

## CAPÍTULO 5



# LA PLANTA DE PAPA: ECOFISIOLOGÍA Y NUTRICIÓN MINERAL

Darío Barona  
Julián Mateus-Rodríguez  
Fabián Montesdeoca





## ■ ¿QUÉ NOS PROPONEMOS EN ESTE CAPÍTULO?

- Entender la fisiología de la papa y su relación con la productividad de tubérculos, con énfasis en los procesos y mecanismos determinantes de su crecimiento, rendimiento y calidad.
- Facilitar el manejo del cultivo aeropónico a través de conocer la fisiología de la planta relacionada con el ambiente (clima, acceso a nutrientes, etc.).



## LA PLANTA DE PAPA



Foto: Peter Kromann.

Planta de papa. INIAP-Quito, Ecuador.

La papa (*Solanum* spp.) es una planta que fue domesticada en el altiplano peruano-boliviano. Desarrolla un sistema radicular fibroso y muy ramificado, ya sea a partir de la radícula de una plántula proveniente de tubérculos-semilla, de plántulas *in vitro*, o de raíces adventicias en plántulas provenientes de brotes de tubérculos o esquejes enraizados, que podrían usarse en los módulos de aeroponía como material de partida<sup>39</sup>.

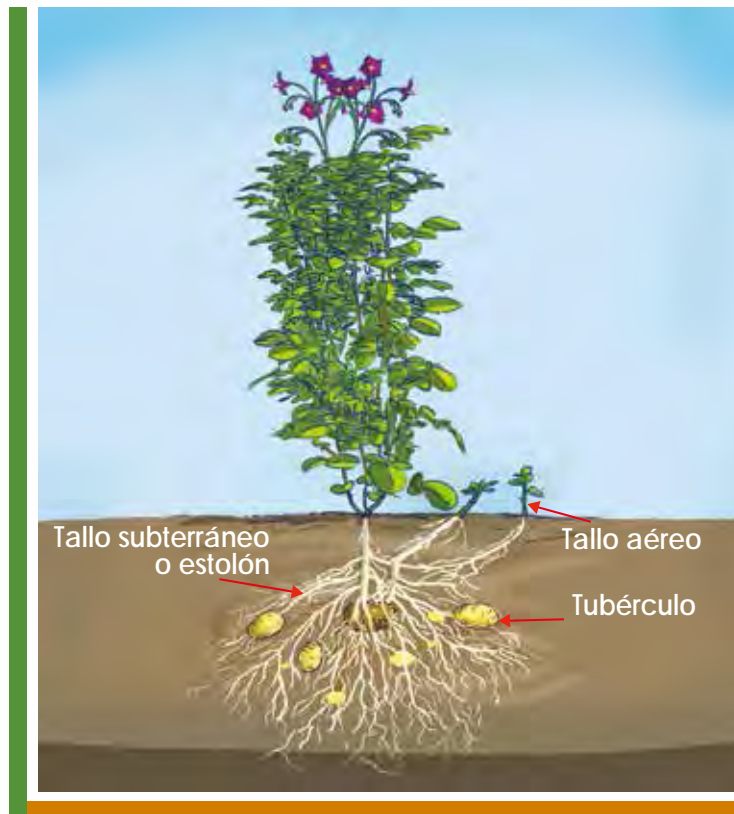
En aeroponía, el cultivo de papa puede llegar a cubrir totalmente la superficie del módulo aeropónico en un lapso de 35 a 40 días después del trasplante. El crecimiento del follaje es el resultado de dos procesos combinados:

- ramificación,
- aparición y expansión de hojas.

Los tubérculos se forman a partir del engrosamiento de la médula y de la corteza de tallos subterráneos, llamados **estolones**. La formación de los tubérculos se inicia con el desarrollo de los estolones, seguido de la **tuberización**, es decir, el engrosamiento de la región subapical de los estolones. Estos procesos están afectados por factores ambientales como la temperatura y el fotoperiodo.

Si el estolón recibe luz solar, forma un tallo aéreo con raíces en vez de tubérculos.

<sup>39</sup> Burton, 1989; Cutter, 1992; Dean, 1994.



