

Almacenamiento de la semilla de papa bajo condiciones de luz difusa

Storage of potato seed under conditions of diffuse light

Augusto Helí Vejarano Geldres¹
César Guillermo Morales Skrabonja²

Recibido: 18 de octubre de 2014
Aceptado: 20 de noviembre de 2014

Resumen

En el presente trabajo se ha tratado de contemplar los aspectos relacionados al almacenamiento de la semilla de papa con el objeto de mantener su viabilidad, considerando las condiciones ambientales como luz, temperatura y humedad, que intervienen en el buen estado del tubérculo-semilla, como el crecimiento y desarrollo de los tubérculos, su período de reposo, la dominancia apical, el crecimiento de brotes, la senectud y la respiración.

Se ha dado énfasis a la importancia de la luz difu-

sa en su preparación para la siembra, con la que se logra el rendimiento del tubérculo-semilla y su consecuencia en el incremento del vigor en su brotamiento y ventajas en sus posteriores fases de crecimiento.

Palabras clave: Almacenamiento, semilla de papa, luz difusa, verdeamiento, reposo del tubérculo-semilla.

Abstract

In the present work are considered some aspects related to seed-potatoes storage in order to maintain its viability, considering the environmental conditions as light, temperature and humidity which play a role in the process on tuber's growing and development, dormancy period, apical dominance, growth of sprouts, senescence and the respiration.

Emphasis has been placed on the importance of

diffuse light in the preparation for the planting, to ensure seed-potatoe greening and the consequence on the increased vigor, greening and advantages on the latter phases of the growth.

Key words: Storage, seed potatoe, diffuse light, greening, seed-potatoe dormancy.

INTRODUCCIÓN

El almacenamiento adecuado de la producción de los tubérculos de papa es de vital importancia, porque permite regular el abastecimiento a la población con papa destinada al consumo de calidad y conservar hasta la siguiente temporada de siembra la capacidad de los tubérculos semilla para generar plantas vigorosas, sanas y productivas.

Los tubérculos son órganos vivos que, al estar expuestos a las condiciones ambientales durante el almacenamiento, tienden a deshidratarse y brotar después de un periodo de dormancia o latencia experimentando pérdidas de peso y de calidad. Ade-

más, están formados por tejidos que contienen un alto porcentaje de agua (71-80%). Son muy susceptibles al manejo inadecuado durante la cosecha, el transporte, el almacenamiento y el ataque de microorganismos e insectos. El conocimiento de los aspectos fisiológicos que rigen el proceso de conservación y de los métodos, los sistemas de almacenamiento y las condiciones ambientales favorables, son requisitos básicos para conservar la calidad de la papa semilla, así como la de consumo, reduciendo las pérdidas a un mínimo.

Los agricultores peruanos acostumbran almacenar los tubérculos semilla en cuartos o depósitos oscuros con poca ventilación y amontonados a granel

1 Profesor Principal de Fisiología Vegetal y Ecología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UPAO. Ex Decano de dicha Facultad.
2 Profesor del curso Cultivos Alimenticios I de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UPAO.

o en sacos. Estas condiciones hacen que el brotamiento no sea uniforme, que los brotes sean largos, blancos, débiles y tiendan a caerse en el manejo de la semilla al momento de la siembra, lo que retardará el cultivo; las plantas crecerán débiles siendo más susceptibles a plagas y enfermedades, disminuyendo el potencial de rendimiento de cultivo.

Los tubérculos destinados a la alimentación y los tubérculos destinados como semilla para reproducción asexual, tienen las mismas exigencias sustanciales, bajo el punto de vista de conservación. No obstante, siendo la conservación de semilla mucho más larga (6 a 9 meses), exige mejores cuidados.

Un buen almacenamiento de tubérculos-semilla es fundamental para garantizar un brotamiento con emergencia uniforme, plantas vigorosas y una buena cosecha.

Mientras que los tubérculos para consumo se deben almacenar en un ambiente oscuro, los tubérculos destinados para semilla deben almacenarse bajo luz indirecta.

El almacenamiento inadecuado durante el periodo de 5 a 6 meses, puede ocasionar una pérdida de peso de más del 40 por ciento en el tubérculo.

Los tubérculos inmaduros tienen un alto contenido de sacarosa en relación a la glucosa y fructosa. El azúcar fructosa es la más susceptible a cambios por temperatura de almacenamiento. A temperaturas de 10 y 20°C, la sacarosa decrece marcadamente y la fructosa y glucosa aumentan.

CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Las condiciones ambientales durante el almacenamiento, varían según se trate de papa semilla o de papa para consumo.

En tubérculos que se utilizarán como semilla es necesario conservar su vigor y la tendencia a producir brotes fuertes y sanos que darán origen a plantas con mayor capacidad productiva.

