

Análisis de los factores determinantes del rendimiento en papa (*Solanum tuberosum*) con especial referencia a la situación Argentina

D. O. CALDIZ* & F. J. GASPARI**

Instituto de Fisiología Vegetal, INFIVE, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.
CC 327, 1900 La Plata, Argentina. * E-mail: dacaldiz@isis.unlp.edu.ar / ** E-mail: infive@isis.unlp.edu.ar

CALDIZ D.O. & F. J. GASPARI. 1997. Análisis de los factores determinantes del rendimiento en papa (*Solanum tuberosum*) con especial referencia a la situación Argentina. Rev. Fac. Agron., La Plata 102 (2): 203-229.

En esta revisión se analizan los factores que modifican el rendimiento del cultivo, en función de diferentes situaciones de producción, identificadas como de *rendimiento potencial, posible y actual*. El *rendimiento potencial* del cultivo está determinado por los factores que no pueden ser alterados por los agricultores, como altitud, latitud, temperatura, fotoperiodo, radiación y el cultivar elegido. El *rendimiento posible* está limitado por diversos factores, que pueden ser modificados por el agricultor, como por ejemplo: las labores culturales, la edad fisiológica de los tubérculos *semilla* y la disponibilidad de agua y nutrientes. Por último, el *rendimiento actual* es aquel que se ve reducido por la presencia de malezas, plagas, enfermedades y contaminantes. Estos factores, que determinan, limitan o reducen el rendimiento del cultivo, sólo han sido analizados parcialmente, tanto a nivel mundial como para la Argentina. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es analizar, en conjunto y con especial referencia a *S. tuberosum* sp. *tuberosum* y a la situación Argentina, los factores abióticos y bióticos responsables del rendimiento cuando los tubérculos se destinan a una nueva plantación, al consumo fresco o a la industria.

Palabras clave: papa, rendimiento, calidad, semilla, industria. Analysis of yield determining factors in the potato (*Solanum tuberosum* L.) with special reference to Argentina.

CALDIZ D.O. & F. J. GASPARI. 1997. Analysis of yield determining factors in the potato (*Solanum tuberosum*) with special reference to Argentina. Rev. Fac. Agron., La Plata 102(2): 203-229.

This review analyzes the yield determining factors in the potato based on different production situations, defined as: potential, attainable and actual yield. The potential yield of the crop is determined by several factors that are not possible to modify by the growers, such as: altitude, latitude, temperature, photoperiod, radiation and cultivar. The attainable yield is limited by factors that can be modified such as labour, seed age and water and nutrient availability. Finally, the actual yield is that reduced by the presence of weeds, pests, diseases and pollutants. These factors that determine, limit or reduce yield have only been partially analyzed at world or local level. Hence, the purpose of this review is to analyze for *Solanum tuberosum* sp. *tuberosum* all these factors when the tubers are used for seed, ware or industry, with special reference to the Argentinian situation.

Key words: potatoes, yield, quality, seed tubers, processing industry.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo originario de las zonas montañosas del

norte de la Argentina, Bolivia y Perú, desde donde se difundió al resto del mundo (Hawkes, 1990). Por su origen, el cultivo está mejor adaptado a los climas templado-fríos, pero la

diversidad de genotipos existentes, su plasticidad y el alto valor biológico de sus proteínas han determinado que se extienda incluso a áreas tropicales y subtropicales (Van der Zaag & Horton, 1983; Horton & Sawyer, 1985). Durante el último siglo el área cultivada a nivel mundial disminuyó, en tanto que los rendimientos aumentaron considerablemente (Caldiz, 1994). En parte, por la incorporación al cultivo de variedades más resistentes a las plagas y enfermedades y mejor adaptadas al ambiente, así como por la adopción de nueva tecnología (Thornton & Sieczka, 1980; Bajaj, 1987).

En la Argentina el cultivo se lleva a cabo en diversas regiones durante todo el año calendario, lo cual permite disponer de producto fresco a lo largo del mismo (Huarte & Inchausti, 1994; Caldiz & Struik, 1998). En el país, el área cultivada disminuyó de las 170.000 ha cultivadas en 1923/24 a las, aproximadamente, 100.000 que se cultivan en la actualidad, en tanto que el rendimiento aumentó a razón de 295 kg.ha⁻¹ año en el período 1934-1990. Este incremento es superior al registrado a nivel mundial y en Sudamérica, en el mismo período, 61 y 144 kg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente, pero está lejos del logrado en Norteamérica, que fue de 365 kg.ha⁻¹.año⁻¹ (Caldiz, 1994). Actualmente el rendimiento promedio en el país es de 30000 kg.ha⁻¹, pero los mejores agricultores alcanzan a obtener en algunas regiones, rendimientos de 50000-60000 kg.ha⁻¹ (Huarte, 1996; Caldiz & Struik, 1998).

A partir del análisis de estos datos es posible definir diferentes situaciones de producción, las cuales han sido clasificadas como de *rendimiento potencial*, *rendimiento posible* y *rendimiento actual* (Van der Zaag & Burton, 1978).

Desde el punto de vista ecofisiológico, el *rendimiento potencial* del cultivo esta determinado por los factores que no pueden ser alterados por los agricultores, como altitud, latitud, temperatura, fotoperiodo, radiación y el cultivar elegido. Esta última situación está dada por las características genotípicas que

no pueden ser modificadas una vez que el cultivo ha sido implantado. En síntesis, la interacción genotipo x ambiente es determinante del *rendimiento potencial* del cultivo (Van der Zaag & Burton, 1978; Beukema & Van der Zaag, 1990; Rabbinge, 1993), entendiéndose como tal el rendimiento que puede alcanzar un cultivar bajo condiciones de amplia disponibilidad de agua y nutrientes y en ausencia de malezas, plagas y enfermedades (Fig. 1). En tanto que el *rendimiento posible* es modificado por diversos factores limitantes. Estos son aquellos que pueden ser modificados por el agricultor, como por ejemplo: las labores culturales, la edad fisiológica de los tubérculos *semilla* y la disponibilidad de agua y nutrientes. Por último, el *rendimiento actual* es aquel que se ve reducido por la presencia de malezas, plagas, enfermedades y contaminantes. Estos factores, que determinan, limitan o reducen el rendimiento del cultivo, sólo han sido analizados parcialmente, tanto a nivel mundial (Haverkort, 1990; McKerron, 1992

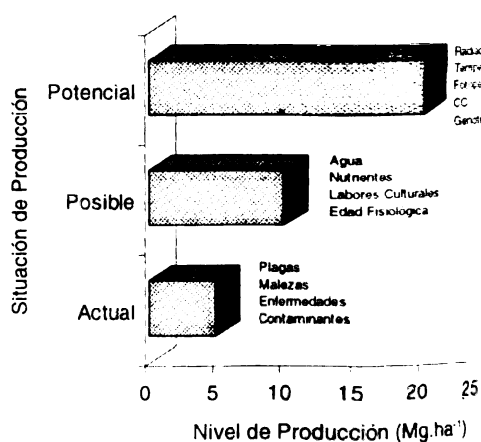


Figura 1. Situación de producción y los factores que determinan, limitan o reducen el rendimiento. Modificada de Rabbinge (1993).

Production situation and factors determining, limiting or reducing yield. Modified from Rabbinge (1993).

Caldiz, 1994; Kooman, 1995), como para la Argentina (Echeverría *et al.*, 1992; Caldiz, 1996; Caldiz & Struik, 1998). Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es analizar, en conjunto y con especial referencia a *S. tuberosum* sp. *tuberosum* y a la situación Argentina, los factores abióticos y bióticos responsables del rendimiento cuando los tubérculos se destinan a una nueva plantación, al consumo fresco o a la industria.

FACTORES DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO

Latitud y Altitud

La latitud es determinante de la radiación, la temperatura y el fotoperíodo de cada localidad. Entre los 0 - 30° de latitud la radiación y la temperatura son elevadas, determinando climas tropicales y subtropicales, en tanto que el fotoperíodo se mantiene más o menos constante a lo largo de todo el año. A latitudes mayores la radiación y la temperatura disminuyen y el fotoperíodo puede alcanzar hasta 18 h durante los meses de verano.

La altitud determina fundamentalmente la temperatura que se recibe en cada localidad, aunque también puede modificar la calidad de la radiación. Al respecto, Haverkort (1990) encontró que para las localidades de Odemis (180 m snm) y Nevsehir (1200 m snm), ambas ubicadas a 38° N en Turquía, existía una diferencia de temperatura de 7°C entre ambas. En consecuencia, en Odemis es posible llevar a cabo dos cultivos de papa por año (primavera y otoño), en tanto que en Nevsehir sólo es posible llevar a cabo uno sólo durante el período de verano. Una situación similar ocurre en otras regiones con clima mediterráneo, como en la provincia de Córdoba, Argentina, donde en el llano es posible llevar a cabo dos cultivos por año (primavera y otoño), en tanto que en las sierras sólo puede realizarse uno sólo (Caldiz & Haverkort, 1994; Quatrini, com. pers., 1997).

Fotoperíodo

La duración del día es percibida por las hojas, produciendo un estímulo hormonal que se traslada hacia toda la planta (Gregory, 1965; Hammes & Beyers, 1973) y puede ser transmitido por injertos (Chapman, 1958; Kumar & Wareing, 1973). Los efectos del fotoperíodo sobre la formación de tallos, estolones y tubérculos han sido estudiados utilizando estas, lo cual simplifica la realización de experimentos tendientes a estudiar la respuesta de las plantas al ambiente, diferencias genotípicas o la respuesta a la aplicación de reguladores vegetales del crecimiento (Ewing & Wareing, 1978; Ewing, 1985; Ewing & Struik, 1992). En la papa el estímulo que induce a la tuberización es favorecido por fotoperíodos más cortos que un fotoperíodo crítico. En los cultivares pertenecientes a *Solanum tuberosum* sp. *andígena*, que crecen en regiones elevadas de los trópicos, el fotoperíodo crítico es de 12-13 h, en tanto que en los cultivares de *Solanum tuberosum* sp. *tuberosum*, que fueron seleccionados bajo las condiciones del verano europeo, el fotoperíodo crítico es de 14-15 h o más.