El desarrollo de los estolones es controlado por las condiciones que prevalecen en la parte basal del tallo: humedad y oscuridad, que inducen la producción de las hormonas vegetales —ácido giberélico, ácido abscísico y ácido indolacético— que estimulan el desarrollo de estolones y de tubérculos. Por otro lado, la presencia de una alta cantidad de nitrógeno, de luz y de calor inducen la producción de citoquininas, que estimulan el desarrollo de tallos aéreos y de hojas<sup>40</sup>.

### ¡Importante!

La formación de hojas en los estolones podría suceder en los módulos aeropónicos, si no estuvieran debidamente cerrados (y por lo tanto entrara luz) o por variaciones de temperatura.

## ¿QUÉ FACTORES INFLUYEN EN EL DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE LOS TÚBERCULOS DE PAPA?

Los principales son:

- Genético
- Edad fisiológica
- Fotoperiodo y calidad de luz
- Humedad
- Nutrientes

<sup>40</sup> Cutter, 1992.

## Factor genético

El factor genético, es decir, la variedad, define en gran medida la producción en campo y también en aeroponía. En los países andinos, el número de minitubérculos por m<sup>2</sup> que se obtuvo con aeroponía, ha variado entre 500 (Serranita) y 3200 (Canchán), lo cual indica la influencia del factor genético en el rendimiento.

Variedad	Minitubérculo por m <sup>2</sup>	Sitio
Canchán	3200	CIP-Huancayo
Perricholi	2500	CIP-Huancayo
Yungay	2575	CIP-Huancayo
Serranita	500	CIP-Lima
Chucmarina	600	CIP-Lima
INIAP-Fripapa	997	CIP-Quito, INIAP
INIAP-Puca Shungo	940	CIP-Quito, INIAP
INIAP-Yana Shungo	1023	CIP-Quito, INIAP
INIAP-Victoria	3105	CIP-Quito, INIAP
INIAP-Libertad	2797	CIP-Quito, INIAP
Superchola	1960	CIP-Quito, INIAP
Diacol Capiro	850	CORPOICA-Tibaitatá
Parda Pastusa	650	CORPOICA-Tibaitatá
ICA Única	950	CORPOICA-Tibaitatá
Pastusa Suprema	650	CORPOICA-Tibaitatá
Roja Nariño	750	CORPOICA-Tibaitatá

Las variedades difieren en su follaje, en la cantidad de estolones, en el patrón de la ramificación de los estolones secundarios y en la tuberización. Las de mayor influencia genética de la subespecie *andigena*, tienden a formar follaje más abundante, estolones más largos y un mayor número de tubérculos que las variedades con mayor influencia genética de la subespecie *tuberosum*.

Por ejemplo, la variedad Canchán (*ssp. andigena*) y la INIAP-Victoria (tipo *andigena* x *tuberosum*) tienen estolones de mayor longitud, y alta producción de tubérculos; mientras que en la variedad INIAP-Libertad (*ssp. tuberosum*) y en la INIAP-Fripapa (tipo *tuberosum* x *andigena*), se puede observar una formación de estolones más cortos con menor ramificación.

Fotos: Peter Kromann.



INIAP-Victoria (tipo *andigena* x *tuberosum*).  
CIP-Quito, Ecuador.



Libertad (*ssp. tuberosum*).  
CIP-Quito, Ecuador.

## Edad fisiológica

La edad fisiológica del material de siembra tiene un efecto claro sobre el desarrollo de las plantas, al afectar los estolones y la formación de los tubérculos, principalmente en el tiempo de inicio de la tuberización.

A medida que la edad fisiológica del material de siembra aumenta, la inducción de tuberización también aumenta, es decir que todos los procesos fisiológicos de la planta se aceleran y la planta induce la producción de tubérculos más rápido o en casos extremos la senescencia (madurez fisiológica) antes de la tuberización.

## ¡Importante!

Al plantar material fisiológicamente viejo, se producen plantas más pequeñas y se promueve el inicio de la tuberización y de la senescencia<sup>41</sup>.