En papas para consumo, es necesario mantener las cualidades comestibles y comerciales para la alimentación humana. En ambos casos es importante regular la luz, la temperatura, la humedad relativa del aire y la ventilación. Lescano (1,986)

LUZ

Los tubérculos pueden conservarse en almacenes construidos según su destino: si es para consumo, la conservación debe realizarse en fa oscuridad y si es para semilla, debe tener luz indirecta llamada también difusa. Sin embargo, los agricultores acostumbran almacenar los tubérculos semillas en cuartos oscuros, con poca ventilación y amontona-

da a granel o en sacos. Estas condiciones hacen que el brotamiento no sea uniforme, que los brotes sean muy largos, blancos y débiles, que tiendan a causar problemas en el manejo de la semilla al momento de la siembra, lo que originará una emergencia desuniforme, plantas débiles con un mayor periodo vegetativo, más susceptible a plagas y enfermedades y por lo tanto, un menor rendimiento.

La técnica de almacenamiento de tubérculos-semillas de papa bajo condiciones de luz difusa, se denomina también técnica del "verdeo". Durante el imperio incaico se le conocía como Junco Malo.

Pavlista (2001) comenta que el verdeamiento es el proceso fisiológico debido a la exposición del tubérculo a la luz debido a la transformación de los amiloplastos en cloroplastos.

Edwards et al (1998) sostienen que los tubérculos que han sufrido verdeamiento no son adecuados para el consumo humano, debido al incremento del contenido de glicoalcaloides.

La idea de verdear la semilla de papa fue demostrada por un campesino de la comunidad de Ñahuiquiu en las alturas de los departamento de Junín y Huancavelica el año 1961, al autor del presente artículo y al señor Jesús Amaya asistente de campo en la Estación Experimental Agrícola de Junín.

La luz natural difusa, afecta el estado fisiológico de los tubérculos-semilla, aparte ir de que asegura un buen estado sanitario, un buen grado de turgencia y sobre todo un adecuado número y desarrollo de brotes del tubérculo; esto determinará el número de tallos, estolones y tubérculos, el tamaño de los tubérculos y sobre todo una mayor productividad con menor periodo vegetativo, es decir, la luz afecta la fase de brotamiento de las yemas y no el periodo de dormancia.

LA LUZ VISIBLE

La luz visible es parte del espectro electromagnético, tiene la misma velocidad en el espacio libre y difiere en su longitud de onda y por consiguiente en la frecuencia. Para algunos efectos, la energía radiante se comporta como si se desplazara en ondas y en otros casos como si se propagara a través del espacio, en forma de una lluvia de pequeñas partículas llamadas fotones. Cuando la luz natural o artificial inside durante un tiempo sobre los tubérculos de papa en las etapas de cosecha, transporte y almacenamiento, los tubérculos de papa se ponen de un color verde debido a la formación de la clorofila en el inferior de los cloroplastos. La luz favorece la transformación de leucoplastos en cloroplastos.

La formación de la clorofila está acompañada por la formación de solanina, un alcaloide tóxico ingerido en suficiente cantidad.

Castillo (1955) estudió los efectos de dos periodos de fotoexposición de luz artificial complementaria (6 y 12 horas) y tres intensidades lumínicas (1000, 2000 y 3000 luz) teniendo como testigos almacenamiento en luz natural difusa y oscuridad, durante 30 días de almacenamiento, sobre tubérculos - semilla de papa, en cultivar Canchan.

Los resultados mostraron que los efectos de períodos e intensidades lumínicas sobre la concentración de clorofila son acumulativos, el método de unidades de intensidad lumínica acumulada es un indicador indirecto del grado de verdeamiento y, por lo tanto, del estado fisiológico de los tubérculos - semilla de papa. Se encontró una mayor síntesis y acumulación de clorofila "a" y "b" en el periodo de 6 y 12 horas de luz artificial complementaria, respectivamente.

Se encontró una correlación estadística negativa altamente significativa entre la concentración de clorofila total y la longitud del brote apical y peso fresco de brotes por tubérculo-semilla, y una correlación positiva estadísticamente significativa entre la concentración de clorofila total y el número de brotes por tubérculo-semilla.

El verdeamiento fotoinducido no demostró tener efectos significativos en los días de emergencia de plantas, pero se encontró que incrementa el número de tallos principales, la altura y el área foliar por planta. El rendimiento fotoinducido no afectó el número de tubérculos por planta pero aumentó el porcentaje de tubérculos de segunda y disminuyó el porcentaje de tubérculos de tercera.

El mejor rendimiento se obtuvo con el almacenamiento de seis horas de luz artificial complementaria con 3,000 luz, así se logró un rendimiento de tubérculos de 41,332.92 kg/ha, superior al testigo almacenado en luz natural difusa en 5,416.62 kg/ha y al testigo almacenado en oscuridad en 7,333.26 kg/ha, lo que representó un 15.08 y 21.57% de incremento en el rendimiento respectivamente.

