

13. PRINCIPIOS BASICOS DE ALMACENAMIENTO

Lauro Luján *

13.1 INTRODUCCION

La producción de papa no satisface plenamente las necesidades de consumo. Mientras el creciente consumo permanece relativamente constante durante todo el año, el volumen de las principales cosechas varía según el área sembrada y la fluctuación de los factores ambientales. De acuerdo con el régimen normal de lluvias y la presencia o ausencia de heladas, existen dos principales épocas de producción bien definidas; la del primer semestre o de "año grande" con un 60% del volumen total, la del segundo semestre o "mitaca" con 30% y las intermedias con 10% que se realizan en zonas libres de heladas. En consecuencia, la producción actual satisface las necesidades de consumo de julio a diciembre y a veces sobra, en cambio la producción del segundo semestre es insuficiente para el consumo de enero a junio.

El mercadeo de la papa requiere una orientación definida, basada en el hecho de que el consumidor siempre prefiere la papa fresca. Desde este punto de vista, orientar la producción de acuerdo con las necesidades de consumo y organizar la distribución sistemática del producto, parece más importante que tratar de almacenar los excedentes esporádicos. La papa puede almacenarse en las zonas de producción y en orden de prioridades, es indispensable almacenar la semilla, la materia prima para el procesamiento y los excedentes de la papa para consumo fresco.

13.2 PERIODO DE REPOSO Y BROTAACION

El período de reposo de un tubérculo que alcanzó su madurez fisiológica normal, es el tiempo durante el cual permanece en estado de vida latente y sus funciones se reducen al mínimo. Este concepto se aplica especialmente a los tubérculos maduros y cosechados que, durante un período determinado no muestran crecimiento visible de sus yemas debido a causas internas y externas (Emilson 1949, Burtón 1963, 1966, y Smith 1968).

Los factores que más influyen sobre la duración del período de reposo son genéticos y ambientales, o sea la temperatura y humedad de la bodega. La variedad de papa diploide Yema de Huevo no tiene período de reposo, porque antes de llegar a su maduración fisiológica

* I.A., M.S., Ph.D. Director Programa Nal. de Tuberosas de Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

normal, ya presenta brotes de varios centímetros de longitud. El período de reposo de la papa tetraploide varía de 1 a 4 meses en condiciones de 15°C y 75% de humedad relativa (HR).

No existe correlación entre el período vegetativo de una variedad y su período de reposo. El criterio de que las variedades precoces tienen un período de reposo corto es falso.

Los tubérculos inmaduros tienen un período de reposo más largo que los maduros; sin embargo, por la escasa suberización de la piel y fácil transpiración están más expuestos a la deshidratación y pudrición.

13.2.1. Efecto de las condiciones de almacenamiento.

La longitud del período de reposo está influenciado principalmente por la temperatura. En el tubérculo existe un equilibrio condicionado por el contenido de azúcares, ácido ascórbico y glutación que pueden influir sobre el período de reposo y brotación. El contenido de azúcar es alto a bajas temperaturas; el ácido ascórbico es bajo a temperaturas bajas y el contenido de glutación no es afectado por la temperatura.

Variaciones de temperatura y su efecto sobre el período de reposo:

- 10 a 20°C disminuye el período de reposo en 18%
- 10 a 5°C aumento el período de reposo en 67%
- 10 a 3°C aumenta el período de reposo en 150%

Indudablemente hay excepciones a las indicaciones anteriores.

La germinación puede retardarse o perderse completamente si la semilla se almacena durante un mes a 1°C. El punto general de congelación es de 2°C.

La germinación se estimula sometiendo los tubérculos a períodos de temperatura baja y luego alta. Por ejemplo, la variedad parda pastusa conservada a 1°C por varias semanas y luego a 20°C; en cambio, la brotación se retarda a 10°C de temperatura continua.

Se encontró que alta humedad relativa después de la cosecha estimula la germinación a ciertas temperaturas. Por ejemplo, 100% de HR y 33°C permitieron la germinación de tubérculos frescos en una semana.

La luz natural o artificial retarda la germinación y elongación de los brotes.

El aire de la bodega:

- a. Oxígeno - 2% acelera la brotación en condiciones secas.
7-10% acelera la brotación en condiciones húmedas.
- b. CO₂ - Estimula la germinación de tubérculos sometidos a atmósfera de 10 a 60% por 3 a 7 días.

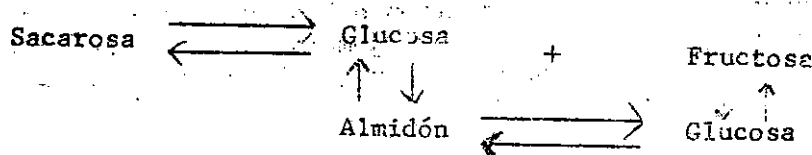
13.2.2 Efecto de la zona de producción sobre el período de reposo.