En el caso de material de siembra para aeroponía, el uso de esquejes enraizados (material fisiológicamente viejo) disminuye el número de tubérculos, pero favorece el aumento en su peso total, produciendo mayor número de tubérculos con peso > 5 g, en comparación con el uso de plántulas *in vitro* (material fisiológicamente joven), que produce mayor número de tubérculos, pero de menor tamaño (peso < 5 g)<sup>42</sup>.

<sup>41</sup> Van Der Zaag y Van Loon, 1987; Ewing, 1997; Villafranca, et al, 1998.

<sup>42</sup> Barona, 2012.

En campo, como resultado de sembrar minitubérculos que se han almacenado por mucho tiempo y que están fisiológicamente muy maduros, se producen plantas pequeñas que inician rápidamente su tuberización y senescencia.

### Fotoperiodo y calidad de luz

El inicio de la formación de tubérculos de las plantas de papa está muy influenciado por la duración del día.

La inducción a tuberizar en las variedades de la región andina es promovida por el fotoperiodo corto, que en este caso es de alrededor de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Por esta razón, en el caso de aeroponía en la zona andina, no es necesario proveer luz adicional en las casas de malla.

Por el contrario en latitudes mayores, las variedades de papa de estas zonas tuberizan en fotoperiodos largos durante el verano, con días de más de 16 horas de luz y noches cortas.

Un incremento en la intensidad de radiación solar, por lo general, estaría relacionado con un incremento en el rendimiento final, pero en casos extremos, altos niveles de radiación están asociados también con altas temperaturas y excesiva transpiración (altos déficits de presión de vapor) que pueden ocasionar bajos rendimientos.

Una vez que los minitubérculos hayan sido cosechados, es necesario considerar el efecto de la "luz difusa", —o sea la luz que no les llega en forma directa— durante el almacenamiento.

La luz difusa produce los siguientes efectos en los minitubérculos almacenados:

- **Verdeamiento.** La piel y la pulpa de los minitubérculos toman una coloración verde, como resultado de la producción de clorofila y solanina, de sabor amargo, por lo que pueden llegar a ser tóxicos. El verdeamiento confiere cierta resistencia a la penetración de patógenos y al ataque de insectos y otros animales.
- **Rompimiento de la dominancia apical.** Muchas variedades de papa tienden a romper la dominancia apical en presencia de luz difusa. En consecuencia, el minitubérculo almacenado bajo estas condiciones tendrá mayor número de brotes. Además, se reduce la necesidad de remover el brote apical antes de la siembra.
- **Producción de brotes.** La luz difusa genera la producción de brotes de buena calidad (cortos y vigorosos).
- **Aparición de primordios radiculares.** La luz difusa también genera la producción de primordios radiculares, que son las estructuras que posteriormente formarán las raíces de la futura planta.

## Temperatura

El cultivo de papa se adapta a climas tropicales fríos, con temperaturas que pueden estar entre los 18 y 25°C durante el día y entre los 8 y 15°C durante las noches.

### ¡Importante!

Temperaturas internas de invernadero mayores a 30°C por más de 4 horas, pueden causar problemas en el sistema radicular de las plantas y generar condiciones propicias para el desarrollo de patógenos. De igual manera, temperaturas menores a 4°C pueden causar daños en las plantas.

En plantas de papa la tasa de asimilación neta de carbono, es decir, el aumento de peso de la planta por unidad de área foliar es mayor, entre 18 y 23°C.

Por encima de 25°C, la tasa de asimilación neta no aumenta significativamente, mientras que la respiración de mantenimiento sigue aumentando, lo que significa que la planta respira y gasta más energía de la que genera la fotosíntesis.

En el caso de aeroponía, la temperatura dentro del módulo es importante. Temperaturas bajas inducen la tuberización, y temperaturas altas la inhiben.

Las altas temperaturas inhiben la tuberización tanto en fotoperiodos cortos como largos, aunque el grado de inhibición es mayor en fotoperiodos largos (más de 15 horas de luz)<sup>43</sup>.

### ¡Importante!

Dentro de los módulos de aeroponía, la temperatura óptima para el inicio de la tuberización está entre 16 y 19°C.