VERDEAMIENTO

El verdeamiento de los tubérculos de papa se debe a la formación de clorofila bajo el estímulo de la luz natural o artificial durante el tiempo de la cosecha, transporte o almacenamiento, la formación de clorofila generalmente está acompañada por la formación de solanina (un alcaloide tóxico que ingerido en suficiente cantidad puede ser perjudicial a la salud) y de otras sustancias como giberelinas, citoquininas, etc.

Clones y variedades de la subespecie tuberosum y andigena difieren por su capacidad de almacenamiento y sensibilidad al verdeo; es decir, existen variedades susceptibles y resistentes al verdeo. Los efectos de la intensidad y duración de la luz sobre el verdeamiento pueden ser acumulativos, o

sea que varias exposiciones a periodos cortos y de poca intensidad, pueden al final dar lugar a tubérculos sensibles a un verdeo intenso.

El carácter no sensible al verdeo es determinado por genes múltiples con dominancia incompleta.

Las variedades nativas: Yana Imilla y Chata Blanca muestran menor sensibilidad al efecto de la luz indirecta, mayor sensibilidad se presenta en las variedades Casa Blanca, Mantaro y Huagalina.

TEMPERATURA

En general la intensidad respiratoria de los tubérculos de papa aumenta lentamente al incrementar la temperatura hasta 15°C, sobre esta temperatura la respiración se incrementa marcadamente. Reduciendo la temperatura menos de 4°C también se produce un incremento marcado de la respiración. A 0°C la intensidad de la respiración es muy similar que a 20°C, la mínima intensidad respiratoria de los tubérculos de papa se encuentra entre 4°C y 5°C. Una disminución o aumento de la temperatura de almacén, a partir de este rango aumenta la intensidad respiratoria.

El aumento de la respiración a bajas temperaturas se debe a la conversión de almidón a azúcares reductores. Los tubérculos almacenados a bajas temperaturas durante cierto periodo de tiempo, se ponen dulces debido al contenido de azúcares. Las altas temperaturas inhiben la formación de la enzima fosforilasa que cataliza la hidrólisis del almidón. La síntesis de almidón es efectiva entre 8 y 32°C y la formación de azúcares predomina debajo de los 8°C y sobre los 32°C. La actividad de la enzima fosforilasa es mayor a temperaturas inferiores a 4°C que a 21 °C, e influyen en la acumulación de azúcares y aumento de la respiración a bajas temperaturas. Las enzimas amilolíticas convierten el almidón en azúcares a bajas temperaturas y convierten los azúcares en almidón a altas temperaturas. (Hayde y Morrison 1964, citados por Martínez C, 1987).

Producción de calor: El efecto más importante de la respiración de los tubérculos de papa durante el almacenamiento es la liberación del calor como producto de la respiración y su subsecuente influencia sobre la temperatura de almacenaje y sistemas de ventilación. (Booth y Shaw, 1981, citados por Martínez, 1987). La producción de calor de respiración es significativa y equivale aproximadamente a 2.5 Kg Cal/gr de CO₂ producido con la respiración. Si este calor no es removido por ventilación, entonces la temperatura de las papas podría aumentar en 0.25°C por cada 24 horas.

Cuando en un almacén de papa se produce más calor del que es removido, puede producirse un sobrecalentamiento que afectará nocivamente el proceso de almacenamiento.

La temperatura de almacenamiento y las condiciones internas de los tubérculos

influyen en la respiración y por lo tanto en la producción de calor. Para mantener baja la intensidad respiratoria de los tubérculos de papa es necesario mantener la temperatura de los almacenes entre 4 y 8°C, para esto es necesario una buena ventilación con aire frío; y para mantener una baja respiración, bajar la temperatura de almacenamiento, remover el CO₂ acumulado y reemplazar el oxígeno a fin de evitar la formación de "corazón negro" en el interior de los tubérculos. La tasa respiratoria del tubérculo de papa a 5 °C se estima entre 5 y 10 mg de CO/kg/h y a 22°C entre 7 y 17 mg de CO₂/kg/h

HUMEDAD

Méndez e Inostroza (2009), sostienen que el control de la humedad es tan importante como lo es el de la temperatura. Cuando los tubérculos son colocados en una atmósfera de humedad relativa baja, perderán humedad y se pondrán blandos y sueltos. Esto ocurrirá aunque se haya controlado la brotación por medio de la temperatura o de inhibidores. Cabe señalar que las papas blandas son susceptibles de daños por presión y por machucaduras.

