observa exudación alrededor de los ojos, a la que se adhiere la tierra. En infecciones severas en el campo o durante el almacenamiento puede haber mayor pudrición de la pulpa del tubérculo debido a invasores secundarios, dando como resultado la licuefacción de los tejidos y la destrucción total del tubérculo. Los tubérculos infectados constituyen problema serio para el almacenamiento, pero los que están levemente infectados pueden ser mantenidos por varios meses a baja temperatura. En el caso de tubérculos-semillas, éstos actúan como nuevos focos de infección.

Las diversas razas y variantes de *P. solanacearum* reaccionan de manera diferente a los factores de temperatura, gama de hospedantes y resistencia de la planta hospedante. Es esencial conocer qué variante está presente. El control de la enfermedad consiste principalmente en acciones integradas empleando variedades más resistentes, sembrando tubér-

culo-semilla libre de enfermedades, destruyendo las plantas y tubérculos infectados y usando rotaciones largas de cultivos. Estas últimas ayudarán a reducir el inóculo del suelo sólo si se eliminan las malezas y cultivos hospedantes alternos. Las rotaciones largas tienen mayor éxito en zonas con estaciones bien definidas de sequía con altas temperaturas, que la bacteria no puede soportar. Para no diseminar las bacterias, es mejor evitar la práctica de segmentar el tubérculo-semilla o, de lo contrario, se debe desinfectar frecuentemente el cuchillo que se utiliza. Aparte de una selección previa muy cuidadosa y de la temperatura baja de almacenamiento, no hay tratamientos de poscosecha disponibles para reducir las pérdidas por almacenamiento debidas a esta enfermedad.

Pierna negra y pudrición blanda (*Erwinia carotovora* var. *atroseptica* y *E. carotovora* var. *carotovora*). La pierna negra de ordinario es causada por la var. *atroseptica*. Es una enfermedad de amplia distribución. Los síntomas son enrollamiento apical típico y amarillamiento de las hojas, que culmina en marchitez y muerte. La base del tallo desarrolla una lesión negra, a menudo mucilaginosa que crece tanto hacia el tallo como hacia los tubérculos, los cuales comienzan a pudrirse a partir del estolón. La enfermedad es más frecuente en climas húmedos, tanto fríos como calientes.

La pudrición blanda puede ser producida por ambos organismos y es una de las causas más frecuentes de pérdidas por almacenamiento. La enfermedad se desarrolla desde infecciones de las lenticelas o por agrietamientos, heridas superficiales y magulladuras y también se presenta como enfermedad secundaria, después de otras enfermedades primarias y de daños ocasionados por insectos, pero se convierte después en enfermedad primaria. En el almacenamiento, las *Erwinias* de la pudrición blanda son más favorecidas por temperatura y humedad altas, baja tensión de oxígeno, o condiciones anaeróbicas. Bajo estas condiciones, las bacterias pueden diseminarse de los tubérculos enfermos a los sanos. Además de las pérdidas severas en el almacenamiento, la enfermedad puede causar la descomposición del tubérculo-semilla después de que ha sido sembrado y también la descomposición del tubérculo en suelos húmedos. Además de *Erwinia* spp. hay diversas bacterias

pectolíticas que pueden estar consideradas entre las que ocasionan la pudrición blanda, tales como *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Clostridium* spp., *Aerobacter* spp. y *Flavobacterium* spp. Para un buen control, se debe sembrar tubérculo-semilla sano, tener buena preparación del suelo, establecer drenaje adecuado, eliminar las plantas enfermas y hacer buena selección de los tubérculos antes del almacenamiento. Numerosos tubérculos aparentemente sanos, con frecuencia tienen poblaciones de organismos de pudrición blanda en estado de latencia, que pueden volverse activos bajo determinadas condiciones del suelo y del almacenamiento. La única forma segura de evitar esta amenaza potencial es sembrar tubérculo-semilla obtenido de esquejes enraizados. La supervivencia de *Erwinia* spp. en el suelo es débil. Se puede evitar la pudrición blanda en el almacenamiento colocando los tubérculos en ambiente frío y seco. No se debe dejar la más mínima película de agua sobre la superficie de los tubérculos, sea agua de tubérculos húmedos o derivada de condensación como consecuencia de un almacenamiento deficiente. Evítense también el desarrollo de condiciones anaeróbicas. Cuando haya peligro de pudrición blanda se debe evitar el curado, ya que las condiciones que estimulan el curado favorecen también el desarrollo de esta enfermedad.

**Pudrición anular (*Corynebacterium sepedonicum*).** Esta es otra enfermedad bacteriana, originada en el tubérculo-semilla, que produce daños muy graves. Los tubérculos afectados muestran un anillo de color marrón, que se decolora y descompone y puede dar ocasión al rápido ingreso de organismos que ocasionan la pudrición blanda secundaria. No se presentan exudados bacterianos alrededor de los ojos como en el caso de la pudrición parda. La infección tiene lugar por el empleo de tubérculo-semilla infectado, pero, debido a que las bacterias no sobreviven en el suelo, los futuros cultivos no son afectados. Sin embargo, sobreviven en las herramientas y sacos o bolsas en los almacenes o depósitos y se diseminan fácilmente mediante el empleo de cuchillos contaminados. La diseminación puede ser reducida con prácticas estrictas de sanidad.