La tasa de desarrollo (elongación) de los estolones depende de la temperatura dentro del módulo de aeroponía. La elongación máxima ocurre cerca de los 18°C, mientras que a temperaturas menores de 9°C y mayores de 20°C, disminuye.

Cuando se trata de aeroponía, la temperatura de la solución nutritiva puede ser controlada. Por ejemplo, en el CIP-Lima, se puede producir en la época de verano, ya que el tanque de solución nutritiva tiene un enfriador de agua, que mantiene una temperatura promedio de alrededor de 15°C, óptima para la producción de tubérculos de papa.

<sup>43</sup> Monteith, 1969; Li, 1985; Kooman, 1995; Vandam et al., 1996.

Una vez que los minitubérculos hayan sido cosechados, es necesario tener presente el efecto de la temperatura durante su almacenamiento. Los minitubérculos presentan daños cuando son expuestos a temperaturas muy altas o muy bajas:

- Bajas temperaturas (menos de 2°C) ocasionan daños por congelamientos internos.
- Altas temperaturas (más de 25°C) causan una aceleración en la respiración y un mayor requerimiento de oxígeno y pueden decolorar el tejido interno del tubérculo como resultado de la asfixia que se presenta. La presencia de "corazón hueco" (daño que se produce en el interior de un tubérculo por la pudrición o disecación del tejido interno) es un síntoma que puede desarrollarse en tubérculos expuestos a altas temperaturas.

## Nutrientes

La nutrición de la planta es un punto importante para el manejo adecuado de la aeroponía. Los nutrientes son adicionados al agua, a través de sales o fertilizantes, que son absorbidos por las raíces de las plantas.

Con la nutrición se puede influir en:

- el desarrollo del área foliar
- la inducción de la tuberización, y
- el número de tubérculos y su peso.

Los nutrientes se clasifican en macronutrientes y micronutrientes:

**Macronutrientes:** son aquellos que las plantas los usan en grandes cantidades y están presentes en sus tejidos en cantidades que llegan hasta el 4% de su peso seco.

Los macronutrientes son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre.

**Micronutrientes:** son aquellos que se encuentran en los tejidos de las plantas en cantidades que no superan los 200 partes por millón.

Los micronutrientes son: hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, cloro y molibdeno.

## Descripción de los principales nutrientes

### Nitrógeno (N)

<b>Forma de absorción:</b>	Las plantas pueden absorber este nutriente en forma de ion de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Pueden también absorber nitrógeno en forma orgánica (aminoácidos), tanto por las raíces como por la parte aérea.
<b>Funciones fisiológicas:</b>	Forma parte de un gran número de compuestos orgánicos necesarios para el crecimiento y el desarrollo de las plantas como: aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, clorofila, etc. Favorece el crecimiento vegetativo, el buen aspecto y el color verde de la planta.
<b>Síntomas de deficiencia:</b>	La deficiencia de nitrógeno se manifiesta con la aparición de hojas pálidas y la reducción tanto del crecimiento de la planta como del rendimiento de los tubérculos (tamaño y número).
<b>El exceso de nitrógeno causa:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Retraso en el inicio de la tuberización.</li><li>• Alargue del ciclo de cultivo.</li><li>• Excesivo crecimiento foliar, lo que dificulta el manejo de las plantas y genera un microclima propicio para plagas y enfermedades.</li><li>• Corazón hueco y grietas en los tubérculos.</li><li>• Incremento de la susceptibilidad a plagas y enfermedades.</li><li>• Reducción de la gravedad específica de los tubérculos.</li></ul>

### ¡Importante!

Altos niveles de nitrógeno pueden inhibir la formación del tubérculo.