Cuadro 01. Efecto de la humedad relativa sobre pérdidas que se producen durante el almacenamiento del tubérculo (%)

Humedad relativa %	Pérdidas de peso	Deformaciones por presión
80 – 85	7.7	14.6
90 – 92	6.5	6.8

Autores: Méndez P., Inostroza J. 2009

Cuando comienza la brotación, la pérdida de humedad en el tubérculo es acelerada. Por esto, los inhibidores de la brotación reducen la pérdida de humedad. El mayor movimiento de aire que es necesario realizar para bajar la temperatura, es contraproducente, porque parte de la humedad que lleva el aire saliente, proviene de las papas, y es independiente de la brotación. Esto puede evitarse agregando humedad al aire entrante, con lo que disminuye la diferencia de las presiones de vapor, entre el tubérculo y la atmósfera de la bodega.

La humedad relativa mayor al 9.5% es peligrosa. El tubérculo se hace más susceptible a las pudriciones y la humedad libre se deposita en la superficie. Cuando éstos permanecen húmedos, las lenticelas o posos de respiración se hinchan y proporcionan puntos de entrada a las bacterias.

Wierseman (1985) sostiene que el período comprendido desde el comienzo del brotamiento hasta el estado en que el 90% de los tubérculos-semilla han producido papas diminutas, es el *período de*

incubación. Se determina normalmente bajo condiciones ideales para el brotamiento: oscuridad, 15° a 20° C y humedad relativa de alrededor de 90%. Este período es expresado en días, semanas o meses.

El período de incubación de una variedad de papa es un buen índice de la sensibilidad de la misma a las condiciones de almacenamiento.

CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LOS TUBÉRCULOS

La vida de una planta de papa comienza con la formación de tubérculos madre en el ápice de un estolón. El tubérculo maduro representa a la vez la forma de propagación para los cultivos subsiguientes y el producto que se cosecha para alimentar a la población.

La papa, normalmente, se propaga de modo vegetativo, sin que se produzca cambios genéticos sustanciales.

Después de la iniciación, que se manifiesta por una activa multiplicación celular, el tubérculo de papa comienza con su proceso de crecimiento y desarrollo de manera continua, por medio de una acumulación de carbohidratos en las células recién formadas.

Estos procesos se manifiestan en cambios morfológicos y fisiológicos que dependen de las condiciones genéticas y medio ambientales. En todo momento los tubérculos tienen dos edades diferentes: una edad cronológica y otra fisiológica.

La edad cronológica se refiere a la edad del tubérculo en días, semanas o meses sin referencia a las condiciones ambientales.

Es preferible medir la edad basándose en la fecha de inicio de la tuberización que en la fecha de cosecha, pero en la práctica lo primero es difícil de determinar. La fecha de cosecha no representa un punto fijo en el desarrollo del tubérculo.

La edad fisiológica se refiere al proceso de crecimiento y desarrollo de los brotes, depende tanto de la edad cronológica de los tubérculos como de las condiciones ambientales.

Los tubérculos pueden tener la misma edad cronológica pero diferentes edades fisiológicas. (Vejarano, 1985).

REPOSO, QUIESCENCIA Y DORMANCIA

Al estado de desarrollo durante el cual las yemas de un tubérculo de papa no pueden brotar, aun cuando se encuentren bajo condiciones favorables para el crecimiento de las yemas, debido a factores internos o endógenos (control bioquímico u hormo-

nal) se le denomina *reposo*. Una vez que el reposo ha concluido, el tubérculo está apto para brotar, sin embargo, las yemas podrían aún permanecer sin brotar, debido a que está sometido a ciertas condiciones no favorables para el brotamiento como la temperatura o el fotoperiodo. Bajo estas condiciones se dice que las yemas están quiescentes, es decir, los tubérculos *quiescentes* están aptos para brotar cuando el medio ambiente le sea favorable.

Durante la quiescencia los tubérculos no brotarán si la temperatura es baja. La *dormancia* se refiere a todo el periodo durante el cual las yemas son incapaces de brotar debido a causas endógenas o exógenas. En consecuencia, el periodo de dormancia consiste tanto del periodo de reposo como el subsiguiente período de quiescencia.

El periodo de dormancia se extiende desde la formación del tubérculo, la cosecha hasta la aparición de un brote mínimo visible (0.5 cm).

MECANISMO DE LA DORMANCIA

Durante la dormancia, el genoma del tubérculo se encuentra fuertemente reprimido. Durante el período de reposo, ocurren en el tubérculo un conjunto de cambios bioquímicos y hormonales que van a contribuir en la desrepresión del genoma. Se ha observado incrementos en el contenido de sacarosa, disminución en el contenido de almidón e incrementos en el nivel de nitrógeno total. El movimiento de los aminoácidos desde los tejidos hacia las yemas se detiene. Al terminar la dormancia, el transporte de aminoácidos hacia las yemas se reanuda.

