

Lauro Luján\*

## I. INTRODUCCION

La papa se cultiva para la producción de tubérculos. El tubérculo de papa es un tallo subterráneo modificado, con su eje longitudinal muy reducido y órganos laterales poco desarrollados. El tubérculo es un órgano de almacenamiento de materiales de reserva y, por su contenido de nutrientes y agua, es el más apropiado para la propagación vegetativa de la planta.

La reproducción asexual de la papa permite mantener casi inalterable su constitución genética, con excepción de mutaciones somáticas. Sin embargo, esta propagación vegetativa facilita la acumulación y diseminación de enfermedades causadas por virus o similares que reducen sistemáticamente la capacidad productiva de la planta, si no se aplican métodos adecuados de producción de semilla.

El aspecto externo del tubérculo demuestra claramente su semejanza con el tallo aéreo. Las rosetas de yemas más conocidas como "ojos", representan nudos y están distribuidas sobre una espiral alrededor del eje principal del tubérculo. Cada roseta de yemas axilares está ubicada en depresiones suaves o profundas bordeadas por una incipiente cicatriz a manera de coja invertida. Además, a diferencia de raíces tuberosas, el tubérculo puede generar clorofila a partir de las protoclorofila que contiene, bajo el estímulo de la luz natural o artificial.

Por último, el tamaño, forma, profundidad de ojos, color de la piel, color de la pulpa, color de los brotes y contenido de materia seca de los tubérculos constituyen características varietales.

## II. TUBERCULO Y ESTOLON O RIZOMA

La vida de la planta de papa se inicia con la formación del tubérculo en el estolón o rizoma de la planta madre.

El estolón es un tallo subterráneo lateral con incipiente expansión de hojas y el extremo terminal en forma de gancho. El estolón normalmente, crece en sentido horizontal, su longitud varía según la variedad y cuando está descubierto se transforma en tallo aéreo.

La primera indicación de la formación del tubérculo, es un ligero ensanchamiento del extremo comprendido entre el penúltimo y último nudos del estolón, o sea el segmento denominado punta de estolón que ocupa la zona adyacente a la yema terminal. Chapman (1958) y Madec (1963) sugieren que, además de la presencia del estímulo de tuberización generado por las hojas y también presente en el tubérculo madre, parece necesario que las puntas de los estolones alcancen una edad fisiológica para iniciar la tuberización.

\* Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D. Coordinador del Programa Nacional de Tuberosas del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Los cambios anatómicos que ocurren en la punta del estolón durante la etapa inicial de la tuberización fueron estudiados por Artschwager (1924), determinándose que el crecimiento inicial del tubérculo se debe a la sucesiva división celular de la médula. Actualmente se sabe que, simultáneamente al crecimiento y división radial de las células de la médula, las células de la corteza periférica comienzan a dividirse radialmente. Después de que la división celular de la médula llega a su punto máximo y los cambios descritos ocurren en la corteza, el floema interno y externo llegan a ser las zonas de mayor crecimiento (Booth, 1963).

El crecimiento y desarrollo del tubérculo puede sintetizarse en los siguientes puntos:

- 1- El crecimiento del tubérculo se debe principalmente al ensanchamiento de la zona perimedular y es de origen procambial.
- 2- La médula y la corteza se forman por diferenciación del parénquima primario que a su vez se deriva del meristemo apical del estolón, aún antes de haberse iniciado la tuberización.
- 3- El procambium da origen al floema externo, xylema primario, floema interno, parénquima asociado y el parénquima interfascicular.

Por otra parte, como el almidón es el principal producto almacenado, se supone que las condiciones que favorecen la elaboración y translocación de dicho carbohidrato, también influyen sobre el crecimiento del tubérculo. En consecuencia, la formación y crecimiento del tubérculo está íntimamente sujeto a la síntesis de carbohidratos, al excedente de carbohidratos requeridos para el crecimiento de raíces y follaje y a la translocación de dicho excedente de las hojas a los tubérculos.