## Fósforo (P)

Forma de absorción:	Las plantas absorben el fósforo en forma iónica, como fosfato ( $H_2PO_4^-$ ), aunque excepcionalmente pueden tomarlo en forma de anión fosfato ácido ( $HPO_4^{2-}$ ).
Funciones fisiológicas:	Al inicio de la tuberización, una adecuada disponibilidad de fósforo asegura que se forme un gran número de tubérculos. Después el fósforo es un componente esencial para la síntesis, transporte y almacenamiento de almidones.
Síntomas de deficiencia:	La deficiencia de fósforo conduce a reducir el vigor inicial, produce retraso en la madurez y reduce rendimientos. Los síntomas típicos son: <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Disminución en el rendimiento, tanto en número como en tamaño de tubérculos.</b></li><li>• <b>Enanismo de plantas.</b></li><li>• <b>Amarillamiento de hojas viejas.</b></li><li>• <b>Hojas jóvenes pequeñas y de color verde oscuro.</b></li></ul>
El exceso de fósforo causa:	Interferencia con otros elementos como el calcio y el zinc, provocando sus deficiencias.

## Potasio (K)

Forma de absorción:	El potasio se absorbe en forma de ión $K^+$ .
Funciones fisiológicas:	La papa requiere grandes cantidades de potasio, ya que es crucial para sus funciones metabólicas, tales como el movimiento de azúcares desde las hojas hacia los tubérculos y la transformación de azúcar en almidón de papa.
Síntomas de deficiencia:	La deficiencia de potasio retrasa la absorción de nitrógeno y el crecimiento de las plantas; además disminuye su rendimiento, calidad y resistencia a las enfermedades. Los síntomas típicos son: <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Necrosis en los bordes de las hojas.</b></li><li>• <b>Senescencia prematura de las hojas.</b></li></ul>
El exceso de potasio causa:	Reducción de la gravedad específica de los tubérculos y de la absorción de calcio y de magnesio.

## Calcio (Ca)

<b>Forma de absorción:</b>	El calcio se absorbe en forma de ión $\text{Ca}^{2+}$ .
<b>Funciones fisiológicas:</b>	Participa como componente estructural de paredes y membranas celulares, lo que contribuye a la rigidez de la planta.
<b>Síntomas de deficiencia:</b>	<p>La deficiencia de calcio interfiere en el desarrollo de las raíces, causa deformación en los brotes y podría llegar a reducir la calidad y el rendimiento. La deficiencia de calcio en los tubérculos de papa disminuye la capacidad de almacenamiento, debido a que el calcio es un componente principal de las paredes celulares. Los síntomas típicos son:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Hojas nuevas superiores enrolladas y amarillas.</b></li><li>• <b>Quemaduras en las puntas de las hojas.</b></li></ul>
<b>El exceso de calcio causa:</b>	<b>Reducción en la absorción de magnesio, por lo que se relaciona con síntomas de deficiencia de magnesio.</b>

## Magnesio (Mg)

<b>Forma de absorción:</b>	El magnesio se absorbe activamente en forma de ión $\text{Mg}^{2+}$ .
<b>Funciones fisiológicas:</b>	Igual que el calcio, el magnesio tiene una gran importancia en el metabolismo energético.
<b>Síntomas de deficiencia:</b>	<p>Disminuye la fotosíntesis porque el magnesio es el elemento clave de ese proceso; reduce la formación de tubérculos y baja su rendimiento. La deficiencia de magnesio puede reducir —más del 15%— el rendimiento de la planta. Además ocasiona que se dañen los minitubérculos durante el almacenamiento. Los síntomas de deficiencia son:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Hojas de color amarillo y marrón.</b></li><li>• <b>Hojas que se marchitan y mueren.</b></li><li>• <b>Retraso en el crecimiento de las plantas.</b></li><li>• <b>Maduración temprana del cultivo.</b></li><li>• <b>Piel de los tubérculos agrietada y desigual en color y textura.</b></li></ul>
<b>El exceso de magnesio causa:</b>	<b>Reducción en la absorción de calcio, por lo que se relaciona con los síntomas de deficiencia de calcio.</b>

## Azufre (S)

Forma de absorción:	En forma de anión sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).
Funciones fisiológicas:	La función más importante del azufre se relaciona con su participación en la síntesis de las proteínas.
Síntomas de deficiencia:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reducción de crecimiento.</li><li>• Hojas de color verde pálido o amarillo.</li><li>• Reducción del número de hojas.</li></ul>