**Tizón, tizón tardío (*Phytophthora infestans*).** Además de reducir el rendimiento por la muerte prematura del follaje, también causa la pudrición del tubérculo, tanto en el campo

como en el almacén. En el campo, el tizón intensifica sus ataques cuando la humedad es alta (fuerte rocío o lluvia) a temperaturas entre 15 y 24 °C. La diseminación a los tubérculos no se efectúa por crecimiento interno directo del hongo, sino por esporas del follaje infectado, que caen al suelo y penetran por las lenticelas o los ojos a los tubérculos que crecen mal cubiertos. Los tubérculos también son infectados con frecuencia durante la cosecha cuando tienen contacto con el follaje infectado. Los tubérculos infectados muestran unas manchas pardas o de color púrpura en la piel, que se propagan hacia el interior, formando en la pulpa lesiones granuladas necróticas de color pardo-rojizo. Cuando las condiciones de almacenamiento son buenas, esta pudrición permanece seca y no hay evidencia para sugerir que la enfermedad normalmente se extienda de los tubérculos enfermos a los sanos. Sin embargo, particularmente cuando las condiciones de almacenamiento son deficientes, los tejidos muertos a causa del tizón le abren la entrada a la pudrición blanda secundaria, la cual puede extenderse dentro al almacén. Así, las pérdidas de almacenamiento que se atribuyen al tizón son de ordinario mayores que las causadas específicamente por el tizón mismo.

El saneamiento es importante para reducir las primeras fuentes de inóculo de la temporada, tales como los tubérculos-semillas infectados, las plantas espontáneas desarrolladas de tubérculos dejados en el campo de otra cosecha anterior, y montículos de desecho. Hay cultivares resistentes disponibles aunque la resistencia del follaje no siempre está relacionada con la de los tubérculos. La resistencia de campo es más duradera que la resistencia controlada por genes mayores. Los fungicidas orgánicos y los elaborados a base de minerales son efectivos cuando se usan en forma de pulverizaciones de protección a intervalos apropiados. Para reducir la infección del tubérculo, éste debe estar en camellones bien formados o aporcados. Se deben dejar por lo menos dos semanas entre la destrucción del rastrojo y la recolección en los campos infectados con tizón; y seleccionar y destruir antes del almacenamiento los tubérculos atacados de tizón.

**Pudrición parda (*Phytophthora erythroseptica*).** Se denomina así porque después de que los tubérculos infectados son cortados y expuestos al aire la pulpa se torna rosada y posteriormente negruzca. Los tubérculos se

infectan en el campo a través del estolón. La excesiva humedad del suelo y las temperaturas calientes en el cultivo favorecen la enfermedad. Los tubérculos gravemente afectados toman consistencia elástica y exudan un líquido al que se adhiere la tierra. Tienen olor característico a vinagre. Como en el caso del tizón, la pudrición rosada no se extiende de los tubérculos infectados a los sanos durante el almacenamiento. Cuando ha infectado un cultivo la enfermedad puede causar amplia y muy rápida descomposición de los tubérculos en el almacenamiento. Aunque generalmente esta enfermedad no es considerada de gran importancia económica puede causar fuertes pérdidas de almacenamiento. Si el cultivo se ha efectuado en terrenos que están infectados con este organismo no se debe almacenar la papa. Si el almacenamiento es esencial, se seleccionarán cuidadosamente los tubérculos antes de almacenarlos.

Pudrición seca (*Fusarium* spp.). Diferentes especies de *Fusarium* spp. están consideradas como causantes de la pudrición seca del tubérculo. Los tubérculos normalmente no son atacados cuando están todavía unidos a la planta y la mayoría de las infecciones tienen lugar por las lesiones que ocurren durante la cosecha, la clasificación y otras operaciones de manipuleo. De ordinario, los agentes causales son incapaces de penetrar en el tubérculo a través de la cáscara intacta. El tubérculo se hace más susceptible a la infección a medida que madura. La susceptibilidad aumenta durante el almacenamiento y los síntomas de la enfermedad no se hacen evidentes hasta varios meses después de la cosecha. La piel del tubérculo se arruga formando típicos anillos concéntricos irregulares y comúnmente la descomposición de los tejidos del tubérculo forma pústulas de color rosado, rojo o azulino de acuerdo con la especie involucrada, las cuales contienen las esporas en el micelio. La enfermedad es más común después de la cosecha efectuada bajo condiciones de calor, muy secas, y con mayores probabilidades de ocurrencia de daños. Se puede reducir bastante la incidencia de la enfermedad con un curado adecuado y oportuno. El almacenamiento en ambiente de calor y humedad, con frecuencia da margen al desarrollo de organismos secundarios que originan pudrición blanda. El ataque fuerte de la pudrición seca en el almacenamiento indica que la cosecha fue manejada y

curada en forma deficiente. Además de originar las pudriciones secas en el almacenamiento, el mismo *Fusarium* spp. puede ser causante de que el tubérculo-semilla se marchite y descomponga. La descomposición del tubérculo-semilla es frecuente cuando se le corta, y las partes no suberizadas se siembran en suelos calientes bastante infectados. Los tubérculos-semillas pueden ser protegidos mediante espolvoreo o aspersion de productos químicos.