Generalmente se considera que la primera fase de crecimiento corresponde al aumento de tamaño del tubérculo y la formación de yemas, hasta que el engrosamiento se detiene como consecuencia de la muerte de la planta madre. Según Moorby (1967), los tubérculos crecen individualmente en los diferentes períodos de su desarrollo, por consiguiente, el tubérculo más grande en un momento dado no es aquel que inició su formación primero ni aquel que se desarrolló con mayor velocidad, sino que todos los tubérculos compiten por el material fotosintético. Este hecho permite explicar porque algunos tubérculos de una misma planta escapan a la infección de virus sistémicos.

#### ANATOMIA DEL TUBERCULO MADURO

<u>Zona</u>	<u>Tejido</u>
Periderma (Piel).	Células muertas con membranas suberizadas - (corcho).
	Felógeno y feloderma.
Corteza.	Parénquima cortical.
Anillo vascular.	Protofloema exterior y parénquima asociado, algo de protofloema interno y parénquima asociado. Otros tejidos de floema y xylema primario.
Zona perimedular.	Floema interno y parénquima asociado. Rayos medulares.
Médula.	Parénquima medular.

El periderma o piel consta de 8 a 15 capas de células suberizadas de 100 a 200 micras de diámetro. La corteza tiene 1 a 2 mm de espesor e incluye tejido de almacenamiento de pocos mm. La zona perimedular es un tejido de almacenamiento y comprende la mayor parte del tubérculo. El tejido transparente de la médula ocupa la parte central y de este parten las conexiones laterales hacia las yemas.

Los tubérculos sometidos a daños mecánicos como peladuras, magulladuras y cortes, tienen la capacidad de generar tejido suberoso que es tan efectivo como la piel normal, para reducir la evaporación e infección de las superficies afectadas. El período de cicatrización es de 15 días, bajo condiciones de almacenamiento a 15°C de temperatura y 90% de humedad relativa.

ANÁLISIS QUÍMICO APROXIMADO DE LA PAPA (Schwimmer y Burr, 1967).

	Promedio %	Rango %
Agua	77.5	63.2 - 85.9
Total sólidos	22.5	19.1 - 36.8
Proteína	2.0	0.7 - 4.6
Grasa	0.1	0.02 - 0.96
Carbohidratos: Total	19.4	13.3 - 30.52
Fibra cruda	0.6	0.17 - 3.48
Cenizas	1.0	0.44 - 1.9

### III. PERÍODO DE REPOSO Y BROTAÇÃO

En el momento de la cosecha y después de completar su desarrollo fisiológico normal, los tubérculos se encuentran en un período de reposo durante el cual, las yemas no presentan crecimiento visible ya sea por causas internas o externas. Según Burton (1966) el período de reposo depende de la interacción de factores fisiológicos y bioquímicos influenciados por condiciones externas. Además, considera que un aspecto fundamental del período de reposo es el hecho de que, aunque no ocurre crecimiento visible de las yemas, existe un potencial de crecimiento que puede activarse tan pronto ocurran ciertos cambios. También considera que el período de reposo debe tomarse en cuenta desde el momento en que el estolón detiene su crecimiento longitudinal y se inicia la tuberización.

Los conceptos de Burton sobre el período de reposo del tubérculo pueden resumirse así: Primero, el establecimiento del estado de reposo que coincide con la iniciación de la tuberización, por medio de algún cambio en el equilibrio fisiológico de la punta del estolón. Dicho cambio puede ser condicionado por la actividad del follaje, posiblemente a través de la transferencia de algún factor de naturaleza hormonal que inicia la tuberización, como fue sugerido por Chapman (1958), Madec y Perennec (1959-1962), o debido al incremento y sostenimiento de una alta velocidad de respiración en la punta del estolón. Después se presenta un cambio del equilibrio establecido hacia un estado favorable para el crecimiento de las yemas. Las variaciones de los factores ambientales se superponen a ese cambio, siendo algunas de influencia imperceptible y otras de amplio efecto que pueden provocar una temprana reanudación del crecimiento, o por el contrario, prolongar el período de reposo.

La duración del período de reposo varía de acuerdo con la variedad, condiciones ambientales durante el período vegetativo del cultivo, fecha de cosecha y la temperatura de la bodega especialmente en el período inicial de almacenamiento.

La brotación es la reanudación del crecimiento al final del período de reposo del tubérculo.