## Hierro (Fe)

Forma de absorción:	El hierro se absorbe activamente en forma de ión $\text{Fe}^{2+}$ o $\text{Fe}^{3+}$ .
Funciones fisiológicas:	Es esencial para la síntesis de la clorofila.
Síntomas de deficiencia:	Aparecen en las hojas más jóvenes y son: <ul style="list-style-type: none"><li>• Áreas intervenales cloróticas (pigmentación amarillenta entre las nervaduras de la hoja), las venas permanecen verdes.</li><li>• En los casos de deficiencia grave, toda la hoja es clorótica.</li></ul>

## Manganeso (Mn)

Forma de absorción:	El manganeso se absorbe como ión $\text{Mn}^{2+}$ .
Funciones fisiológicas:	Forma parte de la membrana del cloroplasto. Es activador de varias enzimas, entre ellas, las que intervienen en la síntesis de ácidos grasos y en la formación del ADN y ARN.
Síntomas de deficiencia:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presencia de puntos negros o marrones en las hojas más jóvenes.</li><li>• Hojas amarillentas.</li><li>• Mal acabado de la piel de los tubérculos.</li><li>• Los tubérculos se dañan más fácilmente durante el almacenamiento.</li></ul>

## Cobre (Cu)

Forma de absorción:	El cobre se absorbe como ión $\text{Cu}^{2+}$ .
Funciones fisiológicas:	Interviene en los procesos de fotosíntesis y de respiración.
Síntomas de deficiencia:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Las hojas jóvenes se vuelven flácidas y marchitas.</li><li>• Las yemas terminales se caen y desarrollan yemas florales.</li><li>• Las puntas de las hojas se vuelven necróticas.</li></ul>

## Zinc (Zn)

Forma de absorción:	El zinc se absorbe de forma activa como ión $\text{Zn}^{2+}$ .
Funciones fisiológicas:	Es fundamental en la síntesis de auxinas y ácido indolacético (IAA). También participa en la activación de algunas enzimas.
Síntomas de deficiencia:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Las hojas jóvenes se vuelven cloróticas (verde o amarillo claro), se estrechan, sus márgenes se enrollan hacia arriba y se queman sus puntas.</li><li>• Otros síntomas foliares son: venas verdes, apariencia erecta y presencia de manchas de tejido muerto.</li></ul>

## Boro (B)

Forma de absorción:	La planta absorbe el boro en forma de ácido bórico.
Funciones fisiológicas:	El boro regula el transporte de azúcares a través de membranas y también juega un rol importante en la división y desarrollo celular, así como en el metabolismo de auxinas.
Síntomas de deficiencia:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Muerte de los brotes en crecimiento, por lo que las plantas parecen arbustivas, teniendo entrenudos cortos.</li><li>• Hojas gruesas y enrolladas hacia arriba.</li><li>• El tejido de las hojas se oscurece y colapsa.</li><li>• Aparecen manchas necróticas marrones en los tubérculos y se forman manchas en el interior.</li></ul>

## Cloro (Cl)

Forma de absorción:	El cloro se absorbe activamente como ión Cl <sup>-</sup> .
Funciones fisiológicas:	Su función se relaciona con el ciclo del oxígeno en el proceso de fotosíntesis. En poca cantidad es un micronutriente esencial para las plantas, en exceso puede resultar tóxico.
Síntomas de deficiencia:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Caída de hojas.</li><li>• Enrollamiento de los folíolos.</li><li>• Bronceamiento y clorosis similares a la deficiencia de manganeso.</li><li>• Deficiencia severa, inhibe el crecimiento radicular.</li></ul>

## Molibdeno (Mo)

Forma de absorción:	Al molibdeno lo absorbe la planta en forma activa, como anión molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ).
Funciones fisiológicas:	El molibdeno es constituyente de las enzimas nitrato reductasa y nitrogenasa; la primera, indispensable en la reducción de los nitratos, la segunda, en la fijación biológica de nitrógeno.
Síntomas de deficiencia:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Punteado intervenal (presencia de puntos de tejido muerto entre las venas de las hojas.)</li><li>• Clorosis marginal de las hojas más viejas.</li><li>• Enrollamiento hacia arriba de los márgenes de las hojas.</li></ul>

## ¿QUÉ ETAPAS FENOLÓGICAS TIENE EL CULTIVO DE LA PAPA?

El cultivo de la papa presenta seis fases de desarrollo, también llamadas etapas fenológicas, que es necesario conocer para manejar en forma adecuada el cultivo de papa en aeroponía.