Con variedades diploides y tetraploides se ha determinado que el clima y suelo de las principales zonas productoras de papa como la Sabana y el Páramo, tienen influencia directa sobre la composición química de los tubérculos y el contenido de materia seca. Con las variedades Yema de Huevo y Monserrate se encontró que, el material producido en el páramo (3100 m. de altitud) es de más difícil conservación porque comparado con el material producido en la sabana (2600 m. de altitud) hubo una diferencia muy apreciable de germinación hasta de un mes en Monserrate, mayor pérdida de peso y susceptibilidad a pudriciones. El material de la Sabana registró mayor contenido de materia seca y mejor conservación.

13.3. PROCESOS VITALES DEL TUBERCULO

Las células del tubérculo contienen carbohidratos solubles e insolubles. Además de glucosa, fructosa y sacarosa el mayor contenido es de almidón. El almidón está constituido por amilosa y amilopectina, ambos polímeros originados de glucosa con la principal fuente de energía durante el almacenamiento.

Esquema simplificado del equilibrio dinámico de carbohidratos en tubérculos maduros, sin tomar en cuenta las formas intermedias de fosforilazas y la pérdida por respiración.



El almidón se convierte en glucosa con ayuda del oxígeno de la atmósfera y la mayor parte de la glucosa se gasta en la respiración, la menor parte de glucosa se convierte en fructosa y las dos formas la sacarosa.

quemadura superficial y calentamiento antes de almacenar. Almacenamiento a altas temperaturas (25°C) alternando con temperaturas bajas (3°C) promueve la brotación. Todos estos métodos son lentos y a veces inefectivos.

Durante los últimos 30 años se han descubierto una serie de compuestos químicos que estimulan la brotación. Por ejemplo: tiocianatos de K, Na y NH₄; tioura, clorhidrina de etileno (Denny, 1926), rindite, ácido giberélico, disulfuro de carbono, etrel (C₂H₄) y purinas.

Rindite: Compuesto gaseoso muy tóxico en volumen contiene 7 partes de clorhidrato de etileno, 3 partes dicloruro de etileno y 1 parte tetracloruro de carbono. El tratamiento dura de 2-4 días en dosis de 1.0 ml/kg de tubérculos a la temperatura de 25°C. Hay diferencias varietales, es necesario determinar condiciones óptimas para evitar efectos fitotóxicos.

Acido giberélico (GA) : Este regulador de crecimiento no tóxico se utiliza para estimular la germinación de semilla fresca. Las yemas extraídas de los tubérculos con un cuchillo especial se sumergen en una solución de GA de 1-5 ppm durante 10 minutos, luego son plantados en materos para probar su sanidad en 4 a 5 semanas. El tratamiento de tubérculos enteros no es efectivo.

13.4.2 Inhibidores de brotes.

El período de reposo de los tubérculos puede ser prolongado indefinidamente sin dejar residuos tóxicos, destruyendo el mecanismo de crecimiento con rayos gama. La dosis requerida para rayos gama es de 10 kilorads y para irradiaciones de 15-20 kilorads. Antieconómico para nuestro adelanto tecnológico y se requieren instalaciones de 50.000 Tons. de capacidad mínima.

Entre los compuestos químicos el IPC o su derivado Cloro IPC y la hidrazida maleica son de utilidad práctica bajo nuestras condiciones.

1. Cloro IPC (Isopropil m.- Clorocarbanilato):

El cloro IPC es un compuesto químico volátil que se utiliza como antigermiante para inhibir la brotación de la papa de consumo, la cual si es correcta y oportunamente tratada puede almacenarse de 4 a 5 meses sin desmejorar su valor alimenticio. (Férez et al, 1964)

Condiciones que debe reunir la papa para su tratamiento:

El cloro IPC debe aplicarse a tubérculos sanos o cicatrizados

antes del tratamiento. Para estimular la cicatrización de heridas y magulladuras, la papa cosechada y clasificada debe mantenerse en bodega oscura de 10-15 días a temperaturas de 15°C y más de 80% de humedad relativa.

Dosis máxima y método de aplicación:

El Cloro IPC se aplica directamente sobre el tubérculo en papa de año, la cantidad de cloro IPC (47%) por tonelada de papa varía con el método de aplicación. Las dosis máximas recomendadas deben cumplirse estrictamente para no exceder el residuo tolerable de 50 ppm.

Espolvoreo: Impregnar 1 Kg de tierra cernida con 65 cc de Cloro IPC por tonelada de papa, es preferible que la tierra sea del mismo lote donde se cosechó papa. El Kg de tierra tratada debe distribuirse uniformemente sobrecapas delgadas de papa en el momento de cargar la bodega.

