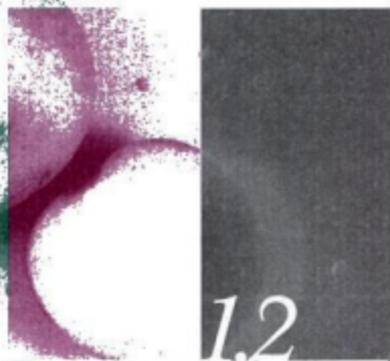


MANUAL DE PRODUCCION DE PAPA CON SEMILLA SEXUAL

1. Generalidades

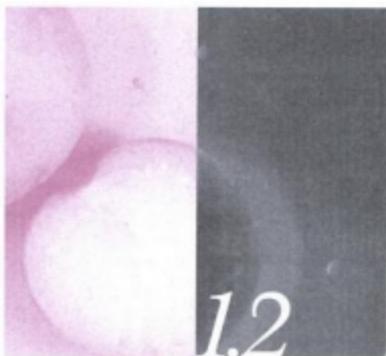


1.2

Fascículo



CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP)



1.2

Fascículo **Fisiología ambiental de la planta de papa**

U. Moreno

Introducción

En la agricultura el crecimiento y la productividad son el resultado de dos componentes mayores: el potencial genético de las plantas cultivadas y el ambiente en el cual se desarrollan. La nutrición mineral –dada por la fertilidad de los suelos– y la sanidad de los cultivos también influyen directamente, pero pueden ser manejadas y controladas por el agricultor.

El manejo de los recursos genéticos para mejorar la productividad de los cultivos se ha hecho tradicionalmente mediante cruzamientos e hibridaciones, bajo condiciones nutricionales, sanitarias y microambientales óptimas. Sin embargo,

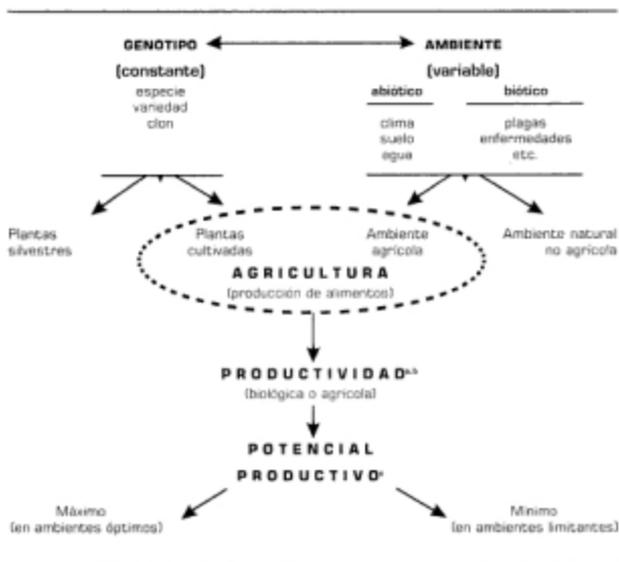
las expresiones de la información genética están fuertemente influenciadas por las condiciones ambientales, que son variables, no siempre óptimas y más bien limitantes en la mayoría de los casos.

Según Boyer (1982) la productividad de las plantas cultivadas está muy por debajo de su potencial máximo porque los ambientes físico-químicos desfavorables (incluyendo suelos y climas adversos) reducen los rendimientos potenciales en un 70%.

Los esfuerzos y la inversión para mejorar la productividad por medio del mejoramiento genético han sido y siguen siendo grandes y justificados. Otros factores ambientales merecen tanta o más atención, sobre todo si son limitaciones al crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.

El clima es un recurso ambiental. Se puede hablar de climas benignos y de climas inapropiados para la agricultura. Los ciclos diarios y estacionales de radiación, temperatura y precipitación actúan sobre las plantas y determinan el éxito o el fracaso de su adaptación y productividad en una localidad o región. Las especies y sus requerimientos climáticos determinan el tipo y extensión de la agricultura de un país. En el Perú, principalmente por razones climáticas, sólo el 15% del territorio constituye el área agropecuaria activa y sólo un 3% es apropiado para cultivos diversos (Perú: El agro en cifras, 1984).