Conlago (2010) encontró que la temperatura ideal para romper la dormancia y producir brotes desarrollados está entre 18 y 20°C, y con una humedad relativa de 85% bajo luz difusa y una aplicación de ácido giberélico (5 ppm) se obtiene un 100% de verdeamiento a los 60 días.

Todos los sistemas de letargo, reposo o dormancia parecen tener el mismo mecanismo. Los días cortos promueven la síntesis de ácido abscísico, a través de un sistema mediado por el fitocromo. Cuando termina el período de dormancia, disminuye el contenido de ácido giberélico y comienza a incrementarse el contenido de giberelinas y citoquininas. El final del periodo de reposo está relacionado a un balance asociado con una disminución de sustancias inhibitoras y un aumento de sustancias promotoras de crecimiento. Se ha demostrado que el ácido abscísico inhibe el crecimiento vía inhibición de la síntesis de DNA y RNA, inhibición que puede ser revertida por las citoquininas.

FACTORES QUE AFECTAN EL PERIODO DE REPOSO

La longitud del periodo de reposo depende de factores internos o endógenos como la variedad, y factores externos o del medio ambiente, tales como condiciones ambientales durante la época vegetativa, estado de maduración al momento de la cosecha, condiciones de crecimiento, daños al tubérculo, y grado de madurez del tubérculo al ser cosechado.

1. Variedad.

Las variedades difieren en la longitud del periodo de dormancia, dependiendo posiblemente de sus factores genéticos.

Las papas andinas, especialmente las especies amargas tetraploides y pentaploides tienen periodos largos de reposo, de más de 4 meses. La variedad de papa diploide yema de huevo no tiene periodo de reposo. La mayoría de cultivares tienen un periodo de reposo de 2 a 3 meses.

2. Condiciones ambientales durante la época vegetativa.

Después de una estación de crecimiento con temperaturas elevadas, los tubérculos tienen periodos más cortos de dormancia que tubérculos provenientes de una estación templada y fría. Papas cultivadas bajo días cortos tienen periodos de reposo corto. Altas temperaturas, baja humedad y baja fertilidad del suelo durante el crecimiento del tubérculo, reducen el periodo del reposo.

3. Estado de maduración al momento de la cosecha.

Tubérculos cosechados antes de la madurez fisiológica, tienen periodos de reposo más largo que los tubérculos cosechados maduros.

4. Condiciones ambientales durante el almacenamiento

Altas temperaturas durante el almacenamiento reducen el período de dormancia. La temperatura que ha dado el período más corto de almacenamiento o período de dormancia es de 27°C y la que ha dado el período más largo es de 2°C.

El período de dormancia se alarga almacenando los tubérculos a temperaturas por debajo de 20°C y se prolonga por varios meses (6-8 meses) a temperaturas menores (4-5°C). Se ha observado que un golpe de frío o almacenamiento a bajas temperaturas (por debajo de 10°C) durante 2 a 4 semanas podría acortar el período de reposo.

Los tubérculos dañados mecánicamente o con alguna infección patológica tienen un menor período de dormancia. (Hemberg, T. 1985)

La luz parece que no tiene ningún efecto en la lon-

gitud del periodo de dormancia.

RUPTURA DEL PERIODO DE REPOSO

El periodo de reposo de los tubérculos de papa puede romperse o acelerarse por tratamientos físicos o químicos. El corte de los tubérculos-semilla acorta el periodo de reposo.

El tratamiento de los tubérculos-semilla con cloridrina maleica, etileno, glutatión, thioúrea e hidracida maleica, son sustancias que rompen el periodo de dormancia y además estimulan el brotamiento del tubérculo.

El rindite es una mezcla de cloridrina de etileno, bicloruro de etileno y tetracloruro de carbono y es muy efectiva para romper el reposo.

Aplicaciones de giberelinas, citoquininas y auxinas también rompen el reposo de los tubérculos.

También se ha encontrado que el periodo de reposo puede romperse suministrando grandes cantidades de agua a los tubérculos y manteniéndolos bajo aire húmedo, entre 20 y 35°C.

DOMINANCIA APICAL

La dominancia apical es el tiempo que sigue al periodo de reposo o dormancia de un tubérculo de papa durante su ontogenia. Se inicia después que el tubérculo ha roto la dormancia y se manifiesta cuando el brote apical tiene un tamaño mayor que 0.5 mm y termina cuando las yemas laterales del tubérculo comienzan a crecer.

Booth, R. y Shaw, R. (1983), citados por Martínez, C. (1987), encontraron que cuando el tubérculo de papa se almacena a una temperatura que promueve un periodo 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-semilla se controla la dominancia apical, se desarrollará el adecuado número de tallos, generalmente de 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.