Aspersión: Disolver 50 cc de cloro IPC en 1 ó 1/2 litro de agua según el diámetro de la boquilla del aspersor. La aspersión debe cubrir por los menos parcialmente todos los tubérculos evitando el rescurrimiento.

Inmersión: Diluir 50 cc de Cloro IPC en 50 litros de agua por tonelada de papa y mantener dicha concentración para tratar mayores cantidades. La papa lavada debe sumergirse en la solución momentáneamente y luego dejar escurrir y secar. Evítase empacar o almacenar papa mojada.

Advertencia: El Cloro IPC se usa únicamente en papa de consumo. Evítase guardar semilla junto al material tratado ó en la misma bodega. Guárdese los antigermi- nantes fuera del alcance de niños o animales y lávese prolijamente los implementos utilizados y las manos.

Condiciones de la bodega: La bodega debe satisfacer las condiciones de aereación y obscuridad a fin de asegurar buena conservación. Antes de depositar la papa, la bodega debe limpiarse y desinfectarse con una solución de 1% de sulfato de cobre. Temperatura de 10 a 15°C y humedad relativa de 80 a 85% son prácticamente aceptables por sanidad y pérdida de peso.

.2. Hidrazida Maleica (sal dietanolamina de HM).

La Hidrazida Maleica se utiliza en papa criolla, aplicando al follaje durante el período de maduración, en esta forma el producto es absorbido por la hoja y translocado a los tubérculos junto con los productos fotosintetizados. Es indispensable que el antigermi- nante sea introducido en el tubérculo porque la aplicación sobre el

tubérculo no tiene efecto. La tolerancia de los residuos de HM es de 60 ppm dentro o fuera del tubérculo. (Luján, 1970).

3. Recomendaciones de HM en Yema de Huevo:

El control satisfactorio de la brotación se obtiene con aplicaciones foliares de HM en la concentración de 0.4%, es decir 4.8 Kgs. de ingrediente activo en 1200 litros de agua por hectárea, lo cual, equivale a 3.5 galones del producto comercial "HM = 58%". No debe aplicarse HM en lotes destinados para producción de semilla.

El tiempo oportuno de aplicación de HM, es cuando el cultivo muestra síntomas de maduración mediante una coloración amarillenta definida, que en condiciones normales ocurre alrededor de un mes después del estado de plena floración; sin embargo, es conveniente tomar muestras representativas del crecimiento del tubérculo y aplicar cuando los tubérculos más grandes tienen un diámetro mínimo de 5 cms. La oportuna aspersión de HM es definitiva para obtener un buen control de brotación sin perjudicar el rendimiento. Los mejores resultados se registraron con aplicación efectuadas durante el mediodía. Debe evitarse períodos de lluvia especialmente durante el primer día después de la aplicación.

Condiciones de baja humedad relativa después de la aplicación de HM, reducen la eficiencia del control de brotación al igual que la deficiente humedad del suelo. Si es posible, HM debe aplicarse después de lluvia o riego. Con una aplicación satisfactoria la papa Yema de Huevo podría mantenerse en condiciones aceptables durante 2 a 3 meses, mientras que sin tratamiento no dura ni dos semanas.

13.5 DAÑOS FISIOLÓGICOS Y ENFERMEDADES DE LA PAPA EN LA BODEGA

Aunque una parte apreciable de pérdida de peso del tubérculo durante el almacenamiento se debe a la evaporación y brotación. La mayor parte debe atribuirse a las pérdidas causadas por las enfermedades. Además, debe tomarse en cuenta los daños causados en la bodega por deficiente manejo.

13.5.1 Daños Fisiológicos

Daños Mecánicos. Pueden ser causados durante la cosecha, transporte y clasificación o en el suelo por insectos y otros animales. Generalmente las heridas, cortes, magulladuras y peladuras, constituyen los sitios de ingreso de los agentes patógenos hongos y bacterias. Para disminuir los daños mencionados, es necesario cosechar tubérculos completamente maduros y suberizados, evitando golpes y manejo brusco del producto.

Manchas negras internas. Los síntomas, son lesiones de tamaño variable de color ligeramente gris hasta negro carbón que, se presenta en la pulpa del tubérculo superficialmente y son más frecuentes desde la mitad hacia la base. La principal causa es el mal manejo y golpes. También contribuyen las bajas temperaturas, pérdida de turgencia, peso específico alto y unas variedades son más susceptibles que otras.

Corazón negro. La presentación o apariencia externa del tubérculo parece normal, pero en la parte central se presenta una mancha negra de 1 a 4 cms. de diámetro. El corazón negro se debe a la falta de oxígeno, altas temperaturas de 25 a 35°C, las cuales, deben evitarse y asegurar una ventilación adecuada.