Si a esto le sumamos las variaciones de temperatura y precipitación, que muchas veces llegan a extremos como en las heladas y sequías que se repiten anualmente en gran parte del territorio, la disponibilidad de climas benignos para la agricultura en el Perú es escasa. Una situación similar se presenta en otros países y regiones del mundo. Las alternativas serían: a) buscar los más altos rendimientos unitarios en los ambientes benignos que no son fisiológicamente limitaciones pero que son limitados en su extensión; b) mejorar los rendimientos de los cultivos en los ambientes limitantes pero extensivos; c) buscar una mayor productividad como resultado de una adecuada y favorable interacción de los genotipos (especie, variedad o clon) con su microambiente agrícola local, geográficamente definido.



- a. Las mismas fuerzas ligadas a la productividad en la naturaleza (no agrícola): acción de diferente manera que en la agricultura.
- b. La productividad agrícola en la mayor parte del mundo está muy por debajo de su máximo potencial.
- c. Ambientes físico-químicos desfavorables y climas adversos disminuyen los rendimientos en 70% o más.

Los climas constituyen las fuerzas selectivas primarias de las especies vegetales. Una población exitosa de plantas en cualquier región climática es aquella que desarrolla mecanismos fisiológicos eficientes para su crecimiento, desarrollo y supervivencia (Cooper, 1963).

La respuesta de las plantas al ambiente (abiótico y biótico), expresada en su crecimiento, desarrollo y productividad, es de naturaleza fisiológica, íntimamente metabólica, estructural y morfogénica. Por eso los mejoradores, patólogos, agrónomos y agricultores, además de las interpretaciones derivadas de sus propios conocimientos y experiencias, deberían interpretar sus resultados en términos fisiológicos porque la traducción del genotipo en fenotipo y la respuesta de las plantas al ambiente son el resultado de una serie de eventos y fenómenos fisiológicos.

Fisiología ambiental de la papa

La fisiología ambiental de la papa se refiere simplemente a los procesos de crecimiento y desarrollo controlados por el genotipo de la planta (especie, variedad o clon) y modulados por el ambiente dentro del cual se desarrolla.

A pesar de que por ambiente se entiende un conjunto de factores físicos y bióticos que actúan sobre los organismos vivos, la fisiología ambiental vegetal se refiere a las respuestas de las plantas a los factores climáticos -radiación, temperatura, humedad y aire- que operan en el ambiente atmosférico que las rodea.

El clima en su concepto amplio puede definirse como la combinación e interacción de la luz solar, oscuridad, temperatura, aire (movimientos y composición), precipitación, humedad relativa y presión atmosférica. En su sentido geográfico el clima es el patrón de cambio estacional de los factores climáticos, patrón de cambio que se repite de manera relativamente similar de año a año en un determinado lugar. Este clima estacional y local, geográficamente definido, se convierte en un microclima agrícola con los mismos factores climáticos que inciden en el campo cultivado, pero que se modifican por efecto del suelo y de las plantas cultivadas, dando lugar a una serie de gradientes microambientales e interfases a nivel de plantas e inclusive a nivel de hojas. Las plantas reciben directamente el impacto de los factores ambientales (intensidad y cantidad de luz solar, temperaturas diurnas y nocturnas, humedad, etc.) y responden a ellos con reacciones metabólicas, estructurales, morfogénicas, y de crecimiento y desarrollo ontogenéticos, propias de cada especie o variedad.

En el caso específico de la papa, solanácea tuberífera de origen andino con diferente ploidía entre especies cultivadas y silvestres, las respuestas más notorias a los factores ambientales se miden por su fuerza y grado o magnitud de tuberización, por la calidad de sus tubérculos y por su floración, entre otras expresiones visibles.

Para ilustrar la fisiología ambiental de la papa, se dan a continuación algunos ejemplos de respuestas a microambientes naturales geográficamente determinados y a microambientes artificiales fabricados para estudiar e investigar respuestas más específicas de morfogénesis, metabolismo, estructura y desarrollo ontogenético. El desafío que se tiene por delante es extrapolar estos resultados a situaciones concretas, ya sea experimentales o productivas en el campo.