Los días cortos promueven el inicio de la tuberización y disminuyen el crecimiento de la parte aérea, tal como ha sido demostrado bajo condiciones controladas o en condiciones naturales (Bodlaender, 1963; Fahem & Haverkort, 1988); en tanto que los días largos promueven el crecimiento de la parte aérea, y retrasan el inicio de la tuberización y la maduración, tal como ocurre en los cultivos que se realizan durante el verano bajo las condiciones fotoperiódicas de la Isla de Tierra del Fuego, Argentina (52° 30' - 55° 00' S). En esta latitud la duración del día puede alcanzar 18 h (Caldiz *et al.*, 1998a). Por otra parte, las respuestas al fotoperíodo condicionan la floración y la producción de semilla botánica, que es ampliamente utilizada en países donde la disponibilidad de mano de obra es abundante y su costo es bajo (Almekinders, 1994).

Temperatura

La temperatura ejerce sus efectos sobre el desarrollo, el crecimiento y el rendimiento del cultivo. La tuberización comienza antes cuando las temperaturas son bajas (Gregory, 1965; Epstein, 1966) y el número de tubérculos aumenta cuando éstas ocurren durante la noche (Hervé, 1973). A medida que la temperatura aumenta de 20 a 29°C el crecimiento de la parte aérea y el ritmo de envejecimiento de las hojas es mayor, lo cual provoca dismi-

nuciones en el rendimiento (Bushnell, 1925; Marinus & Bodlaender, 1975). Las temperaturas de 20-25°C son óptimas para la fotosíntesis, dependiendo del flujo fotónico fotosintético (Fig 2). A irradiancias mayores el óptimo se alcanza a temperaturas más elevadas, y existen respuestas diferenciales según el cultivar. Las altas temperaturas y, particularmente la falta de amplitud térmica diaria, disminuyen la acumulación de materia seca en los tubérculos, al promover el crecimiento del fo-

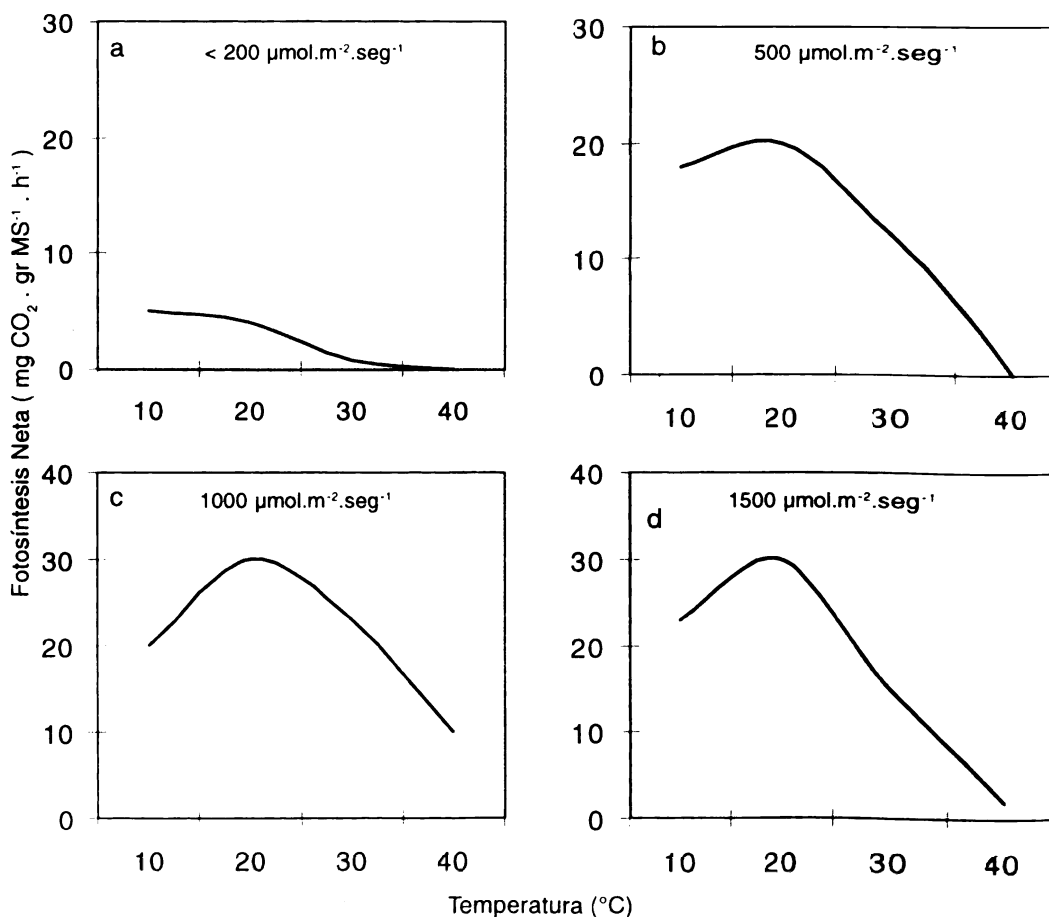


Figura 2. Fotosíntesis neta a distintas densidades de flujo fotónico fotosintético (dfff) y a distintas temperaturas. Modificada de Winkler (1983).

Net photosynthesis at different photosynthetic photon flux densities (ppfd) and different temperatures. Modified from Winkler (1983).

llaje y disminuir la eficiencia de uso de la radiación (Menzel, 1980). Esta respuesta es similar para todas las variedades de *S. tuberosum* sp. *tuberosum*, si bien existen diferencias cuantitativas entre aquellas de un mismo ciclo (Kooman, 1995).

Las temperaturas cercanas a los 2°C producen daños por enfriamiento y cese del crecimiento, efectos que se revierten al modificarse las mismas; en tanto que a temperaturas inferiores a -1°C se producen daños por congelamiento, de los cuales la mayoría de los cultivares no se recuperan (Li & Fennell, 1985). Existe una amplia variabilidad genética respecto a la resistencia a las bajas temperaturas, que ha permitido clasificar a las especies tuberíferas de *Solanum* en cinco grupos, de acuerdo a la capacidad de las hojas para soportarlas (Li & Fennell, 1985). El cultivar Alaska Frostless, por ejemplo, ha sido desarrollado a partir de un retrocruzamiento secundario de *S. acaule* (Dearborn, 1969). La obtención de cultivares tolerantes a las bajas temperaturas permitiría extender el cultivo a regiones donde actualmente el mismo sólo puede llevarse a cabo con alto riesgo de ser afectado por las mismas, tal como ocurre en la Isla de Tierra del Fuego (Caldiz *et al.*, 1998a).

Concentración de CO₂

El gradiente de CO₂ entre la atmósfera y el interior de la hoja y la conductancia estomática de esta última determinan el ritmo de difusión del CO₂ hacia el cloroplasto, donde se lleva a cabo el proceso fotosintético. La concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado de 315 a 350 ppm en el período 1959-1985 (Bacastow *et al.*, 1985). Actualmente es superior a 355 ppm (Araús, com. pers., 1997) y se espera un incremento mayor en el futuro, principalmente como consecuencia del aumento en la actividad industrial. Sin embargo, la concentración actual resulta limitante para la fotosíntesis en especies C₃ como la papa, que a 700 ppm de CO₂ podría aumentar el ren-

dimiento un 20-30%, dependiendo del ciclo de las variedades, tal como han demostrado Schapendonk *et al.* (1995) mediante la utilización de modelos de simulación. De todos modos, como la papa es un cultivo que se realiza al aire libre, este efecto benéfico sólo podría registrarse en caso de que la concentración de CO₂ en la atmósfera alcance dichos niveles en el futuro, o bien si se cultivara en invernáculos con atmósfera enriquecida en CO₂. La mayor concentración de CO₂ ejerce un efecto positivo indirecto, pues es más eficiente la utilización de la energía proveniente de la cadena transportadora de electrones al suprimirse la fotorespiración (Schapendonk *et al.*, 1995). De todos modos, a largo plazo, un aumento en la concentración de CO₂ podría aumentar la demanda de nutrientes, particularmente N y podría modificar, también el patrón de distribución de fotoasimilados (Araús, com. pers., 1997).

En condiciones de campo, y a largo plazo, existiría la posibilidad de incrementar la fijación de CO₂ si se encontrarán líneas en las cuales: (a) la *Rubisco* tuviera mayor afinidad por el CO₂ o bien disminuyera su capacidad de actuar como oxigenasa o (b) el ritmo de degradación de la *Rubisco* hacia el final del ciclo de cultivo fuera menor (Caldiz, 1994).