Congelación y endulzamiento. La temperatura de 0°C puede ocasionar el deterioro del tubérculo con síntomas de manchas de color gris cerca del anillo vascular y la pulpa. A temperaturas más bajas de 1°C empieza la congelación del tubérculo. En general las temperaturas bajas ocasionan la acumulación de azúcares o endulzamiento, debido a la baja velocidad de respiración del tubérculo. Algunas variedades pueden ser reacondicionadas para el consumo, sometiendo las de 2 a 3 semanas a temperaturas de 15 a 20°C para disminuir su contenido de azúcares.

Verdeamiento. La piel y pulpa de los tubérculos desarrolla una coloración verde suave o intensa, como resultado de la exposición a la luz natural o artificial por varios días. Esto puede ocurrir en el campo en surcos mal aporcados, en la bodega, en el mercado o en la casa. En la pulpa de los tubérculos verdes se producen clorofila y solanina, los cuales dan un sabor amargo y pueden ser tóxicos. Hay diferencias varietales y se sabe que su herencia esta condicionada por genes múltiples. Es indispensable que la papa de consumo no sea expuesta a la luz ni en el campo ni en los canales de distribución. En cambio, la semilla debe exponerse a la luz el mayor tiempo posible.

13.5.2 Enfermedades causadas por hongos y bacterias

El desarrollo y diseminación de enfermedades fungosas y bacterianas no solamente se ocasiona causando daños a los tubérculos, sino también por deficiente control de humedad y temperatura de la bodega. La excesiva humedad en la bodega, es ideal para la diseminación de los microorganismos patógenos. Por consiguiente, debe almacenarse solamente tubérculos secos y sanos, evitando puntos húmedos o de condensación en la papa acumulada. En general, no debe almacenarse papa procedente del páramo ni tubérculos con síntomas visibles de cualquier enfermedad. Las enfermedades más conocidas que pueden progresar en la bodega son las siguientes:

Gota (*Phytophthora infestans*):

Ocasiona pudrición parda y seca en el tubérculo. Los síntomas

iniciales poco perceptibles se desarrollan rápidamente a temperaturas mayores de 15°C y alta humedad relativa y afectan los tubérculos adyacentes. Formando núcleos de infección y pudrición debido al ataque secundario de bacterias. El control comienza con las aspersiones de las cosechas en caso de ser afectado por la gota.

Rhizoctoniasis (Rhizoctonia solani):

Los esclerosis o costras negras superficiales pueden germinar y ocasionar pudriciones facilitando el acceso de bacterias, en bodegas con alta humedad relativa y deficiente ventilación interna. Debe evitarse almacenar una cosecha muy afectada de Rhizoctonia que, por lo general ocasiona más perjuicios económicos por la deformación de los tubérculos.

Escama plateada (Helminthosporium atrovirens):

Manchas de tamaño variable y superficiales de aspecto plateado. Las manchas se extienden bajo condiciones de alta humedad y temperaturas mayores de 15°C; la piel se torna porosa, facilita la evaporación y los tubérculos se deshidratan y arrugan. La escama plateada se presenta con más frecuencia en suelos de páramo.

Rofia polvosa (Spongospora subterranea):

Ataca los tubérculos produciendo ampollas o pustulas que, inicialmente tienen apariencia de verrugas y en la madurez forman cráteres que contienen un polvo oscuro formado por las esporas del hongo. También ocasiona deformación de los tubérculos y a veces, ataca las raíces formando nodulos parecidos a los causados por el nemátodo Meloidogyne spp. Deben eliminarse los tubérculos afectados antes del almacenamiento.

Lama (Rosellinea spp.)

Forma micelio blanco sobre los tubérculos visibles a simple vista. En estado avanzado el micelio penetra en la pulpa y se forma estrías oscuras o sacos de esporas, el tubérculo se pone vidrioso y se deshidrata. Las pudriciones son de origen secundario. Rosellinea se presenta en suelos muy orgánicos y mal drenados del páramo; los parches afectados no deben ser almacenados.

Pudrición seca (Fusarium spp.)

Ocasiona porciones podridas de tamaño y color variable, desde blanco hasta marrón oscuro. Estos hongos saprófitos del suelo penetran por las heridas y progresan rápidamente a temperaturas de 15-20°C, alta humedad relativa y deficiente circulación de aire. Existen diferencias varietales. Requiere un manejo adecuado del producto.

Dormidera (Pseudomonas solanacearum):

Presente en suelos localizados entre 1500 y 2500 m. de altitud. La bacteria penetra a través de los lenticelos del tubérculo o a través de los estolones en plantas afectadas y se distribuye por el anillo vascular; presenta exudaciones en las yemas del tubérculo y son fáciles de distinguir por la adherencia de tierra. El método de lavar la papa en Antioquia es la solución más práctica, porque el lavado permite distinguir los tubérculos afectados en casi todos los estados. El producto afectado por dormidera no deben almacenarse por ningún motivo.