Otras enfermedades que causan daños y pudriciones menores de los tubérculos son la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseoli*), la pudrición negra (*Rosellinia* spp.), la pudrición acuosa (*Pythium* spp.), la gangrena (*Phoma* spp.), la pudrición basal (*Sclerotium rolfsii*) y el carbón (*Thecaphora solani*). Aunque consideradas menores, estas enfermedades pueden causar fuertes pérdidas en determinadas zonas. La pudrición carbonosa causa mayores daños cuando la papa madura en tiempo caliente. La gangrena origina serias pérdidas en almacenamiento refrigerado en áreas frías y húmedas de zonas templadas.

#### Enfermedades que causan defectos

Sarna común (*Streptomyces scabies*). Es la enfermedad del tubérculo más común en todas las regiones del mundo donde se cultiva papa, excepto donde los suelos son muy ácidos. La infección da lugar a que la cáscara adquiere aspecto no atractivo, reduciendo el valor del tubérculo en el mercado, pero no tiene efecto en la calidad de la pulpa. La infección se inicia a través de las lenticelas jóvenes en los tubérculos en crecimiento y va progresando hasta formar roñas. Estas toman variadas formas, pero de ordinario son angulares y suberosas, protuberantes o hundidas, aisladas o en grupos, pudiendo cubrir toda la superficie y, en este caso, mata también los ojos del tubérculo. El daño no se generaliza a la parte interna del tubérculo y las roñas no se desarrollan más después de la cosecha. La enfermedad puede ser controlada empleando variedades resistentes y su incidencia se reduce con la brotación del cultivo, alta humedad del suelo, especialmente en la primera etapa de crecimiento de los tubérculos, y con bajo pH del suelo (5 a 5,2).

Roña polvosa (*Spongospora subterranea*). La infección del tubérculo tiene lugar durante

la estación de crecimiento y es favorecida por suelos fríos y húmedos. La infección tiene lugar a través de las lenticelas y primero aparecen puntos de color púrpura en la superficie de los tubérculos jóvenes. Los puntos van aumentando en tamaño y se abren y liberan una masa de esporas, dejando una superficie característica roñosa. Algunas veces se forman pequeñas agallas radicales y áreas necróticas como verrugas en el tubérculo. Los síntomas de ordinario no se desarrollan más durante el almacenamiento, aunque puede presentarse alguna necrosis en la superficie. El tratamiento del tubérculo-semilla con sustancias químicas reduce la producción de esporas infectivas pero no eliminan el hongo. El buen drenaje y las rotaciones largas pueden reducir significativamente la incidencia de la enfermedad.

Costra negra/chancro del tallo (*Rhizoctonia solani*). Se denomina así a una enfermedad por los cuerpos de color negro del hongo (esclerotes) que se depositan sobre la piel de los tubérculos infectados. Estos esclerotes dan mala apariencia a los tubérculos pero no ocasionan daño al tejido interno. El hongo puede también atacar los ojos y brotes tiernos causando reducción de la emergencia. También puede infectar la base de los tallos de las plantas en crecimiento. En casos severos los tallos son circundados por lesiones de color marrón y se forman tubérculos aéreos. En la base del tallo se puede desarrollar una capa de micelio blanco que prácticamente no causa daño a la planta. Los tratamientos con sustancias químicas tanto del tubérculo-semilla como del suelo reducen la incidencia de la enfermedad. Debido a que los esclerotes tienen larga vida en el suelo, se recomiendan rotaciones alargadas con cereales y pastos para reducir el nivel del inóculo del suelo.

Costra plateada (*Helminthosporium solani*). Es un defecto común de la piel que comienza como manchas de color pardo claro o pardo oscuro en la superficie del tubérculo. Los defectos pueden ampliarse y juntarse cubriendo grandes porciones del tubérculo. Las partes infectadas se muestran de color plateado y vidrioso, particularmente cuando están mojadas. En ataques severos la destrucción de la piel y la asociación de pérdida de humedad afectan la calidad en el mercado para tubérculo-semilla. El color de las variedades de piel rojiza puede ser destruido completamente

por la enfermedad. La humedad alta durante el almacenamiento favorece el desarrollo de la enfermedad. Se evita su dispersión almacenando a temperaturas por debajo de 3 °C, pero las pérdidas por deshidratación pueden ser altas en estos casos.