Respuesta de la papa a microambientes locales geográficamente determinados

En general todos los países poseen una diversidad de ambientes locales determinados por su geografía. Pero los países andinos son un ejemplo dramático de diversidad ambiental con condiciones edáficas y climáticas muy diferentes aun dentro de áreas muy cercanas.

Estos ambientes locales diferentes también producen efectos diferentes sobre las plantas de papa. El microclima local actúa sobre la planta imponiéndole un ritmo de crecimiento y desarrollo que afecta finalmente su productividad. Por lo tanto es factible que un mismo cultivar produzca naturalmente no sólo distintos rendimientos sino también tubérculos de distinta calidad, que dependen del lugar y del microambiente donde se desarrollan.

Victoria et al. (1986) sembraron tubérculos-semilla de diez genotipos de papa, incluyendo seis híbridos y cuatro especies nativas, en dos ambientes climáticos diferentes correspondientes a dos localidades ubicadas a 230 y 3278 m de altitud (Costa y Sierra), respectivamente. El suelo y la nutrición mineral fueron iguales, de tal modo que las diferencias de crecimiento, desarrollo y distribución de la materia seca fueron atribuidas principalmente a las diferencias de clima. Todos los genotipos experimentaron una distribución de materia seca más favorable a los tubérculos en la Sierra que en la Costa. En efecto, los índices de cosecha (peso seco de los tubérculos/peso seco total de la planta) en la Sierra estuvieron entre 73 y 85% y en la Costa entre 33 y 75%. Hubo diferencias, aunque no significativas, en el área foliar y en el número de hojas y tubérculos. Hubo diferencias altamente significativas en el peso seco y fresco de los tubérculos, el tamaño de planta, los índices de cosecha y el porcentaje de materia seca de los tubérculos cosechados en la misma edad fisiológica.

El Cuadro 1 y la Figura 1 ilustran con claridad las diferencias entre los componentes de las plantas de un mismo genotipo (*Solanum x chaucha*, cv. Huayrol) desarrollados en esos dos ambientes contrastantes de Costa y Sierra.

Cuadro 1 Distribución del crecimiento en la planta de papa *Solanum x chaucha*, cv. Huayro, en ambiente de Costa y Sierra del Perú. Los datos se refieren a un promedio de tres plantas cosechadas al mismo estado de madurez fisiológica*.

	Costa	Sierra
Área foliar (m ²)	1.2	0.6
Peso seco de hojas (g)	46.5	24.2
Número de hojas	52	44
Longitud máxima de tallos (cm)	48	91
Peso seco de tallos (g)	86.8	4.2
Peso seco de raíces y estolones (g)	4.7	22.5
Número de tubérculos	6	35
Peso seco de tubérculos (g)	4.8	282.0
Índice de cosecha	33.5	84.7

* Estado de madurez fisiológica en la Costa, 120 días; en la Sierra, 150 días.

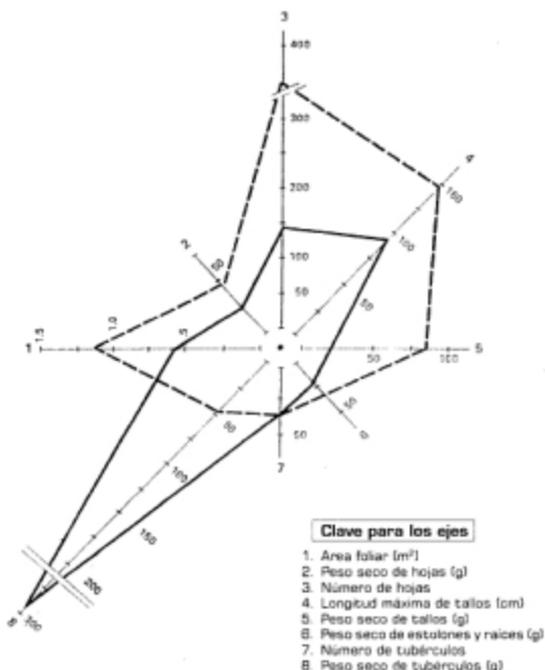


Figura 1 Polígonos de crecimiento integral de la planta de papa *Solanum x chaucha* cv. Huayro a 230 m en la Costa central, Lima, y en la Sierra, Huancayo, a 3278 m.