Pata negra (Erwinia atroseptica):

Esta bacteria se presenta normalmente en clima frío y páramo. Los tubérculos afectados desarrollan una pudrición negra de forma cónica en la base del tubérculo. Esta enfermedad debe controlarse especialmente en lotes destinados para semilla en el campo, excluyendo las plantas afectadas en el momento de la cosecha y manejo adecuado en la bodega.

Pudrición blanda (Erwinia carotovora):

Se presenta durante la cosecha en lotes mal drenados y existen diferencias varietales. Los tubérculos afectados desarrollan una pudrición acuosa en pocos días de fuerte olor desagradable, debido a la destrucción de las paredes celulares y fermentación. Es conveniente retener el producto por unos 10 días para facilitar la cicatrización y eliminar los tubérculos con síntomas de pudrición acuosa.

13.6 EFECTO DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO SOBRE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA SEMILLA.

En general, los requisitos para el almacenamiento de la semilla de papa son: evitar las pudriciones causadas por enfermedades y la deshidratación.

La dominación apical se presenta en tubérculos almacenados bajo condiciones favorables a la brotación. Es conveniente eliminar el brote apical para estimular la brotación de las demás yemas del tubérculo y exponerlas a la luz natural o artificial, para evitar la elongación de los brotes y penetración de agentes patogénicos.

Cuando la semilla se almacena de 3 a 4°C por un tiempo mayor al período de reposo normal de la variedad, se elimina completamente la dominancia apical, porque si este material se expone a la temperatura ambiental de más o menos 15°C, todas las yemas del tubérculo se desarrollan simultáneamente.

La temperatura de almacenamiento de la semilla puede influir sobre el número de brotes por tubérculos y en el rendimiento. Por ejemplo la variedad Stormont conservado en el invernadero entre temperaturas mínimas media de 11.5°C y máxima media de 19.5°C, el promedio de brotes por tubérculo fue 2. En cambio, la misma variedad almacenada a 2°C durante 3 meses y luego en las condiciones anteriores, el promedio de brotes por tubérculo fue 10.5.

Con respecto a producción, de 12-18°C durante 7 semanas y luego a 14-15°C durante 5 semanas se obtuvo un rendimiento de 40.5 Ton/Ha. de papa con un diámetro promedio de 4.5 cms.; mientras que a 2°C durante 20 semanas y luego de 14-15°C durante 5 semanas la producción fue de 35 Ton/Ha. de tubérculos de menor diámetro.

La semilla fisiológicamente vieja como consecuencia de un prolongado almacenamiento tiene brotes tan débiles que en condiciones desfavorables del suelo no emergen de la tierra y se presenta la formación de tubérculos pequeños directamente en lugar de tallos normales.

El estado fisiológico de la papa almacenada presenta las siguientes fases:

- a. Período de reposo propiamente dicho con actividad reducida al mínimo.
- b. Período de brotación con crecimiento vigoroso que luego decrece.
- c. Período con tendencia a formar tubérculos (translocación directa) que puede entrecruzarse con el período anterior (B).

La duración de las fases mencionadas depende de la variedad y la fluctuación de los factores ambientales, el período vegetativo del cultivo. El almacenamiento de la semilla debe ajustarse a las necesidades de producción y a las características de la variedad. Por ejemplo, si la variedad produce un promedio alto de tubérculos por planta como la Tuquerrefia (30), por medio del almacenamiento se tratará de disminuir el número de tallos principales estimulando la dominancia apical. Si por el contrario, la variedad como Monserrate produce en promedio pocos tubérculos por planta (12) el propósito será estimular la brotación de todas las yemas.

Bajo las condiciones ecológicas de Colombia, aparentemente no se requieren bodegas refrigeradas por su alto costo; en cambio, se considera indispensable utilizar las condiciones ambientales de los páramos, para la conservación y brotación de la semilla bajo el efecto benéfico de la luz natural. Será indispensable utilizar cajas de madera para disminuir el costo de mano de obra y asegurar la circulación de aire y el verdeamiento.

13.7 ALMACENAMIENTO DE PAPA DE CONSUMO.

Cualquiera que sea el método de almacenamiento, este debe tratar de cumplir los siguientes requisitos esenciales para disminuir las pérdidas causadas por:

- a. Cambios químicos indeseables.
- b. Enfermedades del tubérculo.
- c. Temperaturas extremas desfavorables.
- d. Brotación.
- e. Transpiración.
- f. Respiración.