Mancha de la piel (*Oospora pustulans*). Cuando es severa puede reducir el valor de una cosecha en el mercado. Si la enfermedad afecta los ojos de los tubérculos-semillas puede impedir su brotamiento. Los síntomas se desarrollan gradualmente durante el almacenamiento y pueden ser confundidos con las lesiones de la sarna polvosa cuya erupción aún no se haya producido. El estado se agrava comúnmente después del uso de IPC o CIPC como inhibidores de brotamiento. El tratamiento con sustancias químicas puede reducir las pérdidas debidas a la siembra de tubérculo-semilla infectado.

Verruga (*Synchytrium endobioticum*). Es una enfermedad destructora de la papa. Se caracteriza por verrugas que crecen en todas las partes de la planta, principalmente en tubérculos y tallos, con excepción de las raíces. La enfermedad reduce enormemente el rendimiento y los tubérculos no pueden ser comercializados. Para disminuir la incidencia de la verruga, se recomienda rotación de cultivo por períodos largos (cinco años o más) o el uso de cultivares resistentes. Las medidas cuarentenarias son útiles para limitar la diseminación, la cual ocurre esencialmente durante el transporte de tubérculos.

Varias enfermedades virosas causan en la superficie y en el interior del tubérculo defectos y formaciones suberosas. Entre ellos están el virus "rattle" del tabaco, el virus "mop-top" de la papa y el virus del enrollamiento de las hojas.

### Anormalidades

En las páginas anteriores se han descrito varias e importantes anomalías de la papa después de la cosecha, tales como corazón negro, magullamiento interno y daños debido a alta o baja temperatura. Además de ella, el verdeamiento de la papa para consumo puede ser un problema. El verdeamiento debido a la exposición del tubérculo a la luz natural o artificial puede ocurrir en el campo antes de la cosecha o después de ella en cualquiera etapa

de su manejo. Los tubérculos que se han verdeado tienen sabor amargo y pueden ser venenosos por el aumento del contenido de glicocalcoides.

El crecimiento secundario de los tubérculos, que de ordinario da lugar a alguna irregularidad en la forma del tubérculo, puede causar problemas en la poscosecha. Entre los síntomas de crecimiento secundario están el corazón vacío, las protuberancias, la tuberización en cadena, los agrietamientos y la pudrición apical gelatinosa. El crecimiento secundario ocurre como resultado del crecimiento interrumpido de los tubérculos, de ordinario debido a altas temperaturas o sequía, seguido por crecimiento anormal, después del período de estrés. Los agrietamientos y la pudrición apical gelatinosa, particularmente, pueden acrecentar la pudrición blanda. Los tubérculos malformados tienen poco valor en el mercado y con frecuencia dan lugar a que se depositen cantidades mayores e indeseables de tierra en los almacenes o depósitos, lo cual obstaculiza la ventilación y el control de la temperatura.

#### **DESINFECTANTES PARA ALMACENES Y EQUIPOS**

- Formalina (1:20) se recomienda emplearla con cuidado, particularmente en los almacenes o depósitos cerrados.
- Formalina (1:30) más hipoclorito de sodio (500-1 000 ppm) o (1-10%) en las preparaciones comerciales.
- Cuando ha habido polilla de la papa, los almacenes y equipos deben ser fumigados con un insecticida que actúe contra esta plaga y que esté disponible en la localidad, si es que no se ha usado formalina.

#### **TRATAMIENTO DE LOS TUBERCULOS CON SUSTANCIAS QUIMICAS**

Este tratamiento depende de la plaga, enfermedad o anomalía que se necesita controlar, de la disponibilidad de los plaguicidas en la localidad y de las regulaciones sobre aditivos para alimentos que se apliquen cuando se trata de la papa. Se recomienda solicitar las orientaciones de los especialistas locales en protección de los cultivos.

# EVALUACION DE LOS ALMACENES DE TUBERCULO-SEMILLA EN FINCAS

## Apéndice 6

### I. INTRODUCCION

La evaluación de un sistema de almacenamiento de tubérculo-semilla involucra dos fases: (1) la de almacenamiento y (2) la de producción en el campo.

La segunda fase es esencial porque el comportamiento en el campo de los tubérculos-semillas almacenados es tan importante como la reducción de las pérdidas en el almacenamiento o el incremento de la eficiencia de éste.

La evaluación de un almacenamiento "mejorado" de tubérculo-semilla debe efectuarse en comparación con el sistema "del agricultor" y comprenderá los siguientes pasos:

- Evaluar y comparar las pérdidas por almacenamiento bajo ambos sistemas, "mejorado" y "del agricultor".
- Evaluar y comparar el comportamiento en el campo de los tubérculos sanos en ambos sistemas, "mejorado" y "del agricultor".
- Determinar la eficiencia económica general del sistema "mejorado", usando un análisis de costo y beneficio comparado con el sistema "del agricultor" considerado como control.