Radiación

La radiación incidente sobre el cultivo varía según la nubosidad, el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre el canopeo, el cual depende de la latitud, época del año, momento del día y ángulo de intercepción del follaje. La irradiancia, además de sus efectos sobre la fotosíntesis (Fig. 2a-d), ejerce otros efectos morfogénéticos en el cultivo, como ser, una mayor elongación de los tallos y aumento del área foliar a bajos niveles de flujo (Bodlaender, 1963; Moorby, 1978). Por otra parte, al margen de los efectos sobre el rendimiento que ejercen los factores analizados previamente, y tal como ocurre en otros cultivos (Monteith, 1981) la radiación total interceptada por el

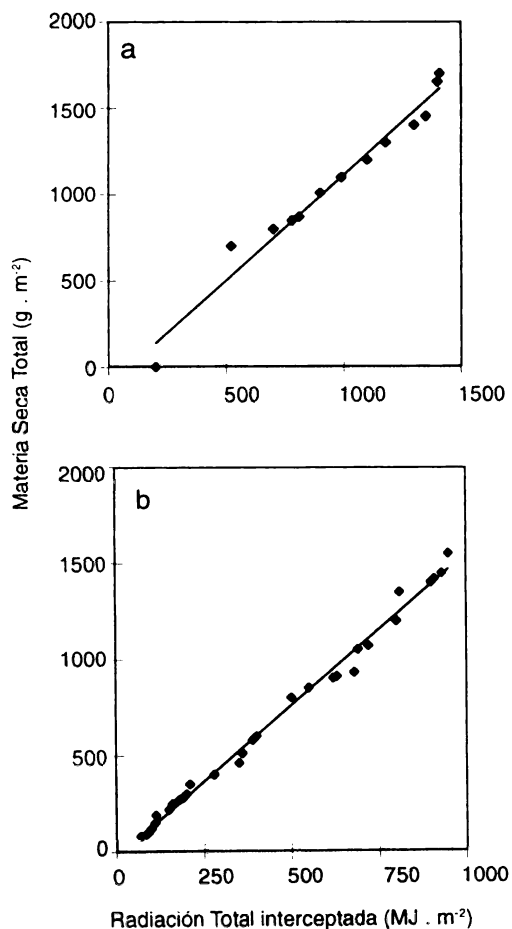


Figura 3. Producción de materia seca total en función de la radiación total interceptada. (a) Sutton Bonington, (b) Trefloyne, R.U. Modificada de Allen & Scott (1980).

Relationship between total dry matter production and total intercepted radiation. (a) Sutton Bonington, (b) Trefloyne, U.K. Modified from Allen & Scott (1980).

cultivo [(R_I), expresada en MJ.m⁻²] es uno de los principales determinantes de la producción de materia seca (Allen & Scott, 1980; Khurana & Mc Laren, 1982; Cantos de Ruiz, 1988; Saluzzo *et al.*, 1994), tal como se observa en la Fig. 3.

Otro factor determinante del rendimiento es la eficiencia de uso de la radiación, que es

la pendiente de la recta que relaciona la materia seca producida con la radiación total interceptada [(EUR), expresada en kg MS.MJ⁻¹]. La EUR incluye las pérdidas que se producen por respiración y fotorespiración. Estos aspectos serán discutidos en detalle en el capítulo *Determinantes Fisiológicos del Rendimiento*.

Cultivares

A través del mejoramiento genético se han obtenido cultivares de papa con importantes diferencias en cuanto a la duración de su ciclo y su adaptación y respuesta a los distintos ambientes donde el cultivo se lleva a cabo. La adecuada elección del cultivar, de acuerdo a la duración de la estación de crecimiento, su adaptación a las condiciones locales y el destino del mismo, son fundamentales para alcanzar mayores rendimientos. En climas tropicales, las altas temperaturas determinan una partición diferencial de materia seca, priorizándose la acumulación en hojas y tallos, pero en aquellos cultivares seleccionados bajo condiciones de alta temperatura, tal como los clones LT1 y DTO33 se ha logrado modificar este patrón de distribución (Trebejo & Midmore, 1990) y, consecuentemente, estos clones son capaces de producir rendimientos aceptables en áreas tropicales.

De todos modos, en muchos casos el cultivar que domina el mercado no es siempre el que posee la mejor calidad, tal como ocurre en la Argentina con el cultivar Spunta, de origen holandés. Este cultivar es el que ocupa la mayor fracción del mercado para consumo fresco y para exportación y, si bien posee un alto potencial de rendimiento, su calidad culinaria e industrial es mala (Cacace *et al.*, 1994).

FACTORES LIMITANTES DEL RENDIMIENTO

Labores Culturales

La papa posee un sistema radical muy reducido, por lo tanto la presencia de capas

impermeables en el perfil del suelo reduce el crecimiento y el rendimiento del cultivo (Boone *et al.*, 1985; Van Loon *et al.*, 1985). Por otra parte, se ha encontrado que el rendimiento es función de la profundidad del horizonte A (Beukema & Van der Zaag, 1990). Las labores del suelo no sólo deben contribuir a impedir o eliminar estas capas impermeables, sino que deben garantizar la conservación del mismo, particularmente en aquellos susceptibles a la erosión hídrica o eólica, como ocurre en ciertas áreas de la Argentina con clima mediterráneo (Caldiz & Haverkort, 1994).

La adecuada y anticipada preparación del suelo permite un buen control de malezas y la acumulación de agua en el perfil, que es importante para las primeras etapas del crecimiento (Eyherabide, 1995). La plantación debe ser hecha a distancia y profundidad constantes, a fin de favorecer la rápida y uniforme emergencia del cultivo y una homogénea iniciación de la tuberización. La densidad de plantación varía de acuerdo al destino de los tubérculos, por ejemplo en el caso que éstos se destinen a *semilla* se deben obtener alrededor de 30 tallos.m⁻², en tanto que cuando el destino es consumo o industria, el número es muy variable y, dependiendo del cultivar, es normal encontrar de 12-20 tallos.m⁻² (Beukema & Van der Zaag, 1990). Las labores durante el cultivo favorecen la aireación del suelo, y ésta estimula la producción de tubérculos (Caldiz & Pano, 1986). Las labores deben llevarse a cabo bajo condiciones adecuadas de humedad y con implementos que no promuevan la formación de terrones, los cuales aumentan los niveles de daño a la cosecha (Exilart, 1982). Esto es particularmente importante, independientemente del destino de los tubérculos, pues los golpes pueden disminuir la almacenabilidad de los tubérculos destinados a una nueva plantación, al consumo o a la industria y además, en estos dos últimos casos, los golpes o heridas disminuyen la calidad del producto (Specht & Scholz, 1978). Las labores inadecuadas de preparación del

suelo, de plantación, los cuidados culturales o la cosecha pueden disminuir, directa o indirectamente, el rendimiento del cultivo. Existen interesantes revisiones acerca de los efectos de las labores sobre el rendimiento (Jarvis, 1978; Specht & Scholz, 1978; Escande, 1982; Beukema & Van der Zaag, 1990).

Edad Fisiológica de los Tubérculos Semilla

La edad fisiológica de los tubérculos destinados a nueva plantación es uno de los factores limitantes del rendimiento. La edad fisiológica puede definirse como el estado fisiológico del tubérculo en un momento determinado, y depende fundamentalmente de las condiciones de cultivo y almacenamiento a la cual haya estado sometido ese tubérculo (Van der Zaag, 1973; Perennec & Madec, 1980; Caldiz *et al.*, 1984; Van der Zaag & Van Loon, 1987; Wiersema & Booth, 1985; Caldiz, 1991). Las temperaturas acumuladas durante estos períodos son determinantes de la edad fisiológica, y el envejecimiento es mayor cuanto mayores son las temperaturas acumuladas (Ewing, 1981; O' Brien *et al.*, 1983; Caldiz *et al.*, 1985), tal como se muestra en la Fig. 4. Existen diversos indicadores biológicos, bioquímicos y fisiológicos de la edad fisiológica tales como el tipo de brote, la longitud del mismo, la duración del período de incubación de los tubérculos, el contenido de ácidos orgánicos y de nutrientes y la actividad de ciertas enzimas (Krijhte, 1962; Münster, 1975; Reust, 1982; Sacher & Iritani, 1982; O' Brien *et al.*, 1983; Reust & Aerny, 1985; Caldiz *et al.*, 1984, 1985, 1996; Scholte, 1987; Van Es & Hartmans, 1987; Van Ittersum *et al.*, 1990; Biotto & Siegenthaler, 1991), que permiten predecir parcialmente, la respuesta del futuro cultivo. Es importante conocer el estado fisiológico de los tubérculos *semilla* a fin de adecuar el manejo y el destino del cultivo a dichas características. Uno de los indicadores utilizados para evaluar la edad fisiológica de los tubérculos es la duración del período de incubación, que comprende desde el inicio de la brotación has-

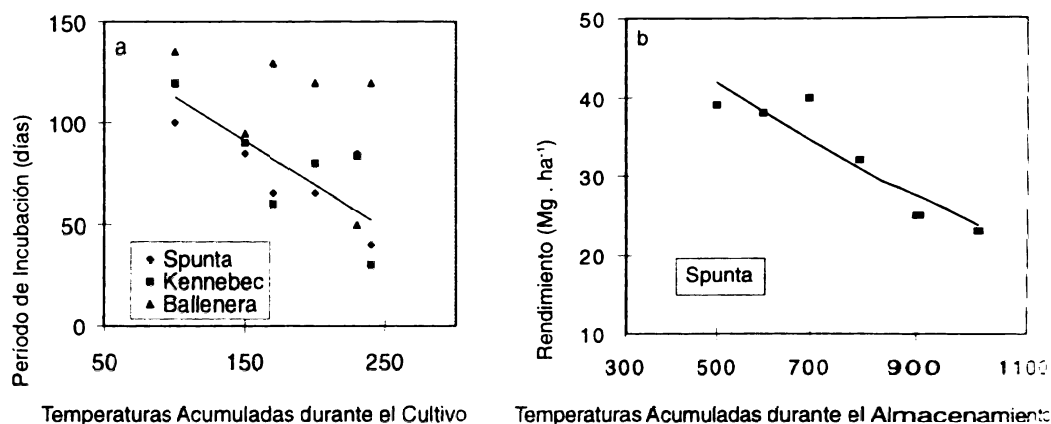


Figura 4. (a) Correlación entre longitud del periodo de incubación y temperaturas acumuladas durante el cultivo por encima de 17°C. (b) Correlación entre rendimiento y temperaturas acumuladas durante el almacenamiento. Modificada de Caldiz et al. (1985) y de Vakis (1986), respectivamente.