Los cambios indeseables en la composición de la papa de consumo almacenada son el endulzamiento y la disminución del ácido ascórbico que aún no tiene control comercial. Para evitar el endulzamiento ocasionado por temperaturas de 2 a 6°C es suficiente almacenar por encima de los 10°C. El endulzamiento senescente ocasionado por la conservación prolongada y altas temperaturas, es de carácter hereditario y no es problema en el país porque la papa se consume antes de los cinco meses.

Las pérdidas causadas por enfermedades podrían disminuirse, con una clasificación estricta de la cosecha y sometiendo el producto a un período adecuado de cicatrización entre 15-20°C y alta humedad relativa, seguido de una conveniente ventilación de la bodega durante el almacenamiento. Las pérdidas de agua por transpiración también se reducen mediante adecuada suberización.

La brotación aumenta la pérdida de peso y desmejora la calidad de los tubérculos, en las condiciones naturales de las zonas productoras de papa, los antigerminantes mencionados tienen aplicación práctica y económica.

La respiración en sí ocasiona mínimas pérdidas de peso, por ejemplo, a 10°C quizá 0.12% en peso fresco durante el primer mes después de la cosecha y 0.08% por mes durante el período de almacenamiento y sube a 0.15% en caso de brotación muy avanzada. Esta pérdida comprende el peso del almidón consumido en la respiración menos el agua resultante, asumiendo que el O₂ absorbido y el CO₂ desprendido se anulan. En cambio la pérdida de materia seca es más importante, porque a 10°C es de 1.2% durante el primer mes de almacenamiento y luego de 0.8% mensual y sube a 1.5% por mes cuando avanza la brotación.

En resumen, bajo las condiciones de las zonas productoras del país de 10 a 15°C de temperatura media y humedad relativa media de 80%, es posible almacenar papa sana y seca de 4 a 5 meses, con una pérdida de peso razonable (10%) y sin que desmejore su calidad y presentación.

13.8 METODS DE ALMACENAMIENTO.

13.8.1 Almacenamiento con ventilación natural.

Como resultado de la respiración los tubérculos generan energía calórica en la proporción de 2.5 kilocalorías Kcal. por cada gramo de CO_2 liberado. Con esta base Burton et al (1955), determinaron el calor generado en un rango de 1-25°C de temperatura y demostraron que en general, entre 5 y 15°C se produce 8 a 12 Kcal/ton/hr. ese calor metabólico aumenta la temperatura de la papa por encima de la temperatura del aire circundante en la bodega. En el caso de un tubérculo aislado expuesto al movimiento libre del aire, dicho calor se disipa rápidamente con mínimo incremento de temperatura; en cambio, en la papa amontonada a granel se restringe el movimiento de aire y aumenta la temperatura de los tubérculos y del ambiente que los rodea.

El promedio de temperatura indispensable para establecer el equilibrio termodinámico en papa almacenada, se calcula mediante la siguiente ecuación de Burton (1963).

$$(T_p - T_a)^{2.8} = \frac{K}{8.94 \times 10^{-4}} \left(\frac{Qm - C}{A} \right) \quad (I)$$

- T_p = Promedio de temperatura de la papa (°C)
 T_a = Promedio de temperatura del aire ambiental (°C)
 K = Coeficiente de resistencia de la papa al flujo de aire.
 Q = Producción de calor metabólico (kcal./ton./hr.)
 m = Peso de la papa en toneladas.
 C = Pérdida de calor por conducción (kcal)
 A = Area de la superficie superior de la papa (m²).

Valores de K:

papa fresca con poca tierra	7.7 x 10 ⁻⁵
papa fresca limpia	5.3 x 10 ⁻⁵
papa fresca sucia con 20% de tierra	2 x 10 ⁻⁴

Valores de Q:

papa madura 1 a 2 meses después de la cosecha	10 kcal./ton./hr.
papa madura fresca	40 kcal./ton./hr.
papa inmadura fresca	60 kcal./ton./hr.

Como en la papa hay proporcionalidad entre peso y volumen, m/A puede ser reemplazado por h/D , donde la h = altura y $D = m^3/\text{ton}$. Aden

en grandes cantidades de papa a granel, C es pequeño en comparación con el Q m y la ecuación se reduce a la forma

$$(T_p - T_a)^{2.8} = \frac{K}{8.94 \times 10^{-4}} \frac{Qh}{D} 1.8 \quad (\text{II})$$

Si la papa genera mucho calor, o la temperatura del aire ambiental es alto, o si es flujo de aire a través de la papa se obstruyen se presenta la contingencia de recalentamiento de la masa de papa según.

$$\left(\frac{T_p - T_a + 1}{T_p - T_a} \right) = \frac{Q + SQ}{Q}$$

SQ = incremento de calor por aumento de 1°C de temperatura.