La evaluación final y real de un sistema "mejorado" de almacenamiento es el grado en el cual se le ha adoptado. De modo que el seguimiento de la adopción del sistema "mejorado" debe ser parte del proceso de evaluación. En otras palabras, la evaluación agroeconómica debe estar acompañada por una evaluación en el campo, centrada en las percepciones y opiniones de la "tecnología mejorada".

### II. CONSIDERACIONES BASICAS

#### 1. Fase de almacenamiento

Durante esta fase es importante tanto el número como el peso de los tubérculos. Si un agricultor está almacenando tubérculos-semillas para su propio uso, el número de tubérculos que salen de los almacenes y están listos para sembrar es más importante que su peso. Si los tubérculos-semillas han de ser vendidos, el peso de los tubérculos es de primera importancia. Así, durante una evaluación, las pérdidas por almacenamiento pueden ser expresadas como la diferencia, en peso o en número, entre la cantidad originalmente almacenada y la cantidad de tubérculos aptos para la siembra que salen de los almacenes.

#### 2. Fase de producción en el campo

El comportamiento de producción en el campo de los tubérculos-semillas almacenados puede ser evaluado empleando los siguientes factores:

- (a) Emergencia, expresada como un porcentaje del número de tubérculos sembrados.
- (b) Uniformidad y velocidad de emergencia.
- (c) Número de tallos por planta y por unidad de área.
- (d) Cantidad total de semilla por cantidad de tubérculo-semilla sembrado y por área de terreno sembrado. En la mayoría de las situaciones se hace necesario considerar también la separación de la producción comercializable en categorías por tamaño.

#### 3. Economía

La evaluación económica se basará en:

- (a) Diferencia de costos de almacenamiento por unidad de tubérculo-semilla entre los sistemas "mejorado" y "del agricultor". Esta debe incluir diferencias tanto en los costos de capital como en los de operaciones.

---

\* Departamento de Ciencias Sociales, Documento de Capacitación 1980-7, Centro Internacional de la Papa, Apartado 5960, Lima, Perú, pp. 10.

- (b) Valor de las pérdidas resultantes en ambos sistemas de almacenamiento, las que deben ser consideradas como parte de los costos totales de almacenamiento.
- (c) Valor de la producción obtenida empleando tubérculo-semilla de las dos formas de almacenamiento.

### III. ENSAYOS DE EVALUACION

Para lograr mejores resultados se emplea una aproximación multidisciplinaria que involucre tecnologías de poscosecha y aspectos agronómicos y económicos de producción de tubérculo-semilla.

Para las evaluaciones técnicas se consideran las siguientes pautas:

#### 1. Fase de almacenamiento

Se pesan (o se cuentan) dos muestras de igual número (o igual peso) de tubérculos-semillas uniformes, de una misma procedencia. Si las dos muestras tienen igual número (o peso), su peso (o número) no debe diferir en más de 5% para asegurar uniformidad en el tamaño del tubérculo. La primera muestra se coloca en el almacén "mejorado" y la segunda se almacena en el sistema "del agricultor". Debe asegurarse de colocar las muestras en una ubicación representativa dentro de los almacenes. Ambos almacenes deben ser llenados con otros tubérculos hasta su capacidad normal.

Normalmente las dos muestras se tomarán de los lotes para tubérculo-semilla que tengan los agricultores, sin hacer una selección especial. Si se considera necesaria así como beneficiosa una selección adicional, entonces se colocan en cada tipo de almacén dos muestras adicionales de tubérculos seleccionados y el costo de esta selección (mano de obra y valor de los tubérculos rechazados) se toma en cuenta en el análisis económico final.

Durante la fase de almacenamiento, el tubérculo-semilla colocado en el sistema "del agricultor" es manejado de acuerdo con las prácticas normales de los agricultores. Cualquier operación de manejo adicional realizada como parte del sistema "mejorado", por ejemplo, la aplicación de insecticidas o la remoción de brotes apicales, es valorizada y añadida al costo de almacenamiento de este sistema.

En lo posible se registran las temperaturas ambientales máxima y mínima, tanto fuera como dentro de los almacenes.

Al final del período de almacenamiento se seleccionan los tubérculos plantables, se cuentan y pesan y se determinan en peso y número las pérdidas por almacenamiento. Si en esta etapa se quitan los brotes, se hace con anterioridad a la determinación de las pérdidas. El peso de los brotes eliminados se incluye con el de los tubérculos descartados.

#### 2. Fase de producción en el campo

Las dos muestras restantes de tubérculos para la siembra se plantan y cultivan en dos parcelas adyacentes, empleando las prácticas de cultivo normal de los agricultores, desde la siembra hasta la cosecha. Se determina la longitud total de los surcos o el área sembrada con cada muestra. Si la topografía del suelo lo hace necesario, las muestras deben ser divididas y sembradas en subparcelas usando, por ejemplo, un diseño en cuadrado latino.