En el estudio anatómico realizado por Torres (1985) con los mismos genotipos estudiados por Victoria et al., se encontraron diferencias en la estructura anatómica de las hojas y los tallos de las plantas que crecieron en los ambientes de Costa y Sierra. Se encontró mayor número y tamaño de células del mesófilo de las hojas y mayor superficie de floema en los tallos de las plantas que crecieron en la Sierra, en relación con las que crecieron en la Costa. Aparentemente estas diferencias anatómicas son consecuencia del efecto ambiental y condicionan la magnitud de los procesos de síntesis y de traslocación de los fotosintatos y biosintatos de la parte aérea de la planta de papa hacia los tubérculos. Esta organización estructural para la síntesis y el transporte, como consecuencia de la interacción genotipo-ambiente, determina la potencialidad productiva de la planta de papa. En este caso, para el cultivar Huayro, la Sierra fue más favorable que la Costa.

Los tubérculos cosechados fueron bioquímicamente analizados por Calderón (1988), quien confirmó lo mencionado por Moreno (1974), es decir, que la acumulación de aminoácidos libres y de azúcares en los tubérculos desarrollados en la Sierra es mucho mayor que la acumulación de estos metabolitos en la Costa. Esto determina una diferencia en la calidad bioquímica que, unida a las diferencias en materia seca, almidones y proteínas, es importante para el futuro comportamiento de los tubérculos-semilla (Figuras 2 y 3).

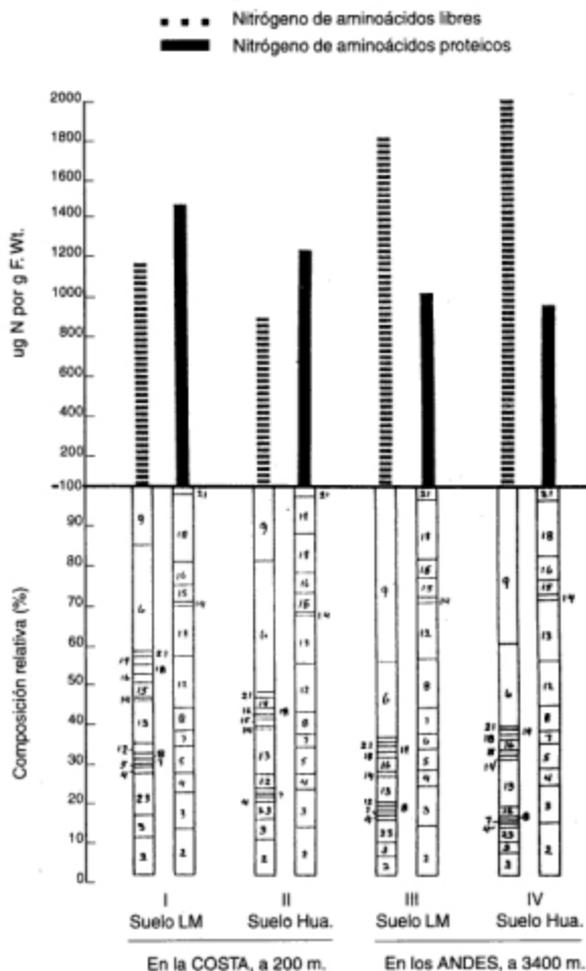


Figura 2 Cantidad de nitrógeno en forma de aminoácidos libres y proteicos en tubérculos de papa (clon KB-165) desarrollados en la Costa y en los Andes.