La principal utilidad de las ecuaciones I y II es que facilitan los medios para calcular la máxima altura a la cual se puede almacenar papa bajo determinadas condiciones ambientales; sin utilizar ventilación forzada y sin correr el riesgo de recalentamiento del producto. Repetimos que para preservar la calidad de la papa de consumo es necesario mantener 10°C por períodos cortos y 7°C por períodos largos. Por otra parte, Burton et al (1955) determinaron que la temperatura mínima de la papa en estado de equilibrio termodinámico fue superior a 1°C a la temperatura promedio del aire de la bodega, mientras que la temperatura máxima fue 50% mayor que la temperatura mínima o sea 1.5 T_p. Ejemplo de la aplicación de la ecuación II Datos: K = 7.7 x 10⁻⁵; Q = 10 Kcal./ton./h; D = 1.5 m³/ton y h = 3 m. Se obtiene; (T_p-T_a) = 2.9°C y por consiguiente la temperatura máxima será 4.4°C. Si el promedio de temperatura del aire de la bodega se mantiene en 6°C la temperatura de la papa será de 7 - 11°C; si la temperatura del aire varía de 6-10°C el de la papa tendrá el rango de 7-15°C, etc.

13.8.2 Almacenamiento con ventilación forzada.

Ventilación continua: En general, el método de ventilación además de ser costoso, tiene el efecto desfavorable de ocasionar pérdida de peso por remoción del vapor de agua. Por ejemplo, a 10°C, 1 m³ de aire con una deficiencia de presión de vapor (DPV) de 1 mm Hg, puede absorber 1 gramo de agua antes de saturarse. Se sabe que una tonelada de papa tiene un volumen de 1.5 m³ del cual 0.6 m³ esta ocupado por el aire.

El calor específico del aire es cerca de 0.24 Cal/g/°C y su densidad de 1.25 g/litro a temperaturas corrientes de la bodega. Cuando se aplica ventilación continua de 100 m³/ton/hr, asumiendo distribución uniforme a través de la masa de papa que genera 10 Kcal/ton/hr. cuando se llega al estado de equilibrio termodinámico,

se registra una temperatura mayor en 0.33°C en el aire de salida con respecto a la temperatura del aire introducido: (Burton, 1966).

$$Q = m C_p \Delta T \quad (\text{III})$$

$m = dg$ (d = densidad del aire 1.25/litro; g = volumen de aire $\text{m}^3/\text{ton}/\text{hr.}$)

ΔT = aumento de temperatura del aire que pasa a través de la papa $^{\circ}\text{C}$.

Con $Q = 10 \text{ Kcal}/\text{ton.}/\text{hr.}$ y $g = 100 \text{ m}^3/\text{ton}/\text{hr.}$ $\Delta T = 0.33^{\circ}\text{C}$.

Si se admite un rango de variación de temperatura de 1°C el volumen de aire de ventilación continua puede ser de $33 \text{ m}^3/\text{ton.}/\text{hr.}$

Ventilación discontinua: El método de ventilación discontinua podría emplearse en regiones donde la temperatura y humedad relativa del ambiente sean favorables para reducir la temperatura de la papa en la bodega sin causar pérdidas de peso. Sin embargo, se anota que con ventilación discontinua se obtiene el mismo grado de uniformidad de temperaturas que con la ventilación continua.

Se determinó que el calor específico de la papa en promedio es de $0.86 \text{ Cal}/\text{gr}/^{\circ}\text{C}$. Utilizando III y descartando la generación de calor metabólico de $0.01 \text{ Cal}/\text{gr}/\text{hr.}$, se tiene que para enfriar 1 Ton de papa en 1°C en promedio se requerirá ventilar con 224 m^3 de aire el cual aumentará el 1°C de temperatura al pasar a través de la papa (Burton, 1966). La rata óptima de aire depende principalmente de las condiciones ambientales, costo de energía, etc; sin embargo, es aconsejable utilizar un alto grado de ventilación rápida por corto tiempo que usar bajo volumen de aire por mayor tiempo.

13.8.3 Almacenamiento en bodega refrigerada.

Cuando hay necesidad de usar el método de enfriamiento por refrigeración se requiere conocer datos relacionados con calor que genera el producto, calor específico, resistencia al flujo de aire, velocidad de ventilación necesaria para mantener la temperatura uniforme, adecuada humedad del aire, temperatura óptima de almacenamiento y temperatura mínima sin peligro de congelación, etc, discutidos en secciones anteriores.