El porcentaje de emergencia de plántulas en cada parcela se determina en tres fechas (contando el número de plantas que han emergido y expresándolo como porcentaje del número sembrado). Las fechas específicas para determinar el porcentaje de emergencia debe efectuarse de acuerdo con la experiencia local. Estas anotaciones se hacen a intervalos regulares comenzando poco después de la emergencia de las primeras plántulas, y continuando hasta la emergencia completa.

En los casos en que se siembra gran número de tubérculos, la determinación del porcentaje de emergencia puede hacerse en una subparcela marcada dentro del campo y en la que se sembró un número conocido de tubérculos (cien, por ejemplo).

### IV. RELACION DE DATOS QUE DEBEN SER REGISTRADOS

#### 1. Fase de almacenamiento

- Historia del tubérculo-semilla almacenado, variedad y fecha de la cosecha.
- Anotaciones de la condición general de los tubérculos.
- Número y peso de las muestras de los tubérculos.

- Criterios de selección del tubérculo del agricultor o mejorado.
- Porcentaje de tubérculos descartados durante la selección.
- Fecha de iniciación del período de almacenamiento.
- Observaciones sobre los sistemas de almacenamiento, por ejemplo, tamaño, capacidad, construcción.
- Detalles del manejo de prácticas de almacenamiento.
- Temperaturas máxima y mínima del ambiente y del almacén.
- Fecha en que se retira el tubérculo-semilla de los almacenes.
- Número y peso de los tubérculos plantables por muestra.
- Porcentaje total de las pérdidas de almacenamiento por muestra, y en lo posible, éste debe ser dividido en pérdidas por enfermedad, por eliminación de brotes y por deshidratación.
- Observaciones sobre la condición de los tubérculos y brotes (por ejemplo, registrar el promedio de longitud de los brotes y el promedio del número de brotes por tubérculo en una submuestra de tubérculos de cada almacén).
- Datos económicos como se detalla en el párrafo V, más adelante.

## 2. Fase de producción en el campo

- Fecha de siembra.
- Número de tubérculos sembrados.
- Areas sembradas.
- Porcentajes de brotes en tres fechas fijas.
- Promedio de tallos por planta usando una submuestra de 50 a 100 plantas por parcela.
- Cantidades totales cosechadas (por parcela y posteriormente por planta) y su separación en producción para el mercado, por diferencias de tamaño, en categorías, donde sea necesario.
- Observaciones sobre las prácticas culturales y de cosecha, por ejemplo, métodos de siembra, fertilización, irrigación, prácticas de protección del cultivo, incidencia de plagas, enfermedades y malezas, y métodos de cosecha.

- Datos económicos como se detalla a continuación.

## V. EVALUACION ECONOMICA

### 1. Consideraciones básicas

#### a. Coeficiente de pérdidas de almacenamiento

Por cada muestra incluida en la prueba se conoce: la cantidad almacenada ( $q_1$ ) (peso o número) y la cantidad sembrable que sale del almacén ( $q_2$ ). El coeficiente de pérdidas por almacenamiento ( $l$ ) se define como:

$$l = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

así se puede determinar " $l$ " para el almacén mejorado ( $l_j$ ) y para el almacén del agricultor ( $l_f$ ).

#### b. Costos de almacenamiento

**Costos de inversión.** La evaluación de estos costos en la determinación de los *cambios en los gastos* efectuados al cambiar del almacén del agricultor al mejorado.

Algunos de estos cambios pueden consistir en nuevas inversiones (construcción de nuevas instalaciones o modificación de las existentes, incluyendo los intereses). Estas inversiones, " $I$ ", contribuirán al costo de almacenamiento de una unidad de semilla almacenada por:

$$S_1 = \frac{I}{Q \times n}$$

donde " $Q$ " es la capacidad del almacén y " $n$ " es el número de campañas de almacenamiento dentro de las cuales la inversión debe ser recuperada (depreciación). Es obvio que el cálculo de  $S_1$  se aplica sólo al almacén mejorado.

En los casos en que el sistema del agricultor consiste en el alquiler de espacio refrigerado, entonces el costo del sistema de almacenamiento debe incluir el costo de alquiler " $R$ " por unidad de tubérculo-semilla.

**Costos de operación.** Los costos de operación variarán entre los dos sistemas (por ejemplo electricidad para la ventilación o iluminación del almacén mejorado, menor ope-

ración de manipulación en el almacén mejorado, reparaciones) y por eso se necesitarán cálculos para cada sistema. Por ejemplo,  $O_i$  para el mejorado y  $O_f$  para el sistema del agricultor. Entonces el costo de almacenamiento por unidad de semilla será:

$$S_i = \frac{I}{Q \times n} + O_i \quad \text{para el sistema mejorado, y}$$

$$S_f = R + O_f \quad \text{para el sistema del agricultor.}$$

### c. Valor del tubérculo-semilla al momento de la siembra

Si  $P_s$  es el valor de una unidad de tubérculo-semilla que entra a los almacenes, entonces el valor de una unidad de tubérculo-semilla que sale del almacén mejorado es:

$$P_{si} = \frac{P_s + S_i}{1 - \ell_i}$$

del almacén del agricultor es:

$$P_{sf} = \frac{P_s + S_f}{1 - \ell_f}$$

## 2. Análisis de presupuesto parcial por unidad de área sembrada con semilla almacenada

Si:  $q$  = la cantidad de tubérculo-semilla por unidad de área,

$y_i$  = el rendimiento por unidad de área de cultivo sembrada con el tubérculo-semilla del almacén mejorado,

$y_f$  = el rendimiento por unidad de área del cultivo sembrada con el tubérculo-semilla del almacén del agricultor,

$P_c$  = el precio de la papa de consumo al tiempo de la cosecha.