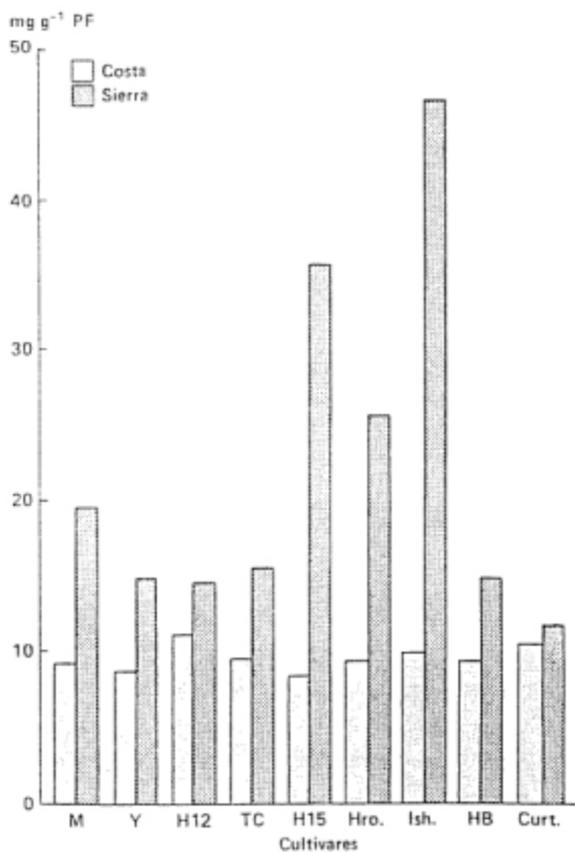


Figura 3 Concentración de aminoácidos libres en tubérculos de diferentes cultivares de papa desarrollados en dos localidades distintas, Costa (230 m) y Sierra (3400 m), 150 días después de la siembra.

Así como el Perú, otros países andinos y todos aquéllos de topografía montañosa son grandes "fitotrones naturales" en los que se puede experimentar y probar con relativa facilidad el comportamiento de las diversas especies y variedades de papa, frente a microclimas locales determinados por la altitud y el clima. De esta manera es posible obtener no sólo una mayor productividad como resultado de una adecuada interacción del genotipo con el ambiente climático, sino también producir tubérculos-semilla de calidad donde las condiciones ambientales, sobre todo de radiación y de temperaturas diurnas y nocturnas, lo permitan.

Respuesta a microambientes controlados

Las investigaciones que se realizan en ambientes controlados (total o parcialmente) tienen la ventaja de identificar con mayor grado de precisión el factor ambiental que limita o estimula, según el caso, el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas. En las investigaciones en ambientes naturales no controlados no se puede discriminar o aislar un factor, pues varios factores están actuando a la vez.

Las investigaciones en microambientes controlados son valiosas para interpretar lo que ocurre en los microambientes agrícolas y para seleccionar plantas en programas de mejoramiento, entre otros aspectos.

La extrapolación de los resultados de las investigaciones realizadas en ambientes controlados hacia ambientes no controlados en el campo debe hacerse con cautela.

Veamos algunos ejemplos. Moreno (1970) ha investigado el efecto de fotoperíodos cortos y largos con distintos regímenes de temperatura diurna y nocturna sobre el desarrollo de la planta de papa. Para ello usó cámaras climáticas iluminadas con una combinación de luces fluorescentes e incandescentes como fuentes de radiación azul y roja para fotosíntesis y fotomorfogénesis. Las temperaturas diurnas y nocturnas (termoperíodos), que simultáneamente con los fotoperíodos actuaban sobre las plantas, fueron seleccionadas y programadas tratando de simular condiciones fotoperiódicas subtropicales, altoandinas y de costa.

Los estudios morfológicos han sido complementados con estudios bioquímicos para determinar si el efecto de los tratamientos fotoperiódicos y termoperiódicos en la calidad de los tubérculos usados como semillas repercute en el desarrollo de las futuras plantas. Una publicación más reciente de Steward et al. (1981) informa sobre el efecto del fotoperíodo y el termoperíodo en el hábito de crecimiento, morfología, anatomía y composición de las plantas de papa.

Varias combinaciones de fotoperiodos largos y cortos, y de termoperiodos (temperaturas diurnas y nocturnas), fueron aplicadas a plantas de papa híbridas (*S. tuberosum* x *S. andigena*) y a plantas de *S. andigena*.