El crecimiento de los brotes puede describirse como:

División celular + aumento de tamaño de las células + diferenciación

En la reproducción asexual la división mitótica o normal de las células ocurre en puntos de crecimiento activo. En la mitosis los cromosomas de la célula madre se dividen longitudinalmente en dos partes iguales y junto con la porción de citoplasma correspondiente forman las nuevas células.

Durante el aumento de tamaño de las células, la estructura de la pared celular es elástica, permeable y la célula absorbe agua. La expansión celular está influenciada por reacciones bioquímicas y físicas.

En la última fase, las células agrandadas y con paredes más gruesas y menos permeables, se diferencian para integrar tejidos que forman parte de tallos, raíces y tubérculos en el caso de tuberización. La brotación puede acelerarse o retardarse con productos químicos.

Todavía se conoce muy poco acerca de los procesos bioquímicos que intervienen en el período de reposo y la brotación del tubérculo. Burton (1966) enfatiza que los investigadores deben analizar el estado fisiológico y bioquímico del tubérculo en reposo o en brotación como un todo.

a) **Dominancia Apical:**

La dominancia apical se manifiesta al finalizar el período de reposo del tubérculo, como una reacción natural de un tallo normal. La dominancia apical se presenta cuando el tubérculo se almacena a temperaturas que acortan su período de reposo, debido a que la yema central de la roseta apical inicia su crecimiento mientras que las otras yemas del tubérculo permanecen aparentemente inactivas. Si por otra parte, el tubérculo se almacena a temperaturas que prolongan su período de reposo, la brotación se inicia simultáneamente en todas las yemas del tubérculo cuando se aumenta la temperatura de almacenamiento. En el primer caso, para estimular la brotación de las demás yemas del tubérculo, es necesario eliminar el primer brote apical.

El número de brotes desarrollados en cada tubérculo semilla normalmente coincide con el número de tallos principales de la planta nueva. La pregerminación y las distancias de siembra inciden directamente sobre el rendimiento obtenido por unidad de superficie. Se considera que la densidad de población y la dosis de fertilizante debe determinarse por cada variedad de papa bajo condiciones regionales.

b) **Temperatura de almacenamiento:**

La temperatura de almacenamiento ejerce una gran influencia sobre el potencial de producción del tubérculo semilla. En las principales zonas productoras de semilla las temperaturas medias anuales varían de 8 a 12°C.

Cada variedad de papa requiere un tiempo determinado para activar la brotación de sus yemas, por consiguiente también difieren en su reacción a las temperaturas de almacenamiento. Bajo condi-

ciones naturales debe recurrirse a métodos auxiliares para inducir la brotación, de acuerdo a caracteres varietales así por ejemplo, si una variedad como la Tuquerreña tiene tendencia a producir numerosos tubérculos que no engruesan en forma conveniente para el mercado, debe estimularse el desarrollo de pocos brotes manteniendo las condiciones que favorecen la dominancia apical. Si por otra parte, las variedades producen normalmente pocos tallos principales y tubérculos como Diacol, Monserrate e ICA Morazurco, deben eliminarse los primeros brotes para estimular la brotación de todas las yemas. En el momento de la siembra, la longitud más conveniente de brotes es de 1 a 2 cms.

c) **Verdoreamiento:**

Los tubérculos semilla expuestos a la luz natural o artificial generan clorofila de acuerdo al tiempo de exposición. En los tubérculos verdes, disminuye la evaporación y aumenta la resistencia a la penetración de patógenos.

Los brotes desarrollados bajo la influencia de la luz natural o artificial también tienen clorofila, son más cortos y gruesos, por consiguiente, se pierden ménos brotes durante la siembra y se obtienen plantas más vigorosas.

d) **Influencia del lugar de producción:**

En Tibaitatá, bajo condiciones naturales de almacenamiento a 15°C y 75 % de humedad relativa, a los 3 meses se registraron brotes de 3 mm de longitud en tubérculos de la variedad D. Monserrate producido a 3.100 m de altitud, mientras que los cosechados en Tibaitatá a 2.600 m iniciaron su brotación a los 4 meses. Este material fue producido con la misma semilla, en el mismo semestre y cosechado despues de su maduración fisiológica normal.

e) **Edad fisiológica:**

En el comportamiento del tubérculo almacenado se distinguen tres períodos que son:

- 1) Período de reposo, estado fisiológicamente inmaduro y no apto para la siembra.
- 2) Período de brotación creciente al principio y decreciente al final, estado fisiológicamente maduro y apto para la siembra.
- 3) Período con marcada tendencia a tuberizar, estado fisiológicamente senescente o de semilla pasada, que produce plantas débiles o no emerge bajo condiciones adversas del suelo. La semilla vieja produce tubérculos anormales aun sin que los brotes emerjan del suelo, en condiciones desfavorables para la germinación.