**Cambio en el costo.** El costo de siembra de una unidad de área con el tubérculo-semilla del almacén mejorado será:

$$C_i = q \times P_{si}$$

para el tubérculo del almacén del agricultor será:

$$C_f = q \times P_{sf}$$

El cambio en el costo ocurrido cuando se cambió del sistema del agricultor al mejorado será:

$$\Delta C = C_i - C_f = q(P_{si} - P_{sf})$$

**Cambio en el ingreso total.** El cambio en el ingreso total incurrido al cambiar del sistema del agricultor al mejorado será:

$$\Delta IT = p_c (y_i - y_f)$$

Si el precio de la papa de consumo varía con la calidad, entonces el  $\Delta IT$  debe ser calculado según esta variación.

## 3. La evaluación económica

Esta evaluación ayudará a responder las preguntas siguientes:

(1) ¿Es económicamente mejor el sistema mejorado que el del agricultor? Para responder a esta pregunta positivamente el cambio en el ingreso neto ( $\Delta IN$ ) debido al uso del sistema mejorado debe ser positivo.

$$\Delta IN > 0 \quad \text{donde } \Delta IT - \Delta C$$

(2) ¿En qué proporción es mejor? La relación de beneficio neto/costo ayudará a contestar esta pregunta. Se expresa por:

$$\text{Relación de beneficio neto/costo} = \frac{\Delta IN}{\Delta C}$$

Esta relación refleja la tasa de retorno del dinero adicional gastado cuando se adopta el sistema mejorado.

Dado que los agricultores que adoptan una nueva tecnología están tomando un riesgo, sería razonable esperar que la relación beneficio/costo sea por lo menos *la unidad* ( $\Delta IN/\Delta C = 1$ ) para indicar un potencial de adopción.

*Nota.* En los casos en que el tubérculo-semilla se almacena para venta, la regla de decisión será la siguiente:

El sistema mejorado es mejor si el valor del cambio en las pérdidas por almacenamiento cubre el cambio en el costo debido a la adopción del sistema mejorado de almacenamiento. Esto puede ser expresado por:

$$p_m (\ell_f - \ell_i) > S_i - S_f$$

donde  $p_m$  es el precio del tubérculo-semilla en el mercado, los otros símbolos tienen las mismas definiciones dadas anteriormente.

## VI. EJEMPLO

Evaluación de un almacén recién construido, con luz difusa, comparado con el sistema de los agricultores (a granel, oscuro). El símbolo \$ es la unidad monetaria del país. Los otros símbolos empleados son los mismos ya descritos.

### 1. Costos de almacenamiento

#### Costos de construcción del nuevo almacén

<i>Materiales</i>	<i>Costo (\$)</i>
Láminas de plástico . . . . .	204
Madera . . . . .	405
Malla de plástico . . . . .	75
Clavos . . . . .	10
Mano de obra . . . . .	<u>50</u>
<b>Inversión total*</b> . . . . .	<b>744</b>

Capacidad del almacén (Q): 3 000 kg

Depreciación durante cinco años con un período de almacenamiento de 5-6 meses/año:

$$n = 5$$

#### Costo de operación del almacén mejorado ( $O_i$ )

Durante el almacenamiento se usa un insecticida (carbaryl en polvo, al 5%) en la proporción de 5 kg por tonelada. El precio es de 3 \$/kg

\* Normalmente un costo financiero (interés) se añade a la inversión. Su estimación se hace de acuerdo con los procedimientos financieros locales.

$$O_i = \frac{3 \times 5}{1\ 000} = 0,015 \text{ \$/kg}$$

#### Costo de operación del almacén del agricultor ( $O_f$ )

Durante el almacenamiento se necesitan dos selecciones y desbrotamientos. Se necesitan dos hombres al día, a \$ 2 cada uno, para el manejo de la selección y desbrotamiento de una tonelada de papa.

$$O_f = \frac{2 \times 2 \times 2}{1\ 000} = 0,008 \text{ \$/kg}$$

#### Costo de almacenamiento del almacén mejorado ( $S_i$ )

$$S_i = \frac{744}{3\ 000 \times 5} + 0,015 = 0,065 \text{ \$/kg}$$

#### Costo de almacenamiento del almacén del agricultor ( $S_f$ )

$$S_f = O_f = 0,008 \text{ \$/kg}$$

### 2. Pérdida de almacenamiento

El agricultor está almacenando tubérculo-semilla para su propio uso. La prueba de almacenamiento se basa entonces en el número de tubérculos almacenados. El peso se muestra entre paréntesis donde es necesario.