(a) Relationship between length of the incubation period and accumulated temperatures during crop growth beyond 17°C. (b) Relationship between tuber yield and accumulated temperatures during the storage period. Modified from Caldiz et al. (1985) and from Vakis (1986), respectively.

ta la formación de nuevos tubérculos, proceso que se produce aun en ausencia de la parte aérea y que asegura la supervivencia de la especie (Claver, 1951). El grado de avance del proceso es un indicador de la edad fisiológica, por lo tanto cuanto menor sea la duración del período mayor es la edad fisiológica de la semilla. En general, los tubérculos con una edad fisiológica más avanzada desarrollan un ciclo de cultivo más corto, a diferencia de lo que ocurre con tubérculos fisiológicamente más jóvenes (Fig. 5). Por lo tanto, la utilización de semilla envejecida cuando el ciclo disponible para el crecimiento del cultivo es largo, limitará el potencial de rendimiento del mismo; en tanto que para ciclos de cultivo corto o para situaciones de doble cosecha, el uso de semilla envejecida es una ventaja (Caldiz & Haverkort, 1994; Caldiz et al., 1998a). La edad fisiológica puede ser modificada a través de las condiciones de almacenamiento de

la semilla o bien mediante el manejo de los nutrientes y los reguladores vegetales del cre-

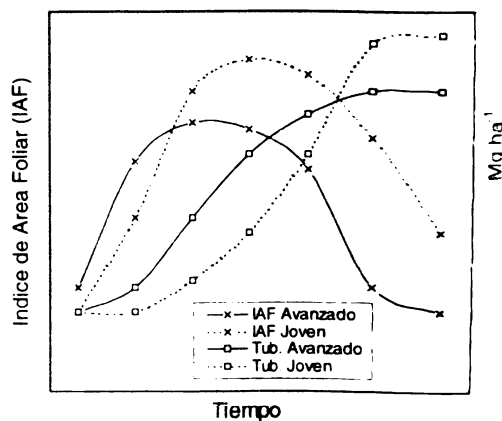


Figura 5. Evolución del IAF y del rendimiento en cultivos provenientes de tubérculos semilla jóvenes y fisiológicamente avanzados.

Leaf area index (LAI) and yield in crops from advanced and young physiological age seed tubers.

cimiento durante el ciclo de cultivo (Caldiz *et al.*, 1984, 1989, 1998b; Escande *et al.* 1986).

Disponibilidad de Agua

La obtención de altos rendimientos en tubérculos está asociada a la disponibilidad de agua para el cultivo, tal como lo demuestra la buena correlación que existe entre las precipitaciones durante el ciclo de cultivo y el rendimiento (Benoit & Grant, 1980), aunque en muchos casos el rendimiento no depende de la cantidad de agua caída sino del momento en que la misma está disponible para el cultivo (Haverkort, 1986). En papa se reconocen dos momentos críticos para la falta de agua, el inicio de la tuberización y el período final de llenado de los tubérculos. Al inicio de la tuberización las raíces dejan de explorar el perfil del suelo; por lo tanto una adecuada disponibilidad de agua, previo a este momento, determinará un aumento en el número de estolones y tubérculos (Lis *et al.*, 1964; Van Loon, 1981; Panelo *et al.*, 1982). En cuanto al final del período de llenado, diversas investigaciones han demostrado que el estrés hídrico puede disminuir los rendimientos (Van der Zaag & Burton, 1978). Para obtener altos rendimientos la humedad del suelo no debería estar por debajo del 50% del agua disponible, i.e. valores de potencial agua del suelo de -0,02 a -0,06 MPa en el estrato con mayor densidad de raíces (Singh, 1969). Por otra parte, si se la compara con otros cultivos, la papa es muy sensible a la falta de agua y sus estomas se cierran a valores de potencial agua de la hoja de -0,35 MPa y la fotosíntesis disminuye significativamente a valores de -0,5 Mpa (Fig. 6), por lo tanto, para evitar disminuciones significativas en el rendimiento la frecuencia de irrigación debe ser mayor que en otros cultivos (Fulton, 1970).

Echeverría *et al.* (1992) en trabajos realizados en Balcarce, Argentina (37° 45' S), han demostrado que normalmente las deficiencias de agua comienzan a partir de principios de Diciembre, haciéndose mayores durante el mes de Enero, lo cual coincide con el período

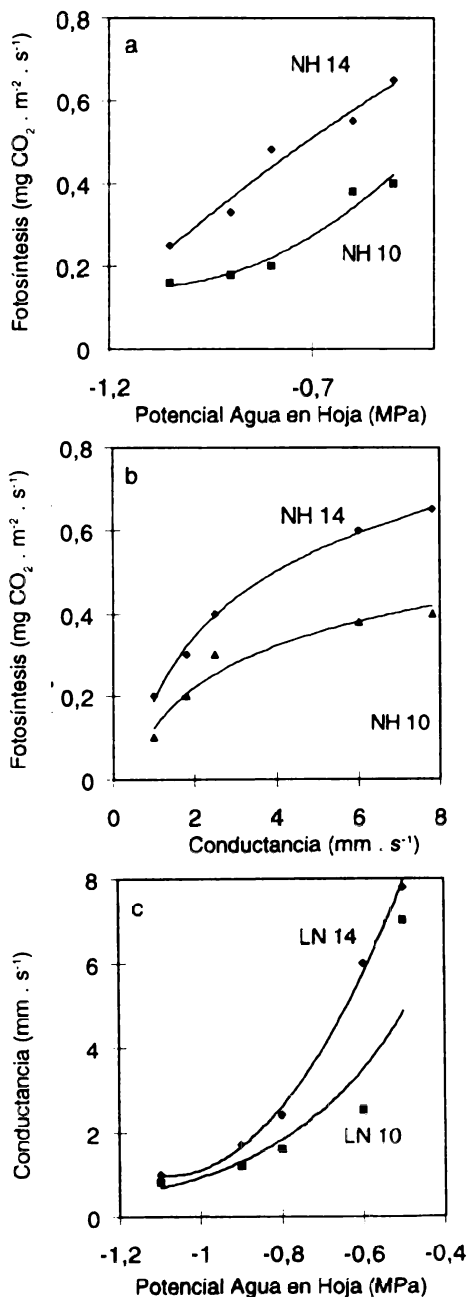


Figura 6. Fotosíntesis, potencial agua en hoja y conductancia en distintas hojas. NH: número de hoja 10 y 14. Modificado de Vos & Oyarzun (1987).

Photosynthesis, leaf water potential and leaf stomatal conductance in different leaves. LN: leaf number 10 and 14. Modified from Vos & Oyarzun (1987).

de llenado de los tubérculos. Estos autores han encontrado que la probabilidad de padecer un déficit hídrico es del 80% y que es posible obtener un incremento en el rendimiento de 85 kg de tubérculos mayores a 50 g por cada milímetro de agua consumida (Echeverría *et al.*, 1992).

Disponibilidad de Nutrientes

Los mayores efectos sobre el rendimiento se producen ante variaciones en los niveles de N, P y K disponibles para el cultivo, que se reflejan principalmente, en la evolución del área foliar del cultivo, en tanto que el resto de los elementos esenciales cumple funciones más específicas en el metabolismo de la planta (Watson, 1963). De los elementos esenciales, el N es el que ha recibido mayor atención, dado que su carencia disminuye el crecimiento del follaje y reduce la cobertura del suelo (Allen & Scott, 1980), lo cual provoca importantes disminuciones en el rendimiento (Harris, 1978). El inicio de la tuberización es retrasado por altos niveles de N, pero su disponibilidad es

esencial para mantener la cobertura del suelo y alcanzar altos rendimientos (Millard & Marshall, 1986). El P modifica la evolución del área foliar en los primeros estadios del cultivo; en tanto que la mayor disponibilidad de K hacia el final del ciclo retrasa la senescencia de la hojas y prolonga la cobertura del suelo. La demanda de nutrientes a lo largo del ciclo de cultivo difiere según el nutriente que se considere (Fig. 7a y b), pero aproximadamente un 40-50% de los nutrientes es absorbido en etapas tempranas, cuando aún la acumulación de materia seca es relativamente baja (Fig. 7a y b, Harris, 1978).

Es posible establecer la demanda de nutrientes al considerar, por ejemplo, las cantidades de nutrientes que extrae un cultivo, para un rendimiento estimado de 20000 kg.ha⁻¹ (Tabla 1).

Los nutrientes requeridos deben ser aportados por el suelo o a través de la fertilización, la cual puede realizarse por vía edáfica o foliar. Esta última vía de aplicación es muy conveniente si se deben suplir micronutrientes (Zn,

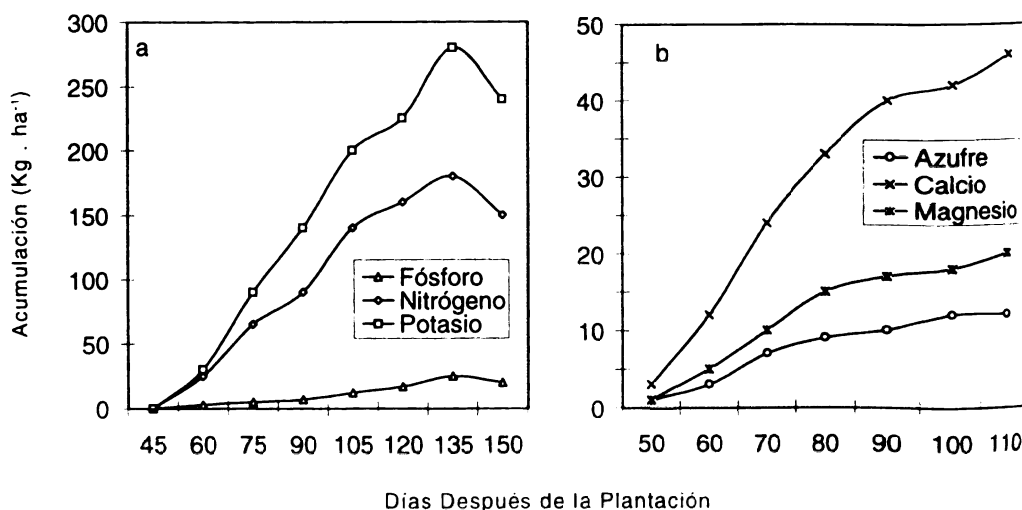


Figura 7. Evolución de la acumulación de nutrientes. Modificado de Harris (1978).