El impacto de algunos de esos tratamientos puede verse en las Figuras 4 y 5. La interacción del fotoperiodo corto con las temperaturas nocturnas da origen a fenotipos morfológicamente diferentes. Evidentemente, el grado de ramificación que presentan las plantas demuestra las respuestas de los puntos de crecimiento ubicados en las yemas terminales y axilares a los estímulos hormonales y bioquímicos. Las hojas sintetizan sus productos y luego los movilizan bajo la influencia de los estímulos ambientales (fotoperiodo corto o largo), en interacción con la temperatura diurna (fototemperatura) o nocturna (noctotemperatura).

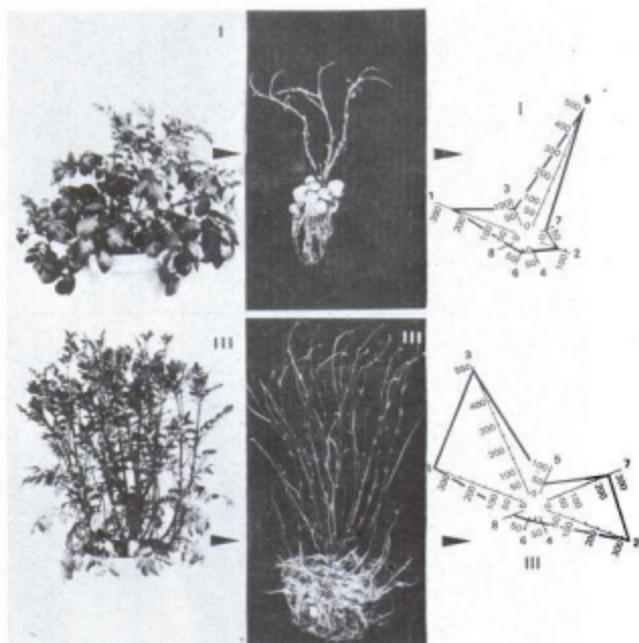


Figura 4 Plantas de papa (clon KB-165) desarrolladas bajo dos fotoperiodos diferentes -día corto y día largo- pero con el mismo termoperiodo (temp. diurna 24°C/temp. nocturna 12°C).

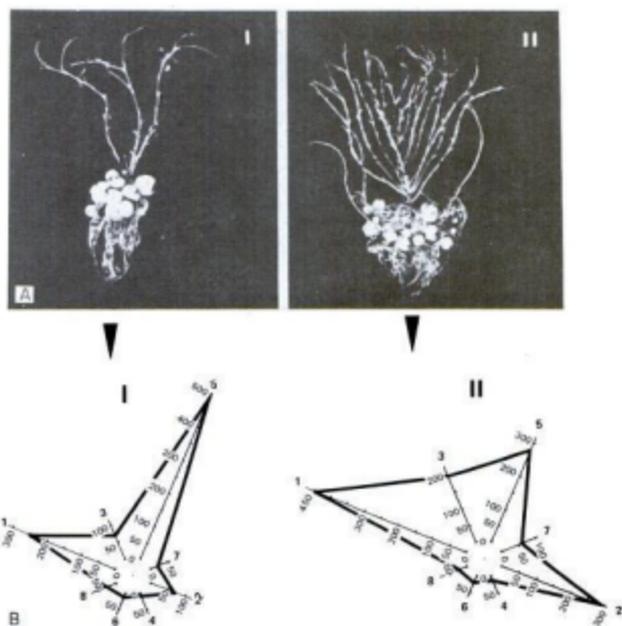


Figura 5 Plantas de papa desarrolladas bajo un mismo fotoperiodo (10 h) pero con distinto termoperiodo.

I. temperatura diurna 24° / temperatura nocturna 12°

II. temperatura diurna 12°C / temperatura nocturna 24°C

El fotoperíodo corto con temperaturas nocturnas bajas restringe el crecimiento de las yemas axilares y da lugar a una planta con dos o tres tallos no ramificados, mientras que las temperaturas nocturnas altas y el fotoperíodo largo estimulan el crecimiento de las yemas axilares y producen plantas con tallos muy ramificados. Lo mismo ocurre con los estolones y las raíces en cuanto a número, pero, en cambio, la tuberización es favorecida por el fotoperíodo corto y bajas temperaturas nocturnas.