Las etapas fenológicas son:

1. Reposo de la semilla (Dormancia)
2. Brotación
3. Emergencia
4. Desarrollo de tallos
5. Tuberización y floración
6. Desarrollo de los tubérculos

### 1. Reposo de la semilla (Dormancia)

Es el período que transcurre entre la cosecha y la brotación. En este estado, las yemas de los tubérculos están inactivas, sin procesos de diferenciación de tejidos ni división celular, aun cuando el tubérculo esté en condiciones ambientales apropiadas para su desarrollo.

Foto: Byron Potosí.



Para el minitubérculo producido en aeroponía, esta etapa dura desde unos pocos días a 3 meses o más, dependiendo de la variedad. Las papas de las dos subespecies de *Solanum tuberosum*: ssp. *tuberosum* y ssp. *andigena* pasan por un período de relativa inactividad antes de emitir brotes; en cambio, las papas chauchas o criollas de la especie *Solanum phureja*, no presentan dormancia.

La dormancia también depende de las condiciones de temperatura y de luz en las que se almacenen los minitubérculos. Temperaturas altas reducen la dormancia, en cambio bajas temperaturas, la alargan.

De hecho, para alargar la dormancia, se pueden desacelerar los procesos fisiológicos, colocando los minitubérculos en un cuarto frío a 4°C. Minitubérculos cosechados inmaduros y aquellos expuestos a la luz, tienen periodos de dormancia más largos.

La dormancia puede ser rota o inducida por heridas o por alguna enfermedad en el minitubérculo; en estos casos la brotación ocurre en menos tiempo. También puede inducirse a través de tratamiento químico, sumergiendo los minitubérculos en una solución de ácido giberélico, en dosis de 1 a 5 partes por millón (ppm) por volumen de agua<sup>44</sup>.

La duración del periodo de dormancia es el factor determinante para definir el momento más oportuno para la siembra. Por ejemplo, si una variedad tiene un periodo de dormancia de tres meses, la fecha de siembra será por lo menos tres meses después de la cosecha de sus minitubérculos.

### ¡Importante!

El período de dormancia termina al iniciarse el crecimiento del primer brote.

## 2. Brotación

Ocurre cuando comienzan a aparecer los brotes de los tubérculos, luego de transcurrido el periodo de dormancia. Se diferencian tres estados:

- Dominancia apical
  - Brotación múltiple
  - Senectud
- 
- **Estado de dominancia apical.** Se presenta cuando aparece el primer brote en el ápice del tubérculo. El grado de dominancia apical depende de la variedad de papa y del manejo poscosecha de los minitubérculos (bajas temperaturas favorecen la dominancia apical).

Foto: Byron Potosí



<sup>44</sup> Conlago, 2010.

Si los tubérculos presentan dominancia apical, hay que desbrotarlos y colocarlos en ambientes con temperaturas entre 15 y 20°C, con un 90 a 95% de humedad relativa, con luz difusa y buena ventilación, para estimular el desarrollo del resto de brotes. Minitubérculos con peso menor a 8 g **no** deben ser desbrotados pues pierden vigor.

- **Estado de brotación múltiple.** Se presenta cuando el tubérculo tiene varios brotes. Cuando los minitubérculos se almacenan con luz difusa y con temperaturas moderadas, se producen brotes cortos y fuertes, ideales para la siembra.

Foto: Byron Potosí.



Una vez bien brotados los tubérculos están aptos para ser plantados. En el caso de minitubérculos cosechados en aeroponía, es ideal que tengan por lo menos tres brotes fuertes y cortos (de 1 a 2 cm) para ser sembrados en campo.

- **Estado de senectud.** Después del período de brotación múltiple, el tubérculo envejece. Se puede observar ramificación excesiva en los brotes, brotes largos, débiles y también tubérculos diminutos directamente en los brotes. Estos tubérculos **no** deben ser usados como material de siembra.