Pattern of nutrients accumulation in potatoes. Modified from Harris (1978).

Tabla 1. Extracción de nutrientes por parte del cultivo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) suponiendo un rendimiento de 20000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Nutrient extraction ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) by a potato crop considering a possible tuber yield of 20000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Nutriente	Cantidad total ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
Nitrógeno	160
Fósforo	17
Potasio	154
Magnesio	28
Azufre	10
Calcio	41

Modificado de Vander Zaag (1981).

Modified from Vander Zaag (1981).

Bo, Mo, Fe), o bien si se requiere que el elemento esté rápidamente disponible para el cultivo. En algunos casos, el P y el Ca pueden encontrarse en el suelo en cantidades suficientes, pero en forma insoluble y, por lo tanto, no disponibles para el cultivo (Darwich, 1983). En estos casos la adecuada elección del fertilizante o la aplicación de enmiendas que modifiquen el pH pueden mejorar la disponibilidad de estos elementos. Esto es particularmente importante en los suelos ácidos lateríticos, donde el P está secuestrado por el Fe y el Al, formando complejos insolubles (Beukema & Van der Zaag, 1990). La expansión del cultivo a áreas tropicales, donde predominan estos tipos de suelos, ha llevado al desarrollo de sistemas de selección de líneas tolerantes a altos niveles de Al (Midmore & Espinola de Fong, 1983).

FACTORES QUE REDUCEN EL RENDIMIENTO

Malezas

Las malezas compiten con el cultivo por agua, luz, nutrientes y espacio; reducen la efi-

ciencia en el uso de la tierra y aumenta las dificultades y costos en la cosecha (Klingman, 1960). Los efectos directos sobre el cultivo dependerán principalmente del porte, del momento en el cual estén presentes y de su capacidad competitiva (Ehyerabide, 1995). Las de escaso porte, como *Brassica campestris* "nabo" y *Portulaca oleracea* "portulaca" sólo compiten con el cultivo durante los primeros estadios, cuando el suelo todavía no ha sido cubierto por el canopeo (Raby & Binning, 1986). Otras malezas, como *Amaranthus quitensis* "yuyo colorado", *Chenopodium album* "quinoa", *Cynodon dactylon* "gramón" y *Convolvulus arvensis* "enredadera perenne" no sólo compiten con el cultivo, sino que también dificultan las operaciones de cosecha (Ehyerabide, 1995).

La presencia de malezas disminuye el rendimiento del cultivo en función de la especie que se considere, la densidad de población y el período durante el cual coexiste con el cultivo (Caldiz & Panelo, 1986; Beltrano & Caldiz, 1993). Las reducciones en el rendimiento por la presencia de malezas puede variar entre 19-81% (Sy, 1973; Nelson & Thoreson, 1981; Vangessel & Renner, 1990), si bien White & Lazarus (1986) encontraron disminuciones hasta del 100% cuando se trataba de malezas perennes. Resultados similares encontraron Beltrano & Caldiz (1993) al evaluar el efecto de la competencia de distintas densidades de *Sorghum halepense* "sorgo de Alepo" sobre el cultivo. Estos autores encontraron que densidades de 17, 34 y 51 plantas de sorgo. m^{-2} disminuían el rendimiento de tubérculos en 80, 85 y 95%, respectivamente (Fig. 8). En áreas de riego, condición bajo la cual se lleva a cabo el cultivo normalmente, la presencia de malezas, tanto anuales como perennes, gramíneas o dicotiledóneas es considerado un problema muy importante (Cáceres *et al.*, 1988). Por otra parte, algunas malezas actúan como reservorios de virus, tal el caso de *Solanum sisymbriifolium* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, donde se

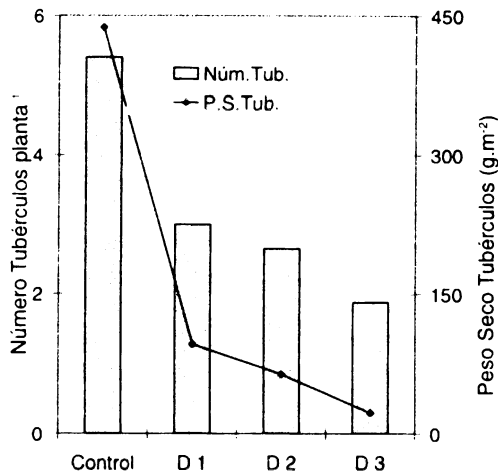


Figura 8. Efectos de la densidad de plantas de sorgo de alepo sobre el número y el peso de los tubérculos. Ver texto para mayores referencias. Modificada de Beltrano & Caldiz (1983).

Effect of Jhonsongrass densities on tuber number and tuber weight. See text for more references. Modified from Beltrano & Caldiz (1983).

han encontrado los virus Y de la papa (PVY^N y PVY^O, Butzonich *et al.*, 1984).

El control de las malezas puede hacerse por medios químicos, mecánicos, por una combinación de ambos y por la inclusión de rotaciones. En papa es preferible combinar los métodos de control y realizar alguna labor mecánica, a fin de promover la aireación del suelo que resulta beneficiosa para el cultivo (Bishop & Grimes, 1978). A pesar de ello, y a fin de mantener la estructura del suelo, en los últimos años se han desarrollado técnicas de cultivo de labranza reducida, en el cual el uso del arado de rejas es suprimido, se dejan en el suelo suficientes residuos como para proteger la superficie del suelo y el control de malezas se lleva a cabo mediante herbicidas (Crosson, 1981). Recientemente, Lanfranco *et al.* (1993) han llevado a cabo una serie de experiencias combinando el uso de residuos de centeno y labranza mínima con el fin

de reducir el número de labores y el uso de herbicidas en el cultivo.

Plagas

Numerosas plagas como orugas y moscas minadoras de las hojas, áfidos, escarabajos, insectos de suelos y nematodos pueden afectar, tanto la parte aérea como subterránea del cultivo, causando disminuciones en el rendimiento y en la calidad. Las larvas de orugas (*Agrostis* spp.) y moscas minadoras de las hojas (*Liriomyza* spp.) que se alimentan de estos tejidos, reducen el área foliar y provocan, en algunos casos la ruptura de los tallos (Raman, 1981), disminuyendo consecuentemente la intercepción de radiación por parte del cultivo. Algo similar ocurre con la presencia de escarabajos, como el escarabajo Colorado de la papa (*Leptinostarsa decemlineata*), cuyas larvas y adultos se alimentan de las hojas (Thornton & Sieczka, 1980; Raman, 1981) o *Epicauta adspersa* "bicho moro" que pueden defoliar las plantas completamente. Ácaros (*Poyphagotarsenemus* spp.), trips (*Frankliniella* spp.) y pulgones (*Myzus persicae*, *Aulacorthum solani* y *Macrosiphum euphorbiae*, entre otros) también producen necrosis y amarillamiento de las hojas, reduciendo el área fotosintéticamente activa del cultivo (Raman, 1981). Pero la presencia de pulgones es quizás más importante como transmisores de virus (virus Y de la papa, PVY; virus del enrollado de la hoja de la papa, PLRV), que se trasladan hacia los tubérculos, contaminando la futura semilla y ocasionando importantes reducciones en el rendimiento del cultivo (Reestman, 1970; Caldiz *et al.*, 1985; Khurana, 1992). Esta es una de las razones por la cual en el mundo se han desarrollado áreas productoras de semilla de papa en regiones donde no existen pulgones o bien donde su aparición no coincide con los momentos críticos para que el cultivo sea infectado (Fernández Valiela & Calderoni, 1961; Pushkarnath, 1967; Rojas *et al.*, 1975; MAFF, 1979; Ovruski de Martínez, 1992; Nemeček

et al., 1995). Es así que se han desarrollado diversas tecnologías de multiplicación y propagación *in vitro* para producir plantas libres de virus (Haverkort & Van der Zaag, 1989) y para evitar la transmisión de éstos causadas por los pulgones, tales como el uso de *semilla* prebrotada (Headford, 1962), la aplicación de insecticidas (Rohastch, 1982) y aceites minerales (Shands, 1977), la resistencia de las plantas a la madurez (Braber et al., 1982) y la defoliación anticipada del follaje (Hutchinson, 1978; Panelo & Caldiz, 1989; Caldiz et al., 1994), entre otras.

Otras plagas, como los insectos de suelos producen daños en los tubérculos, disminuyendo la calidad y el rendimiento comercial del cultivo. Por ejemplo, para el sudeste de la provincia de Buenos Aires, la presencia de las especies *Cyclocephala signaticollis* y *Colaspis* spp. en el momento previo a la cosecha, ha sido reconocida como de alta significancia económica para el cultivo (Alvarez Castillo et al., 1992). Si bien es posible controlar estas plagas mediante el uso de rotaciones e insecticidas (Manetti, 1990; Alvarez Castillo et al., 1992), el uso de algunos productos puede provocar sabores desagradables en los tubérculos (Cacace & Manetti, 1992).

La presencia de nemátodos en los suelos donde se lleva a cabo el cultivo, particularmente de los géneros *Globodera* spp., *Meloidogyne* spp. y *Nacobbus* spp. también representa un serio problema y causa considerables reducciones en el rendimiento (International Potato Center, 1977). Es por esta razón que diversos planes de mejoramiento incluyen, entre sus objetivos, el encontrar resistencia a esta plaga (Haverkort, 1991; Hoogendorn & Arzen, 1992).