Las Figuras 6 y 7 demuestran con claridad los efectos de la temperatura sobre el tamaño de la planta y de las hojas. Las temperaturas altas estimulan el alargamiento de los entrenudos y la producción de hojas pequeñas en contraste con las plantas que crecen bajo temperaturas frías, cuyos entrenudos son cortos y cuyas hojas tienen folíolos más grandes. Los tubérculos crecen mejor a temperaturas bajas.



Figura 6 Respuestas morfológicas que definen el hábito de crecimiento de plantas de papa (*Solanum andigena* cv. CH. BI) desarrolladas bajo distintos fotoperíodos con altas y bajas temperaturas.

- I. Días cortos (10 h); alta temperatura (24°C).
- II. Días cortos (10 h); baja temperatura (12°C).
- III. Días largos (14 h); alta temperatura (24°C).
- IV. Días largos (14 h); baja temperatura (12°C).

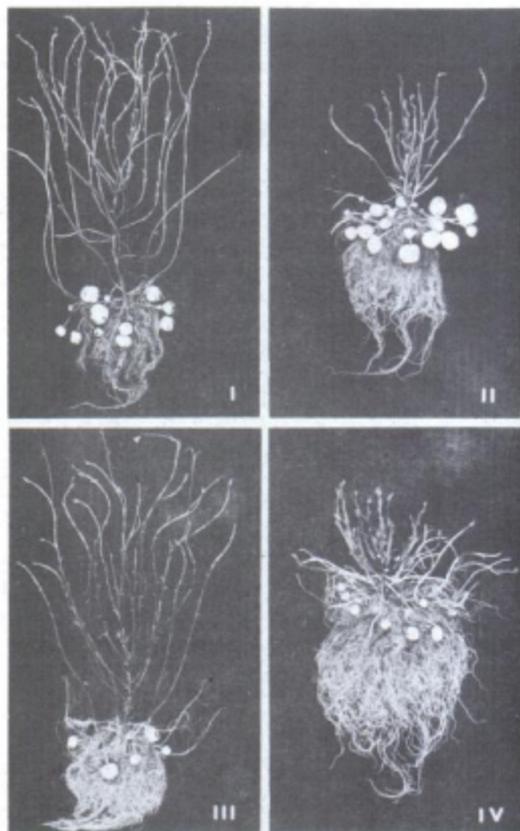


Figura 7 Efecto de los fotoperíodos cortos (I y II) y largos (III y IV) con temperaturas altas y bajas, respectivamente, sobre el crecimiento de tallos, raíces, estolones y tubérculos de papa (*S. andigena* cv. CH.B).

¿Qué trascendencia práctica tiene este fenómeno?

Demuestra la importancia de la noche y su concomitante temperatura, no solamente para la morfogénesis y el hábito de crecimiento fenotípico (lo fenológico) de toda la planta, sino también para su tuberización y producción agrícola. Naturalmente la magnitud y forma de estas respuestas varían con el genotipo. Variedades y clones de *Solanum tuberosum*, *S. andigena*, *S. phureja*, etc., así como de los híbridos interespecíficos, responderán en diferente forma.

Las variaciones de las respuestas morfogénéticas que conducen a diferentes fenotipos morfológicos determinarán también diferencias estructurales anatómicas y bioquímicas. Un ejemplo del impacto metabólico sobre los tubérculos de plantas que crecen en distintos ambientes fotoperiódicos y termoperiódicos se da en la Figura 8.