Foto: Byron Potosí.



### 3. Emergencia

Los brotes emergen entre 8 y 20 días, después de la siembra, cuando los tubérculos son plantados en el campo a una profundidad de 5 a 10 cm y tienen las condiciones adecuadas de desarrollo (temperatura y humedad en el suelo).

En el caso de aeroponía, esta etapa sería el trasplante (usando esquejes enraizados o plántulas *in vitro*), ya que es el comienzo del desarrollo foliar y radicular de la planta.

### 4. Desarrollo de tallos

En esta etapa —entre 20 y 50 días en campo, y hasta más de 80 días después del trasplante en aeroponía— hay crecimiento de follaje y de raíces en forma simultánea. En aeroponía, se debe usar una solución nutritiva específica para el desarrollo de la planta.

### 5. Tuberización y floración

La floración es señal de que la papa comienza a emitir estolones o que inicia la tuberización. Cuando se trata de aeroponía se puede observar que para variedades mejoradas precoces, esto ocurre a los 40 días después del trasplante; en variedades intermedias, entre los 40 y 50 días; y en variedades tardías, entre los 50 y 80 días.

En variedades nativas, se puede encontrar una gran variación de inicio de tuberización, entre los 40 y 90 días después del trasplante, dependiendo de la variedad<sup>45</sup>.

Se debe cambiar la solución nutritiva para inducir la tuberización, por ejemplo, usando la solución final de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) de Perú.

### 6. Desarrollo de los tubérculos

En esta etapa los minitubérculos pueden cosecharse y almacenarse.

En los cultivos aeropónicos se ha visto que las plantas terminan la etapa de desarrollo de minitubérculos y alcanzan la madurez fisiológica (senescencia) alrededor de los 150 días en variedades mejoradas precoces; 180 días en variedades intermedias y 250 días en variedades tardías.

En algunas variedades nativas de la subespecie *andigena*, la senescencia se alcanza entre 220 y 250 días después del trasplante.

En ambos casos (variedades mejoradas y nativas), el período para alcanzar la madurez fisiológica depende de la variedad, del manejo y del ambiente.

## En pocas palabras...

Conocer la fisiología de la planta de papa es esencial para un buen manejo del cultivo aeropónico. Así pues, los factores que influyen en el desarrollo de la planta de papa y por lo tanto deben ser considerados en el manejo del cultivo son:

**Genético:** las variedades con mayor influencia genética de la subespecie *andigena* tienden a formar follaje más abundante, estolones más largos y un mayor número de tubérculos, que las variedades con mayor influencia genética de la subespecie *tuberosum*.

**Edad fisiológica del material de siembra:** tiene un efecto directo en el desarrollo de las plantas. Material fisiológicamente viejo (como esquejes enraizados) tienden a producir menos tubérculos, pero de mayor tamaño comparado con el uso de material fisiológicamente joven (plantas *in vitro*).

**Fotoperiodo:** las variedades de la región andina tuberizan en fotoperiodos cortos (alrededor de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad). Por esta razón, en el caso de aeroponía en la zona andina, no es necesario proveer luz adicional en las casas de malla.

**Temperatura:** el cultivo de papa se adapta a climas tropicales fríos, con temperaturas que pueden estar entre los 15 y 25°C durante el día y entre los 8 y 15°C durante las noches. Las temperaturas internas de invernadero, mayores a 30°C y menores a 4°C, pueden afectar el cultivo.

**Nutrientes:** dado que la nutrición de la planta de papa en el caso de aeroponía depende completamente del manejo que se dé al cultivo, cualquier deficiencia o exceso se va a manifestar de inmediato. Por ejemplo, en el caso del nitrógeno, la deficiencia provoca una reducción de crecimiento, mientras que el exceso se manifiesta como un desmedido crecimiento foliar, entre otros síntomas.

En el cultivo de papa se distinguen seis etapas fisiológicas. Las más importantes para la aeroponía son el desarrollo de tallos, la tuberización y el desarrollo de los tubérculos, pues de ellas depende el rendimiento que se obtenga.