Recientemente diversos modelos de simulación han sido desarrollados para evaluar el efecto de la presencia de diversas plagas sobre el rendimiento y para efectuar recomendaciones de manejo del cultivo (Van Oijen et al., 1995; Nemecek et al., 1995; Stevenson et al., 1995; Been et al., 1995).

Enfermedades

Al igual que en el caso de las plagas, son numerosas las enfermedades que pueden afectar al cultivo, causadas por hongos, bacterias y virus (Hide & Lapwood, 1978). En el caso de los hongos o las bacterias de suelo, ambos pueden producir severos daños aún antes de la emergencia, como en el caso de *Rhizoctonia solani* o de *Pseudomonas solanacearum*. Estos patógenos pueden sobrevivir en los tubérculos y en el suelo, por lo tanto para su control, se recomienda en ambos casos el uso de *semilla* sana y rotaciones (Escande et al., 1984). Otro patógeno que también se perpetúa en el suelo y que produce hasta un 10% de mermas en la producción total del sudeste de la provincia de Buenos Aires, es *Fusarium solani* sp. *eumartii*, hongo causante del marchitamiento y *punta seca* (Escande et al., 1984). En muchos casos el ataque de éstos y otros patógenos necesita de alguna vía de entrada, como la superficie no suberizada de los *cortes*, las heridas causadas por insectos de suelo o a través de las lenticelas, en este último caso cuando se producen excesos de agua en el suelo (O'Brien & Rich, 1976). Los daños fundamentales de enfermedades que afectan la parte aérea, también implican reducciones en el área foliar, con lo cual se producen consecuentes disminuciones en el rendimiento. Este puede ser el caso de los virus, cuya incidencia sobre el rendimiento ha sido bien estudiada y es posible estimar el porcentaje de reducción en el rendimiento de acuerdo a la cantidad de plantas infectadas en el cultivo (Reestman, 1970; Caldiz et al., 1985) tal como se aprecia en la Fig. 9. El problema de las enfermedades radica también en las diversas formas de distribución y perpetuación. Las esporas de *Spongospora subterranea* y los esporangios de *Synchytrium endobioticum* pueden permanecer en el suelo hasta 10 y 25 años, respectivamente (Hide & Lapwood, 1978). Otros patógenos, como *Alternaria solani*, *Oospora pustulans* y *Erwinia caratovora* sólo pueden permanecer en teji-

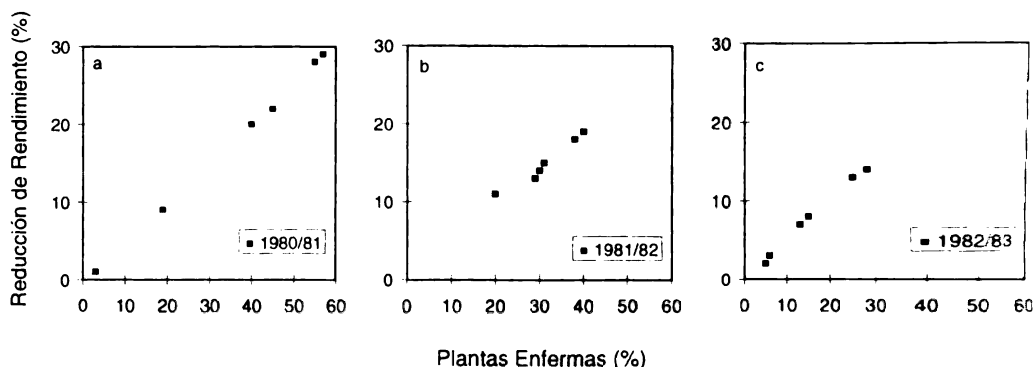


Figura 9. Efectos del porcentaje de plantas enfermas por virus sobre las disminuciones del rendimiento. Modificada de Caldiz et al. (1985).

Effects of the percentage of virus infected plants on yield reductions. Modified from Caldiz et al. (1985).

dos infectados y, por lo tanto, su presencia depende del grado de descomposición de los residuos (Hide & Lapwood, 1978). Al igual que en el caso de las malezas y las plagas, es recomendable que el control de enfermedades también se lleve a cabo en forma integrada, utilizando semilla sana, además de labores, rotaciones y manejo del cultivo, un correcto almacenamiento y mediante aplicaciones de agroquímicos, tanto durante el almacenamiento como durante el cultivo (Escande, 1990). Asimismo, también existen diversos modelos

de simulación que pueden ser utilizados para evaluar estrategias de control y para establecer reducciones en el rendimiento, ya sea entre cultivares o de acuerdo al diferente desarrollo de las enfermedades (Van Oijen, 1995).

Contaminantes

En los suelos agrícolas pueden existir residuos de aplicaciones previas de herbicidas que afecten al cultivo, causando principalmente, efectos fitotóxicos en el follaje. Por otra parte, como consecuencia de la actividad agrícola

Tabla 2. Presencia de algunos contaminantes en tubérculos de papa y límites tolerables.

Presence and accepted limits of several contaminants in potato tubers.

Compuesto	Uso	Residuo en tubérculos (mg.kg ⁻¹)	Tolerancia aceptable (mg.kg ⁻¹)
Monocrotofos	Insecticida foliar	0,08-0,20	0,05 ¹
Paraquat	Herbicida / Desecante	0,01-0,27	0,1 ²
CI IPC	Inhibidor de Brotación	0,0-5,8	0,5 ³
IPC	Inhibidor de Brotación	0,0-5,8	0,5 ⁴
Hidrazida Maleica	Inhibidor de Brotación	20	50 ⁵

¹ De Burton (1974). ² De Caldiz et al. (1997a).

la y del uso de agroquímicos es posible encontrar residuos en los tubérculos. Los casos más comunes son la presencia de insecticidas de suelo (Cacace & Manetti, 1992) y compuestos utilizados para inhibir la brotación de los tubérculos, como la HM, el IPC o el CI IPC (Burton, 1974; Caldiz *et al.*, 1997a).

La cantidad de residuos presentes en los tubérculos no debe exceder ciertos límites, tal como se presenta en la Tabla 2. La presencia de alguno de estos compuestos en los tubérculos disminuirá el rendimiento comercial del cultivo, pues estos no serán aceptados para su comercialización o industrialización. En los últimos años ha aumentado la tendencia hacia la producción de cultivos orgánicos o realizados en condiciones más naturales, con lo cual se proponen importantes reducciones en el uso de agroquímicos. Por ejemplo, en Holanda, para el año 2000 el uso de pesticidas debe ser reducido al 50% del promedio anual utilizado durante 1986-1988 (Van Loon *et al.*, 1994). Es de esperar que con este tipo de regulaciones la presencia de contaminantes en los tubérculos se vea significativamente reducida.

DETERMINANTES FISIOLÓGICOS DEL RENDIMIENTO

En los capítulos previos se han analizado los diversos factores que determinan, limitan o reducen el rendimiento de un cultivo (Fig. 1). En este capítulo se analizarán, particularmente, los procesos fisiológicos determinantes del rendimiento, que son modificados como consecuencia de la interacción con dichos factores. En este sentido, se consideran como determinantes fisiológicos del rendimiento: la radiación interceptada (RI), la eficiencia de uso de la radiación (EUR), el índice de cosecha (IC) y la proporción de materia fresca (MF) acumulada en los tubérculos respecto de la materia seca ($100 \text{ MF} \cdot 20 \text{ MS}^{-1}$), el producto de los cuales representa el rendimiento del

cultivo (Ecuación 1).

$$\text{Rendimiento} = \text{RI} (\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}) \times \text{EUR} (\text{g MS} \cdot \text{MJ}^{-1}) \times \text{IC} \times 100 \text{ MF} \cdot 20 \text{ MS}^{-1} = \text{g MF} \cdot \text{m}^{-2}$$

Cuando los tubérculos son destinados a una nueva plantación o al consumo fresco no se tiene en cuenta el contenido de materia seca de los mismos, pero esto no es así cuando los mismos se destinan al procesamiento industrial. En la Argentina, por ejemplo, la industria exige contenidos mínimos de materia seca de alrededor del 18% (Inchausti, com. pers. 1996). Por esta razón y por la demanda creciente de materia prima con este destino, es que se incluye en esta revisión al porcentaje de materia seca de los tubérculos como uno de los factores determinantes del rendimiento.

Radiación interceptada por el cultivo

A la superficie terrestre llegan aproximadamente $1,3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ de los cuales sólo un 5% es efectivamente convertido en carbohidratos a través de la fotosíntesis. Esto es porque aproximadamente un 60% de la radiación corresponde a una longitud de onda que no puede ser aprovechada por las plantas y del 40% restante, que corresponde a la radiación que se encuentra entre los 400-700 nm de longitud de onda, conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA), un 8% es reflejada; 8% se pierde como calor, un 19% es utilizada para diversas reacciones metabólicas y sólo el 5% es transformado en carbohidratos (Taiz & Zeiger, 1991). La radiación interceptada (RI) por el cultivo resulta de la acumulación de los valores diarios de: RFA x Porcentaje de Intercepción desde la emergencia a la entrega del cultivo y no como erróneamente expresan algunos autores desde la emergencia hasta la cosecha (Echeverría *et al.*, 1992). En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, más particularmente en Balcarce, la RI durante el cultivo puede variar entre $350 - 800 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ (Echeverría *et al.*, 1992, Saluzzo,

1994), en tanto que Allen & Scott (1980) calculan valores de RI 1000-1500 MJ.m⁻² para cultivos realizados en Inglaterra. Algunos autores han demostrado que las diferencias entre el rendimiento potencial y el real pueden deberse a deficiencias en la RI por el cultivo, ya sea por una lenta cobertura del suelo (CS) en las etapas tempranas del cultivo (Cantos de Ruiz, 1988) o bien por una rápida senescencia del follaje, atribuida a la escasa disponibilidad de agua hacia el final del ciclo de cultivo (Van der Zaag & Burton, 1978).