La duración del periodo de dominancia apical difiere considerablemente con las variedades, el manejo del almacenamiento y el desbrotamiento. Temperaturas altas de almacenamiento (15 a 20°C) favorecen la dominancia apical. Almacenamiento a bajas temperaturas (4°C), seguida de una expo-

sición de los tubérculos a temperaturas mayores de 15°C, acorta el periodo de dominancia apical. La remoción del brote apical del tubérculo termina con el periodo de dominancia apical, dando lugar a la formación de brotes múltiples, contribuyendo así a una brotación uniforme y con mayor número de tallos por tubérculo. El desbrotamiento se realiza cuando los tubérculos están jóvenes. No es recomendable realizar el desbrotamiento cuando los tubérculos están en el periodo de senectud.

MECANISMO DE LA BROTAÇÃO

Cuando las yemas apicales comienzan a crecer, ocurren cambios en los tubérculos y en los brotes. La brotación está determinada por un balance entre sustancias promotoras e inhibitoras del crecimiento. Las giberelinas, citoquininas, auxinas, etileno y ácido abscísico son parte de este estado fisiológico.

Cuando las yemas comienzan a crecer, el almidón de los tubérculos se hidroliza. Este proceso cesa si las yemas son extraídas. Se supone que las giberelinas están involucradas con el control del crecimiento del brote, actúan activando la enzima alfa amilasa, en forma parecida a lo que sucede con el endospermo de la semilla de cebada.

Durante el periodo de dormancia se ha observado la formación de cristales en el retículo endoplasmático de las células periféricas; los cristales parecen ser sitios de almacenamiento de proteínas, los que desaparecen después del inicio de la brotación. Harris, P.M. (1978).

Se ha encontrado que el contenido de ácido abscísico es alto después de la cosecha y su contenido es bajo cuando se rompe la dormancia, en cambio, el contenido durante el reposo se incrementa al llegar éste a su fin.

La exposición de los tubérculos a luz difusa durante el periodo de reposo, incrementa el contenido de giberelinas, acelerando el periodo de dominancia apical.

CAMBIOS EN LAS YEMAS

El genoma de las yemas de los tubérculos de papa en estado de reposo se encuentra fuertemente reprimido. El ácido abscísico (ABA) mantiene a las células en estado quiescente. Aplicaciones de ácido giberélico (AG) incrementan la síntesis de ARN y ADN, estos incrementos preceden a la división celular. Al tratar yemas en estado de dominancia apical, se reduce la incorporación de uridina y timidina marcadas. Si se aplican juntos AG y ABA, se disminuye la síntesis de ARN y ADN. Parece que el ácido abscísico tiene un efecto directo sobre el % de la síntesis de ácidos nucleicos, además de un efecto indirecto de bloqueo de la síntesis de giberelinas. Bonner, J.(1964), Rappaport, L y N. Wolf

(1969, citados por Harris, PM. (1978)

FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO DE LOS BROTES

El crecimiento de los brotes bajo un determinado ambiente, sigue un clásico patrón sigmoide, el cual muestra considerable variación de acuerdo a la variedad, edad, tamaño del tubérculo y las condiciones ambientales del almacenamiento particularmente temperatura y luz.

Se ha encontrado que en los cultivares nativos Hueva, Perla amarilla y Amarilla del norte y en los cultivares mejorados, Canchan y Yungay, a los 90 días de almacenamiento el tamaño de los brotes apicales alcanzaron los siguientes resultados: Perla amarilla (33 mm) Amarilla del norte (18 mm), Hueva (11 mm), Canchan (32 mm) y Yungay (19 mm).

Tamaño del tubérculo: El vigor del brote depende del tamaño del tubérculo, también el crecimiento de los brotes varía directamente con el tamaño del tubérculo.

Temperatura: El crecimiento de los brotes se incrementa debido al aumento de la temperatura desde 4-5°C hasta los 15°C y aún hasta los 25°C. Para aumentos adicionales de temperatura hasta los 30°C causa una reducción en la proporción del crecimiento y posteriormente la muerte del brote.

Luz: La luz difusa durante la fase de crecimiento de la yema apical, disminuye el crecimiento de los brotes y aumenta su vigor. El mejor efecto de la luz en la disminución del crecimiento de los brotes se da a temperaturas comprendidas entre 7°C y 18°C, a temperaturas inferiores y a altas temperaturas, se pierde el efecto reductor.

BROTAMIENTO MÚLTIPLE

Cuando fisiológicamente termina el periodo de dominancia apical, se inicia el periodo de brotamiento múltiple, es decir comienzan a crecer las yemas inferiores a la yema apical. El periodo de brotamiento múltiple es el ideal para sembrar los tubérculos semilla, dando lugar en el campo a plantas con mayor número de tallos. La duración del estado de brotamiento múltiple es variable y depende de la variedad y de las condiciones de almacenamiento, así por ejemplo, bajas temperaturas de almacenamiento (4°C) prolongan el periodo de brotación múltiple. La luz difusa también ayuda a prolongar este estado fisiológico.