IV. **PROPAGACION ASEXUAL O VEGETATIVA**

a) **Tubérculo entero**

La papa cultivada se reproduce por tubérculos enteros y este método posiblemente se sigue desde la domesticación de esta planta. Las primeras referencias escritas sobre el uso del tubérculo como semilla, corresponden a Juan de Castellanos ( 1686 ) y al Botánico Clusius ( 1.601 ), quien recomienda la propagación por tubérculo para evitar la variación de los caracteres. En Colombia, se recomendó el uso de semilla entera para la producción comercial de papa.

La disminución del rendimiento por causas degenerativas indujo al inglés Anderson en 1975 ( citado por Stewart, 1923 ) a sugerir el uso de semilla procedente de plantas mas vigorosas y productivas. Un siglo mas tarde, se hizo la misma recomendación en Colombia por Michelsen ( 1894 ). Con estos antecedentes se inició la selección masal y por plantas o planta línea.

b) Tubérculo unidad o tubérculo línea:

Es un sistema de propagación por tubérculo cortado en varios pedazos que se consideran como unidad para fines de saneamiento, en producción de semilla.

El método de tubérculo unidad, propuesto por Webber ( 1908 ), consiste en cortar tubérculos grandes en varios pedazos, los cuales se siembran uno al lado de otro y convenientemente separados de los pedazos de otros tubérculos. Este método de propagación facilita la identificación de grupos de plantas idénticas y aparentemente sanas, eliminando las anormales y con síntomas visibles de virosis. Según Harden-burg ( 1949 ), este método de campo fue efectivo en la producción de semilla certificada en Estados Unidos, la cual, finalmente es progenie de un solo tubérculo línea.

c) Indiciación del tubérculo:

Para obviar la necesidad de tardar un año en la comprobación de la sanidad de la semilla, como en el caso del tubérculo unidad, Blodgett et. al. ( 1922 ) propusieron el método de invernadero conocido como indiciación del tubérculo. Este método es aplicado en los programas de producción de semilla, consiste en seleccionar tubérculos grandes y cortar una yema incluyendo una pequeña porción del tejido circundante, bajo condiciones asépticas. Los pedazos cortados se siembran en materos de 10 cms de diámetro y se numeran con el mismo del tubérculo madre. Cuando las plantas llegan a un tamaño conveniente se procede a detectar o indiciar la presencia de virus mediante métodos adecuados. De acuerdo con los resultados, se descartan antes de la siembra, los tubérculos que originaron plantas enfermas.

d) Cultivo de tejidos meristemáticos:

El cultivo del meristemo apical de los brotes para obtener plantas libres de virus, se basa en el hecho de que algunas veces, las células de los puntos de crecimiento terminal no están infectados de virus aunque lo esté el resto de la planta.

El meristemo apical consta de tejido meristemático en forma de cúpula unido por lo menos a un primordio de la hoja y mide 0.1 a 0.5 mm de ancho, largo y espesor (cubo)- El tejido apical se coloca en medio nutritivo y condiciones ambientales favorables para el desarrollo de las plantulas, cuya sanidad se comprueba posteriormente. En algunos casos es necesario combinar el cultivo de tejidos con tratamiento de los brotes con calor para obtener plantas sanas. Este método de laboratorio se utiliza para producir el material inicial de semilla básica.

e) Propagación por esquejes:

El método de propagación por esquejes o fragmentos de tallos, se usa para la multiplicación rápida de semilla básica. Según el informe anual ( 1975 ) del Centro Internacional de la papa ( CIP ), este

método consiste en plantar el tubérculo sano en un local a prueba de insectos. Cuando la planta tiene 20 a 30 cms de altura, se corta el meristemo apical para estimular el desarrollo de las yemas laterales que forman ramas, las cuales se cortan a 10 cms de ápice y se enraizan en arena por 15 días.