Como fue mencionado, en condiciones de adecuada disponibilidad de agua y nutrientes la producción de materia seca del cultivo está determinada por la cantidad de radiación interceptada (Fig. 3). El índice de área foliar (IAF) del cultivo es responsable de la interceptación de la radiación incidente, en tanto que el índice de área foliar crítico (IAF_c) es el valor de IAF que permite la interceptación del 95% de la radiación incidente, que en el caso de papa varía entre 3-4 (MacKerron & Waister, 1985). El desarrollo del canopeo depende tanto de la expansión de las hojas como la elongación de los tallos, por lo tanto los factores que modifiquen estos procesos, como el genotipo, la densidad de plantación y la temperatura afectarán la evolución del IAF (Kirk *et al.*, 1985; MacKerron, 1992). La duración del área foliar (DAF) o la duración de la cobertura del suelo (DCS) son dos índices de crecimiento que expresan, en función del tiempo, la oportunidad que tiene el cultivo para interceptar radiación y guardan una estrecha relación con el rendimiento (Watson, 1952; Burstall & Harris, 1983; Levy, 1986; Manrique *et al.*, 1991; Caldiz *et al.*, 1998a), como se puede apreciar en la Fig. 10. En líneas generales el IAF es muy bajo en las etapas iniciales del crecimiento del cultivo y, consecuentemente, la CS también es baja. Esto determina una menor interceptación de la radiación, que aumenta a medida que se incrementa la CS. Tanto el IAF como la DAF están determinados por la producción, expansión y senescencia de las hojas, procesos

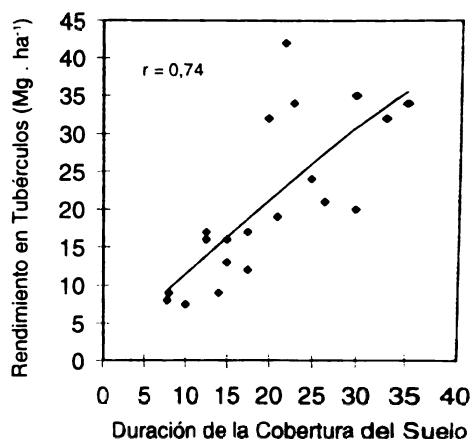


Figura 10. Relación entre la DCS y el rendimiento de tubérculos. Modificado de Caldiz *et al.* (1998a).

*Relationship between ground cover duration (GCD) and tuber yield. Modified from Caldiz *et al.* (1998a).*

dependientes de la disponibilidad de nutrientes, particularmente N, el estrés hídrico, el estrés por alta temperatura y la presencia de malezas, enfermedades y plagas. En síntesis, cuanto más elevados sean los niveles de radiación incidente y más persistente la CS, mayor será la RI y la acumulación de materia seca.

Eficiencia de uso de la radiación

Ya se mencionó que sólo un 5% de la radiación total incidente sobre un cultivo es transformada en carbohidratos. Esta transformación es llevada a cabo a través del proceso fotosintético, mediante la energía que aporta la radiación interceptada y absorbida por las hojas. Por lo tanto, se ha definido a la EUR como la cantidad de materia seca formada por cada MJ interceptado. Algunos autores denominan a este índice como Coeficiente de Conversión de Luz (C) y mencionan valores de conversión de 1,5 g MS.MJ⁻¹ (Allen & Scott, 1980). Posteriormente, MacKerron & Waister (1982)

encontraron valores estadísticamente distintos entre genotipos de *S. tuberosum*: 1,46 g.MJ⁻¹ para el cv. Maris Piper, 1,55 g.MJ⁻¹ para Pentland Dell y 1,84 g.MJ⁻¹ para el clon 8906 AC11. En Balcarce, Argentina, la EUR varía entre 2 - 3,1 g.MJ⁻¹ (Echeverría *et al.*, 1992; Saluzzo, 1994) valores similares a los encontrados en otras partes del mundo (Khurana & Mc Laren, 1982; Haverkort, 1986; MacKerron, 1987; Manrique & Bartholomew, 1991). La EUR varía notablemente entre épocas de cultivo, años y cultivares y se ve disminuida, principalmente por altas temperaturas, elevada irradiancia, estrés hídrico y baja disponibilidad de N. Por ejemplo, en las elevaciones del centro de Africa con clima tropical la EUR varía entre 0,64 - 1,42 g (Haverkort & Harris, 1986) y es probable que el notable incremento que se produce en la respiración por encima de los 25°C sea responsable de esta menor EUR (Haverkort & Harris, 1987).

Índice de Cosecha

En papa la acumulación de materia seca a lo largo del ciclo de cultivo difiere según las

distintas fracciones que se consideren. Al principio la materia seca se acumula en los tallos y las hojas, pero a partir del desarrollo de los tubérculos la acumulación se realiza en forma preferencial en los mismos (Fig. 11).

Los agricultores están interesados en el rendimiento económico, que es la porción de la biomasa que utilizan directa o indirectamente, expresada en Mg.ha⁻¹. Este coeficiente de rendimiento económico se conoce como Índice de Cosecha (IC) y se expresa como: Rendimiento Económico = Rendimiento Biológico⁻¹ x 1. En papa el rendimiento económico por unidad de superficie está referido al rendimiento en tubérculos, en tanto que el rendimiento biológico se refiere a la cantidad de biomasa total que se produce por unidad de superficie y comprende hojas, tallos, raíces y tubérculos (Fig. 12). El IC es influenciado por la densidad de plantación, la temperatura y la disponibilidad de N. Con alta temperatura (Trebejo & Midmore, 1990) y altos niveles de N, el IC disminuye. Experiencias realizadas en Balcarce, con distintos niveles de N, determinaron que con dosis de 0, 25, 50 y 100 kg N.ha⁻¹ el IC fuera de 91, 91, 89 y 84%, respectivamente (Saluzzo *et al.*, 1994). Este efecto negativo del N sobre el IC se debe al mayor crecimiento de la parte aérea y a la menor removilización de fotoasimilados desde los tallos, aunque este concepto general no siempre se cumple (Oparka, 1985). De todos modos, cuanto mayor sea el IC para un mismo rendimiento biológico, más eficiente habrá sido el uso de la tecnología y los recursos utilizados. En este sentido, Thomson (1987) ha demostrado que los nuevos cultivares de papa han aumentado el rendimiento como consecuencia de un aumento en el IC, aún a altas dosis de N. El IC depende, además, del número de tubérculos y de la tasa y la duración del período de llenado. El aumento en el número de tubérculos aumenta la demanda de los destinos y, consecuentemente, la tasa de asimilación neta (Hunt, 1982; Panolet *et al.*, 1982), pero el número no puede ser aumentado indefinidamente, sino

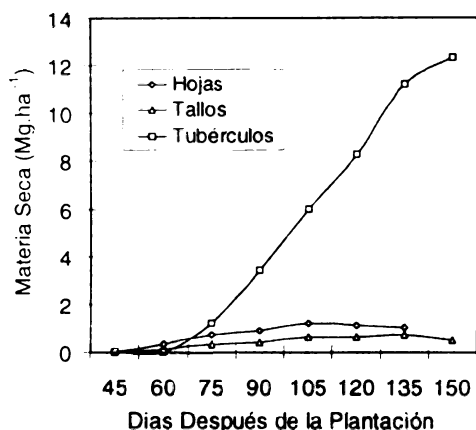


Figura 11. Patrón de acumulación de materia seca en el cultivo. Modificado de Harris (1978).

Pattern of dry matter accumulation by the crop. Modified from Harris (1978).

que debe estar en relación con el destino del cultivo. Por ejemplo, si el cultivo se destina al consumo fresco o a la industria el número de tubérculos a lograr por unidad de superficie debe ser menor que cuando los mismos se destinan a una nueva plantación. En cuanto a la tasa de llenado, esta alcanza valores de 700-1000 kg.ha⁻¹.día⁻¹ (Panelo *et al.*, 1982; Beukema & Van der Zaag, 1990) y es obvio que cuanto mayor sea la duración del período de llenado mayor será la distribución de fotoasimilados hacia los tubérculos, con el consecuente aumento en el IC.

La duración del período de llenado depende del cultivar y de la DAF. La disponibilidad de agua y nutrientes, así como un adecuado control de las plagas y enfermedades que puedan disminuir la DAF son fundamentales para prolongar la duración del período de *llenado*. Aproximadamente un 50% de las variaciones en el rendimiento, debidas al clima, a las prácticas agronómicas y al cultivar están asociadas a la DAF (Levy, 1986, Caldiz *et al.*, 1998a).

Por lo tanto, y teniendo en cuenta valores máximos de RI, EUR e IC encontrados para el sudeste de la provincia de Buenos Aires, el rendimiento en materia seca podría calcularse de acuerdo a lo expresado en la Ecuación 2.

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento MS} &= 800 \text{ MJ.m}^{-2} \times 3,1 \text{ gr.MJ}^{-1} \times 0,90 \\ &= 2232 \text{ g.m}^{-2} \end{aligned}$$

Contenido de Materia Seca en los Tubérculos

El valor obtenido en la ecuación 2, correspondería a un rendimiento potencial de materia seca en tubérculos de 22,32 Mg.ha⁻¹ y si se considera que el contenido promedio de materia seca en los tubérculos es del 20%, el rendimiento fresco sería entonces el que se presenta en la Ecuación 3.