	<u>Almacén</u>			
	<u>mejorado</u>		<u>del agricultor</u>	
	<u>Tubérculos</u>	<u>kg</u>	<u>Tubérculos</u>	<u>kg</u>
Muestra original ( $q_1$ )	1 000	(97)	1 000	(95)
Cantidad sembrable ( $q_2$ )	910	(83)	840	(70)
Pérdida ( $q_1 - q_2$ )	90	(14)	160	(25)
Coefficiente de pérdidas ( $\ell$ )	0,09	(0,14)	0,16	(0,26)

### 3. Valor del tubérculo-semilla al momento de la siembra

El valor de 10 tubérculos-semillas (1 kg aproximadamente) que ingresa al almacén es

$p_s = \$ 0,20$ . Entonces el valor de 10 tubérculos-semillas que se retiran del almacén mejorado es:

$$p_{si} = \frac{0,20 + 0,065}{1 - 0,09} = \$ 0,29$$

del almacén de campo es:

$$p_{sf} = \frac{0,20 + 0,008}{1 - 0,16} = \$ 0,25$$

#### 4. Resultado de campo

Las muestras se siembran en 50 surcos (95 x 40 cm).

En 18 hileras (342 m<sup>2</sup>) se siembra tubérculo-semilla del almacén mejorado.

En 16 hileras (304 m<sup>2</sup>) se siembra tubérculo semilla del almacén del agricultor.

*Nota:* Con el propósito de evitar surcos incompletos, no se han incluido en la prueba 10 tubérculos-semillas (1,0 kg) del almacén mejorado y 40 tubérculos-semillas (3,0 kg) del almacén del agricultor. Los resultados agronómicos se compendian en la tabla siguiente:

	Fuente del tubérculo-semilla	
	Almacén mejorado	Almacén del agricultor
Número de tubérculos sembrados	900	800
Peso de tubérculos sembrados (kg)	82	71
Area sembrada (m <sup>2</sup> )	342	304
% emergencia a los 20 días	35	5
% emergencia a los 30 días	89	60
% emergencia a los 40 días	94	91
Promedio N° de tallos/planta	3,4	2,9
Rendimiento de la parcela (kg)	582	453
% de papa de 1a. clase	28	32
% de papa de 2a. clase	42	40
% de papa de 3a. clase	30	28
Promedio de rendimiento por tubérculo sembrado (g)	647	566
Densidad de siembra/ha (plantas)	26 000	20 000
Rendimiento estimado (t/ha)	16,8	14,7

#### 5. Presupuesto parcial por una hectárea

##### Cambio de costos

$$\Delta C = q (p_{si} - p_{sf}) = 26\ 000 \left( \frac{0,29 - 0,25}{10} \right) = \$ 104$$

##### Cambio en el ingreso total

Si el precio de la papa de consumo es:

- 0,20 \$ para la papa de 1a. clase
- 0,17 \$ para la papa de 2a. clase
- 0,10 \$ para la papa de 3a. clase

entonces el ingreso total por hectárea:

- sembrada con tubérculo-semilla del almacén mejorado será: \$ 2 644
- sembrada con tubérculo-semilla del almacén del agricultor será: \$ 2 352

y

$$\Delta IT = 2\ 644 - 2\ 352 = \$ 292$$

El cambio en el ingreso neto será

$$\Delta IN = \Delta IT - \Delta C = 292 - 104 = \$ 188$$

La relación de beneficio neto/costo será

$$\frac{\Delta IN}{\Delta C} = \frac{188}{104} = 1,81$$

#### 6. Caso de tubérculo-semilla almacenado para venta

El análisis debe ser hecho empleando los valores de ( $\ell$ ) calculado sobre las bases del peso, cifras entre paréntesis en el parágrafo II.

Tenemos:

$$\ell_i = 0,14 \quad \ell_f = 0,26$$

si el precio de mercado para la semilla es 0,28 \$/kg entonces:

$$p_m(\ell_f - \ell_i) = 0,28 (0,26 - 0,14) = 0,03$$

ya se conocen los valores de  $S_i$  y  $S_f$ , entonces

$$S_i - S_f = 0,065 - 0,008 = 0,057$$

Así se advierte en este ejemplo que el sistema mejorado no es provechoso para un comerciante de tubérculo-semilla, suponiendo que el tubérculo-semilla de las dos fuentes tiene el mismo precio en el mercado.

Como un ejercicio, el lector podría calcular el cambio en el ingreso neto y la relación de beneficios neto a costo de una tonelada de tubérculo-semilla almacenada para venta.

Las respuestas son:

$$\Delta IN = -\$ 23$$

$$\frac{\Delta IN}{\Delta C} = -\$ 0,40$$

50