Al comenzar el estado de brotamiento múltiple, el tubérculo-semilla es fisiológicamente "joven" y al final es "viejo". Los tubérculos-semilla viejos no deben ser desbrotaados aunque los brotes sean muy largos, ya que pueden haber perdido su capacidad de rebrotamiento o formarán tallos muy débiles. La

mejor manera de inducir a la brotación múltiple es retardando el crecimiento de los brotes apicales y prolongando el periodo de dormancia. Esto se puede lograr almacenando los tubérculos a bajas temperaturas (4°C), hasta que termine el estado de dominancia apical, luego se incrementa la temperatura de almacenamiento (encima de 15°C) lo que dará lugar a la formación de brotes múltiples. La remoción del brote apical del tubérculo, induce la formación de brotes múltiples y contribuyen a un brotamiento uniforme de los tubérculos, lo cual da lugar a un gran número de tallos y mayor número de tubérculos que se manifiesta en un mayor rendimiento. El desbrotaamiento de los tubérculos semilla de papa debe realizarse cuando los brotes apicales están aún jóvenes.

SENECTUD

El estado de senectud de los tubérculos-semilla se caracteriza por los siguientes síntomas visuales:

- Excesivo deterioro de los brotes.
- Tubérculos arrugados y flácidos.
- Producción de brotes largos y débiles (ahilados).
- Producción de papas diminutas directamente en los brotes, ya sea antes de la siembra o durante la emergencia.

Los tubérculos-semilla en estado de senectud ya no son capaces de generar altos rendimientos, por lo que no es recomendable utilizarlos como semilla. La senectud puede ser retardada mediante la producción en lugares donde exista baja temperatura como la zona agroecológica SUNI y almacenando la semilla a bajas temperaturas (4°C).

Tubérculos-semilla producidas durante una temporada cálida, alcanzan el estado de senectud más pronto que los producidos durante una temporada fría.

DISPONIBILIDAD DE OXÍGENO

La presencia del oxígeno es esencial para la respiración de los tubérculos de papa, sin embargo, las enzimas de la respiración tienen una alta afinidad por el oxígeno y por lo tanto trabajan con baja disponibilidad de este. Cuando la concentración del oxígeno disminuye por debajo de la concentración atmosférica (21%) en torno a las células vegetales, la respiración disminuye hasta que se llega a un mínimo. Pero concentraciones aún menores del mínimo provocan un rápido aumento de la producción de CO₂. En los tubérculos de papa y tejidos voluminosos, más del 1% del volumen lo ocupan los espacios intercelulares por donde difunden los gases. La respiración es nula en ausencia de oxígeno pero aumenta en forma lineal hasta alcanzar el 2% de concentración del oxígeno; por arriba de este valor la respiración varía muy poco.

Si el oxígeno disminuye progresivamente, existe un punto, que se encuentra alrededor de 0.5% en que funciona al mismo tiempo la respiración y la fermentación, por debajo de este valor no hay respiración y predomina la fermentación. Cuando existe un abastecimiento inadecuado de oxígeno en los almacenes se manifiesta la enfermedad fisiológica conocida como "corazón negro", debido al proceso de fermentación a temperaturas altas (> 30°C) o a 0°C. El corazón negro puede presentarse aún en presencia de una concentración normal de oxígeno.

Las variaciones en el contenido de oxígeno en la atmósfera aérea son pequeñas para influir apreciablemente sobre la respiración, lo que no ocurre con la atmósfera del suelo.

FACTORES PREVIOS AL ALMACENAMIENTO

Factores previos al almacenamiento de los tubérculos de papa afectan significativamente la conservación de tubérculos para consumo o semilla. Entre los factores principales podemos citar los relacionados con las condiciones del cultivo: la cosecha, el transporte, las condiciones sanitarias, el grado de enmalezamiento, el nivel de fertilización, los daños mecánicos durante los trabajos culturales, el estado de madurez, las condiciones de clima y de suelo y el grado de madurez fisiológica de los tubérculos.

Los tubérculos son muy susceptibles a los daños que se producen durante la cosecha, recolección y transporte.

Las heridas que se producen durante la cosecha, facilitan la entrada de patógenos al tubérculo dando lugar a pudriciones y alteraciones fisiológicas durante el almacenamiento. El 50% de los problemas de almacenamiento provienen de los factores previos al almacenamiento.

Entre los patógenos que causan pudriciones en los tubérculos de papa se encuentran hongos del género *Fusarium* y *Phytophthora* y bacterias del tipo *Erwinia carotovora*, causantes de numerosas pudriciones húmedas durante la conservación.