## V. PROPAGACION SEXUAL

El método de propagación sexual de la papa se utiliza en el mejoramiento genético. Normalmente la semilla sexual produce plántulas libres de virus con pocas excepciones; sin embargo y debido a la heterosis, la progenie corresponde a una mezcla de genotipos.

La propagación sexual se efectúa por medio de la unión de gametos haploides, formados a través de la división de reducción o meiótica en la cual, el número de cromosomas de la especie se reduce a la mitad. La fecundación restaura el número normal de cromosomas.

Las posibilidades de producir papa comercial a partir de semilla sexual en regiones de alta demanda de alimentos merece examinarse. Los tubérculos semilla podrían utilizarse para el consumo y además se podría eliminar la necesidad de un programa sofisticado de certificación de semilla.

Según Rowe ( 1975 ), la enorme segregación de la progenie de cruza- mientos hizo difícil concebir dicho esquema hasta el presente; sin embargo el trabajo de S. J. Pelequin y su grupo de la Universidad de Wisconsin, aporta por lo menos una solución parcial a este problema, encontrándose que la progenie tetraploide de cruces  $(4n)$  tetraploide  $\times (2n)$  di- ploide y  $(2n) \times (2n)$  fue muy uniforme así como vigorosa y de alto rendimiento. Tal esquema parece factible y con posterior mejora- miento y selección, probablemente se obtendrá semilla mejorada.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Artschwager, B. 1924. Studies on the potato tuber. J. Agr. Res. 27: 809-835.
- 2.- Bledgett, F. M., K. H. Fernow, and F. R. Perry. 1922. Testing seed po- tatoes for mosaic and leafroll. II. Ref. Phytopathology 12: 40.
- 3.- Booth, A. 1963. The rôle of growth substances in the development of stolens, In: J. D. Ivins and F. L. Milthorpe ( eds. ); The Growth of the potato, London, Butter worth & Co. Ltd. p. 99-113.
- 4.- Barton, W. G. 1966. The potato. A survey of its History and of factors influencing its yield, nutritive value, quality and storage. Second edition. H. Veenman & Zonen N. V., Wageningen, Holanda. 382 p.
- 5.- Castellanos, Juan de. 1886. Elogios de varones ilustres de Indias. Parte 4. En colección de escritores castellanos, 2 volúmenes. Madrid.

- 6.- Chapman, H. W. 1958. Tuberization in the potato plant. *Physiologia Pl.* 11 : 215 - 224.
- 7.- Clusius, C. 1601. *Rariorum Plantarum Historia (Arachidnae; Papas Peruanorum)* Antverpiae. 295 p.
- 8.- Hardenburg, E. V. 1949. *Potato production*, Comstock Publishing Co. INC. New York. 270 p.
- 9.- Madec, P. 1963. Tuber forming substances in the potato, In. *The Growth of the potato*, J. D. Ivin and F. L. Milthorpe ( eds ). Butterworth & Co. Ltd. London. p. 121-130.
- 10.- Madec, P. and Perennec, P. ( 1959 ). Le role respectif du feuillage et du tubercule-mere dans la tubérisation de la pomme de terre. *Eur. Potato J.* 2, 22-49.
- 11.- Madec, P. and Perennec, P. ( 1962 ). Les relations entre l'induction de la tubérisation et la croissance chez la plante de pomme de terre ( *Solanum tuberosum* L. ). *Ann. Physiol. vég.* 4, 5-84.
- 12.- Michelson, Carlos. 1894. *Cultivos experimentales. Papas.* *El Agricultor.* Serie 10 a : 529-570.
- 13.- Moorby, J. 1967. Inter-stem and inter-tuber competition in potatoes. *Eur. Potato J.* 10 : 189-205.
- 14.- Rowe, P. R. 1974. The possibilities of growing potatoes from botanical seed. In. *Report of the International Potato Center's Planning Conference on Seed. Production technology.* p. 123-125.
- 15.- Stewart, W. 1923. *The potato. Its culture, uses, history and classification.* J. B. Lippincott. Co. Philadelphia. 518 p.
- 16.- Webber, H. J. 1908. *Cornell University Sta. Bull.* 251: 322 - 332.