En bodega refrigerada de Tibaitatá, se determinó una pérdida de peso de 3% en 5 meses de almacenamiento a 5°C y 85% de humedad relativa (HR) con la variedad Parda Pastusa. El mismo material tratado con cloro IPC y almacenado bajo condiciones ambientales de 15°C y 85% de HR., tuvo una pérdida de peso de 10% en 5 meses. El estimativo económico basado en la diferencia de los precios registrados al iniciar y finalizar el experimento con 50 toneladas de papa de primer

dió un saldo favorable a la operación y mostro la posibilidad de costear la inversión en un plazo de 5 años. Sin embargo, el alto costo de inversión inicial, la necesidad de personal especializado para la operación y mantenimiento y especialmente el endulzamiento del tubérculo a 5°C, impiden su aplicación práctica en las zonas productoras del país.

13.9 CONSTRUCCION DE BODEGAS.

La construcción de una bodega de papa debe ser el resultado de una cooperación efectiva de especialistas en arquitectura, equipo mecánico, organización y fisiología del tubérculo después de la cosecha. Entre los factores de mayor importancia que se consideran en la construcción deben mencionarse: a. Clima que influye temperatura y humedad relativa y sus variaciones diarias. b. Epoca del año en que se almacenará la papa. c. Duración del almacenamiento. d. Método de manejo en cargue y descargue. e. Capacidad de la bodega y por último f. Variedad, estado y destino de la papa. En otras palabras, el almacenamiento de la papa esta íntimamente ligado a tres factores que son: papa, aire y bodega.

Hay muchos tipos de construcciones y en general, las bodegas de papa deben llenar ciertos requisitos que son:

Aislamiento: El grado de aislamiento depende de las condiciones ambientales del lugar, se requiere que la transmisión del calor sea menos de 1 Kcal /m²/hr por °C de diferencia de la temperatura en la superficie interna y externa de las paredes. El aislamiento no debe ser afectado por la presión de la papa o la humedad. En papa almacenada a granel la presión es de 1.5 ks/dm²/1 m de altura. El aislamiento de paredes y techos es indispensable en regiones de temperaturas de congelamiento.

Ventilación: La ventilación de la bodega debe ser adecuada para remover el calor generado por la respiración de la papa por consiguiente, una eficiente distribución del aire es importante tanto para ventilación como para aplicación de antigerminante. El tamaño de los ductos puede ser 15-30 cm²/ton de papa. Para calcular el tamaño del ventilador es necesario conocer la resistencia o presión estática del aire entre la papa, la cual, es de 0.08 cm de agua por metro de altura si se utiliza 70 m³/ton/hr.

Capacidad: Generalmente las bodegas de mayor capacidad tienen menor costo. Para efectos de cálculo de dimensiones se anota que 1 m³ de papa de la variedad Parda Pastusa pesa 680 Ks. y que una tonelada de papa ocupa 1.5 m³ de volumen. Las paredes de la bodega de papa deben sobresalir por lo menos 1 m por encima de la parte superior de la papa almacenada.

La papa de consumo requiere bodegas oscuras donde se ejerzan estricto control de la luz, mientras que los tubérculos semilla p su mayor consevación deben exponerse a la luz natural o artificial permite evitar pudrición y asegurar la formación de brotes cortos vigorosos.

13.10 BIBLIOGRAFIA.

1. BURTON, W.O. 1963. The basic principles of potato storage as practiced in Great Britain. Eur. Potato J. 6: 77-92.
2. BURTON, W.G. 1966. The Potato. H. Veenman & Zonen N.V. Wageningen, Holanda, 382 p.
3. BURTON, W.G., G. MANN, and H.G. WAGER. 1955. The storage of ware potatoes in permanent buildings II. The temperature of unventilated stacks of potatoes. J. Agric. Sci. 46: 150-163.
4. BUSINGER, J.A. 1954. Luchtbehandeling van producten in gestorte toestand. Verwarm. Vent. 11: 31-35.
5. DENNY, F.E. 1926. Second report on the use of chemicals for hastening the sprouting of dormant potato tubers. Am. J. Bot. 13: 386-396.
6. EMILSSON, B. 1949. Studies on the rest period and dormant period in the potato tuber. Acta Agr. Sueca. 3: 189-284.
7. LUJAN, L. 1970. Control de brotación en papa diploide (Solanum phureja) Juz. et Buk) VIII Reunión de ALAF. Bogotá. 6 p.
8. OPHUIS, B.G. and J.C. HESEN, 1957. De invloed van de ventilatiecapaciteit op the temperatuurverloop in aardappelhoop. Publ. Inst. Bewar. Verwerk. Landbouwprod. Wageningen.
9. PEREZ, E., L. LUJAN., N. ESTRADA y H.D. THURSTON. 1964. Almacenamiento de papa con antigerminantes. Agr. Tropical.
10. SMITH, O. 1968. Potatoes: Production, Storing & Processing. The Avi Publish. Co. Inc. Westport, Connecticut. U.S.A. 642 p.