Los daños superficiales (cortes, peladuras) son más comunes cuando los tubérculos están turgentes, en cambio los daños internos serán de mayor consideración cuando el producto está deshidratado.

Los semilleros de papa se cosechan generalmente antes de la madurez total de la planta, mediante la eliminación prematura del follaje, iniciándose la cosecha cuando los tubérculos han alcanzado la firmeza de la piel. Cuando se usan defoliantes químicos (Paraquat y Diquat) se recomienda esperar unos 15 días para iniciar las labores de cosecha.

Con la cosecha temprana, se logra evitar infecciones tardías de enfermedades fungosas a fines de temporada y se evita la contaminación de los tubérculos con esporas del hongo, en las ocasiones que se presenta ataque de tizón tardío (*Phytophthora*).

RESPIRACIÓN

La respiración se puede definir como la oxidación de los alimentos (carbohidratos, proteínas y grasas) en el interior de las células vivas en presencia de oxígeno para producir la energía y los compuestos intermediarios necesarios para la vida de los individuos

El almidón se convierte en azúcares (glucosa) y se pierde al servir como sustrato respiratorio, aumentando durante el almacenamiento las pérdidas de materia seca. Los efectos más marcados de la respiración durante el almacenamiento de los tubérculos de papa son: pérdida de materia seca, aumento de CO₂ y producción de calor. A mayor respiración, mayores serán las pérdidas de peso seco del producto almacenado así como el incremento del CO₂ y de calor. La intensidad respiratoria de los tubérculos de papa depende de factores internos como variedad, edad fisiológica y factores ambientales como: temperatura, luz, concentración de CO₂, presión parcial de oxígeno, productos químicos, heridas y golpes en los tubérculos.

Manrique, K. s/f, Pingle, B. y otros (2009), sostienen que el agua es el principal componente del tubérculo de papa, con más del 75% de su contenido; ésta se pierde por efecto de la respiración.

Al momento de ser cosechados y durante su almacenamiento, los tubérculos continúan realizando procesos fisiológicos propios, desde el punto de vista de post-cosecha, el más importante es el de la respiración, proceso por el cual el oxígeno atmosférico es aprovechado para metabolizar azúcares y almidón y dar como resultado dióxido de carbono y calor. El calor producido reduce la humedad relativa (HR) del aire, con lo cual se origina una gradiente de flujo de agua del interior del tubérculo al exterior, dando como resultado la pérdida de agua del tubérculo.

BIBLIOGRAFÍA

- Castillo, H. 1995. Efectos de la fotoexposición en ocho ambientes controlados durante el almacenamiento de tubérculos-semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.) sobre el rendimiento y calidad comercial del cv. Canchan. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.
- Conlago, M. 2010. Evaluación de temperaturas y acelerantes en tubérculos – semillas de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L) provenientes de un sistema aeropónico. Tesis de grado previa a la obtención del Título de Ingeniería Agrónoma. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 79 páginas.
- Edwards, E.J., Saint, R. and Cobb, A. 1998. Is there a Link Between Greening and Light-Enhanced Glycoalkaloid Accumulation in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubers? J. Sci. Food Agric 76, 327 – 333.
- Harris, PM. 1978. The potato crop: The scientific basis for improvement. Editado por PM Harris. Publicado por: London: Chapman and Hall, Bibliotecas Australia.
- Hemmers, T. 1995. Potato rest. In Li PH (ed) Potato physiology. Academic Press. J Sci Food. Pag. 353 – 358.
- Lescano, C. 1986. Almacenamiento de papas. Universidad Agraria La Molina.
- Manrique, K. s/f Pingle, B. et al. 2009. Pérdidas por manipuleo y transporte. INCOPA. Proyecto Papas Andinas. Centro Internacional de la papa. Lima-Perú. 16p.
- Martínez, C. 1987. Aspectos fisiológicos en el cultivo de papa. Programa de Papa. Universidad Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Mendez, P e Inostroza, J. 2009. Manual de Papa para la Araucanía: Manejo de Cultivo, enfermedades y almacenaje. Boletín INIA N° 194. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. Centro Regional Carillanca. Imprenta Fénix. Temuco, Chile.
- Pavlista, A. 2001. Green Potatoes: The Problems and the Solutions. New Guide on Line G 01-1437-A
- Vejarano, A. 1985. Aspectos fisiológicos del tubérculo cosechado. IV Curso Internacional sobre cultivo de la papa con énfasis en la producción de semilla. Universidad Agraria La Molina – Centro Internacional de la Papa. PNUD. Huancayo, Perú.
- Wiersman, SG. 1985. Desarrollo fisiológico de tubérculos-semilla de papa. Boletín de Información Técnica N° 20. Centro Internacional de la papa. Lima. Perú. 16 pp.