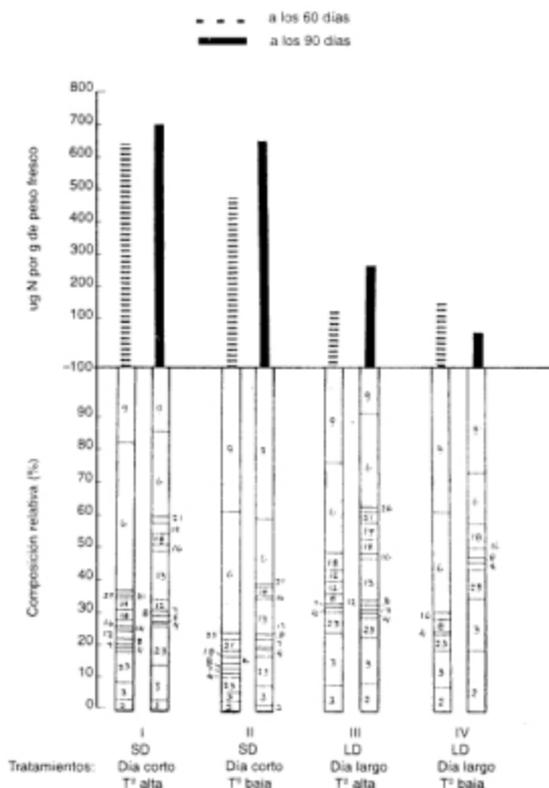


Figura 8 Aminoácidos no proteicos en tubérculos de papa (híbrido KB-165) en dos estados de desarrollo bajo diferentes condiciones de fotoperiodo y termoperiodo.

Se puede controlar el efecto negativo de las temperaturas bajas extremas (heladas) de una manera muy simple cubriendo durante la noche con láminas plásticas los cobertizos sencillos puestos en práctica en la estación experimental de Huancayo del Centro Internacional de la Papa. La diferencia hallada entre la temperatura nocturna mínima del ambiente natural externo (fuera del cobertizo) y la temperatura dentro del cobertizo en junio de 1984 fue de 6°C. De esta manera se pudo multiplicar plantas de más de 30 genotipos de papa (entre nativas y cultivadas), provenientes de cultivos in vitro y sembradas con alta densidad (100 plántulas por m²), que dieron una excelente producción en número de tubérculos-semilla por m². Algo parecido ha logrado R. Cabello en la Costa en el CIP-Lima, sin necesidad de un cobertor (comunicación personal).

Numerosos ejemplos pueden ilustrar los logros de las investigaciones sobre la fisiología ambiental de las papas en ambientes controlados. Uno de los más recientes (aún no publicado), realizado por el autor del presente capítulo, demuestra con gran claridad el impacto del fotoperíodo largo sobre la floración y otras características de la planta de papa de diferentes genotipos, incluyendo aquellos genotipos considerados como de difícil floración en La Molina, Lima, durante el invierno.

Referencias

Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. Science 218.

Calderón, A.R. 1988. Efecto de dos microclimas contrastantes en la composición bioquímica de tubérculos de papa. Tesis de Biología. Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima, Perú.

Cooper, J.P. 1963. Species and population differences in climatic response. En: Environmental control of plant growth. L.T. Evans (ed.). Academic Press, NY, EE.UU. 381 p.

Moreno, U. 1970. Physiological investigations on the potato plant. Ph.D. Thesis. Cornell University, Ithaca, NY, EE.UU.

Moreno, U. 1974. Respuesta de las plantas de papa a los factores edáficos y climáticos de la costa y de los Andes del Perú. Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú. Anales Científicos 12:1-11.

Perú: El agro en cifras. 1984. Universidad del Pacífico/Banco Agrario del Perú. Lima, Perú. 481 p.

Sobrevilla, L.A. 1976. Efectos de tres microclimas locales a distintas altitudes sobre el crecimiento y desarrollo de cuatro cultivares de papa. Tesis de Agronomía. Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú.

Steward, F.C., W. Roca y U. Moreno. 1981. Growth form and composition of the potato plant affected by environments. *Ann. Bot. (London)* 48 suppl 2.

Torres, F. 1985. Anatomía comparativa de estructuras vegetativas de especies cultivadas de papa desarrolladas en dos ambientes contrastantes. Tesis de Biología. Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú.

Victorio, R.G., U. Moreno y C.C. Black. 1986. Growth, partitioning and harvest index of tuber-bearing *Solanum* genotypes grown in two contrasting Peruvian environments. *Plant Physiol.* 82:103-108.

Los Manuales de Capacitación constituyen materiales impresos de estudios para los profesionales involucrados en actividades de capacitación desarrolladas por el CIP y están constituidos por una serie de fascículos susceptibles a ser actualizados.