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} &= 800 \text{ MJ.m}^{-2} \times 3,1 \text{ gr.MJ}^{-1} \times 0,90 \times \\ &100 \text{ MF} \cdot 20 \text{ MS}^{-1} = 11160 \text{ g.m}^{-2} \end{aligned}$$

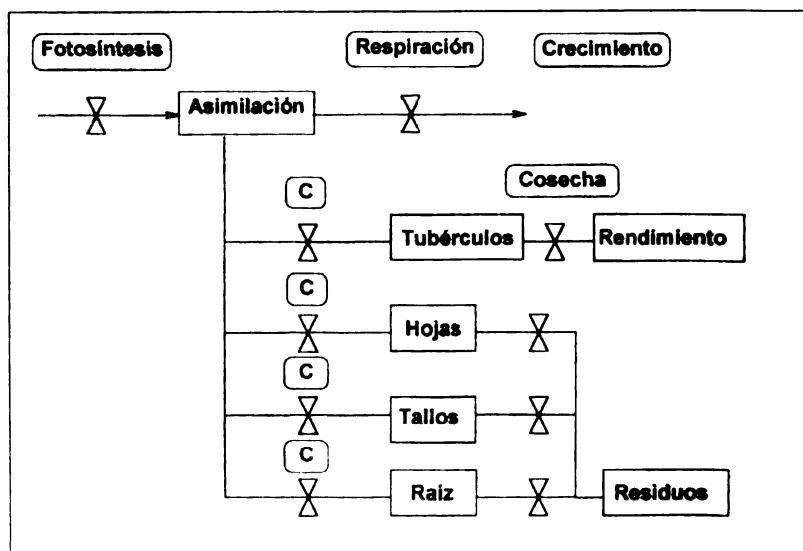


figura 12. Distribución de fotoasimilados en el cultivo de papa. Ref: C, crecimiento de cada fracción del cultivo.

Photoassimilates partitioning in the potato crop. Ref: C, growth of each crop fraction.

Este valor de 11160 g.m⁻², que equivale a 111600 kg.ha⁻¹ es el rendimiento potencial del cultivo para el sudeste, y si bien es algo superior a los valores de 88000 y 104000 kg.ha⁻¹ encontrados por Cantos de Ruiz (1988) y Caldiz (resultados no publicados) para las mismas condiciones, resulta similar a los valores de rendimiento potencial encontrados en Europa, de 100000 kg.ha⁻¹ (Van der Zaag, 1984), pero menor a los calculados para USA, de 140000 kg.ha⁻¹ (Kunkel & Campbell, 1987).

Como ya fue mencionado, el contenido de materia seca de los tubérculos es una variable muy importante cuando los tubérculos se destinan al procesamiento. El cv. Spunta, que ocupa la mayor área en la Argentina, posee valores de materia seca promedio de 17,66% (Cacace *et al.*, 1994), en tanto que en las variedades recientemente introducidas en el país por la industria, como Atlantic, Russet Burbank y Shepody el contenido de materia seca varía entre 17,75 - 20,90% (Caldiz *et al.*, 1997b). El contenido de MS es determinado, generalmente, a partir de la gravedad específica (GE) de los tubérculos, y por ser una determinación muy sencilla es ampliamente utilizada por la industria para establecer la calidad de los tubérculos para el procesamiento. El contenido de MS está determinado por numerosos genes, dependiendo entonces del cultivar, de los factores ambientales y del manejo del cultivo (Jefferies & MacKerron, 1986; MacKerron, 1991). En líneas generales los cultivares de ciclo corto o maduración temprana poseen un bajo contenido de MS (Burton, 1966). Cuando el ciclo de cultivo es corto, relativamente fresco y la irradiancia es reducida el contenido de MS también es bajo, en tanto que cuando el ciclo de cultivo es largo, templado y la irradiancia es alta, el contenido de MS aumenta (Gray & Hughes, 1978). Esto es una consecuencia de la relación existente entre acumulación de materia seca y radiación, ya indicada en capítulos anteriores de esta revisión.

En el momento de la *entrega* natural del

follaje, el contenido de almidón de los tubérculos representa del 60-80% de los sólidos totales del mismo (Gray & Hughes, 1978). Esta relación es poco afectada por las condiciones ambientales y, por otra parte, el resto de los componentes de los tubérculos se mantienen en valores muy constantes (Burton, 1966). Por esta razón el contenido de almidón está directamente relacionado con el contenido de materia seca (MS). Esta relación puede variar levemente entre cultivares por diferencias en los espacios libres entre las células o por la presencia del defecto conocido como *corazón hueco* (Gray & Hughes, 1978).

Durante las etapas iniciales del crecimiento de los tubérculos el contenido de MS puede variar entre 15-16% y a la madurez puede llegar al 18-28% (Nelson *et al.*, 1988). En las últimas etapas del cultivo el contenido de MS puede variar sensiblemente, e incluso puede disminuir luego de la *entrega* del follaje. Estas modificaciones son consecuencia del ritmo de acumulación del almidón y el resto de los componentes en relación a la absorción de agua (Gray & Hughes, 1978). Jefferies *et al.* (1989) utilizaron un análisis de regresión para derivar relaciones entre el contenido de materia seca, los grados-día y el suministro de agua. EL modelo utiliza una relación cuadrática para los grados-día y una relación lineal con el déficit de agua en el suelo (DAS). Jefferies *et al.* (1989) encontraron que cada 10 mm de DAS se produce un cambio de 0,6% en la materia seca y que por cada 100 grados-día de variación en las etapas iniciales del crecimiento la estimación de la materia seca se modifica en 1,2%. Si bien esta relación es limitada, existe la certeza que la acumulación de almidón es rápida al principio, pero decrece con el tiempo, en tanto que la absorción de agua continúa en niveles similares. Por lo tanto, un exceso de agua, por precipitaciones o por el riego pueden producir disminuciones temporales en el contenido de MS, que no podrá ser revertido si esto sucede al final del ciclo de

cultivo (Wilcokson, 1986). La senescencia del follaje también puede alterar este balance y, por otra parte, también pueden producirse pérdidas por respiración, que serán mayores si aumenta la temperatura (Gray & Hughes, 1978). El tamaño de los tubérculos afecta el contenido de MS; normalmente el contenido de MS aumenta con el tamaño hasta un cierto nivel y luego decae (Beukema & Van der Zaag, 1990), pero para un determinado tamaño de tubérculos el contenido de MS es mayor cuanto más elevada sea la densidad de plantación utilizada para producir ese tamaño. A pesar de ello, aún no está claramente dilucidado como se establecen estas relaciones, pero se supone que están determinadas por diferencias en el ritmo de crecimiento del parénquima de almacenamiento y la médula, que difieren en el contenido de MS (Burton, 1966). En líneas generales, éste es muy alto en el anillo vascular, disminuyendo hacia el interior y hacia la piel y desde la porción basal a la apical. El tamaño del tubérculo *semilla*, el grado de desarrollo de las yemas, y la profundidad y uniformidad de plantación pueden establecer diferentes ritmos de crecimiento de los tallos, originando diferencias en el momento de inicio de la tuberización. Esto determinará el grado de madurez de los tubérculos en el momento de la *entrega* y el consecuente contenido de MS (Beukema & Van der Zaag, 1990). Altas dosis de N que retrasan el inicio de la tuberización y promueven el crecimiento del follaje podrían disminuir el contenido de MS si el follaje desaparece en forma temprana. Por ejemplo, ante la aparición de alguna plaga o enfermedad o bien por temperaturas muy elevadas que aceleren el ritmo de senescencia del follaje (Marinus & Bodlaender, 1975). Los factores que contribuyen a aumentar el contenido de MS en los tubérculos también incrementarán el rendimiento y, como el contenido de MS depende de la relación entre MS y MF total de los tubérculos, cualquier factor que aumente esta relación aumentará el contenido total de MS.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Para lograr aumentos en el rendimiento en cada una de las distintas situaciones de producción definidas en esta revisión, es necesario en primer lugar identificar cuales son los factores responsables del rendimiento actual y luego desarrollar estrategias de manejo y almacenamiento adecuadas para modificar dicha situación. La introducción de nuevos cultivares con alto potencial de rendimiento y resistencia a diversas plagas y enfermedades combinados con la aplicación de un sistema de labranza sostenible y la eficiente utilización de recursos, como el agua y los fertilizantes el almacenamiento de la semilla para llegar a la nueva plantación con una edad fisiológica óptima, de acuerdo al destino del cultivo y los progresos en el control integrado de malezas plagas y enfermedades, resultarán claves para continuar aumentando los rendimientos en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la SECYT PMT-SID 665 (BID 802 OC/AR).

Los autores desean expresar su gratitud al Prof. José L. Araus (Catedrático de Fisiología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona) por la lectura crítica del manuscrito y los valiosos comentarios realizados a la versión original.

BIBLIOGRAFÍA

- Almekinders, C.J. 1994. On flowering and botanical seed production in potato (*Solanum tuberosum* L.). Ph. D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, 133 pp.
- Allen E.J. & R.K. Scott. 1980. An analysis of growth of the potato crop. *Journal Agricultural Sciences, Cambridge* 94: 583-606.
- Alvarez Castillo, H.A., A. López, D. Carmona & P. Manetti. 1992. Biología y control de los insectos de suelo en los distintos cultivos del

- área de influencia del sudeste bonaerense. Actas II Taller de Evaluación y Planificación de Prioridades de Investigación en Papa. INTA Balcarce, Balcarce. pp. 60-63.
- Bacastow, R.B., C.D. Keeling & T.P. Whorf.** 1985. Seasonal amplitude increase in atmospheric CO₂ concentration at Mauna Loa, Hawaii, 1959-1982. *Journal of Geophysical Research* 90: 10529-10540.
- Bajaj, Y.P.S.** 1987. Biotechnology and 21st century potato. En: *Biotechnology in Agriculture and Forestry* 3. Potato. Bajaj, Y.P.S., Ed. Springer Verlag, Berlin. pp. 3-22.
- Been, T.H., C.H. Schomaker & J.W. Selnhorst.** 1995. An advisory system for the management of potato cyst nematodes. En: *Potato Ecology and Modelling of Crops Under Conditions Limiting Growth*. Haverkort, A.J. & MacKerron, D.K.L., Eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 305-321.
- Beltrano, J. & D.O. Caldiz.** 1993. Effects of Johnsongrass (*Sorghum halepense* L. Per.) densities on potato (*Solanum tuberosum* L.) yield. *Pequisa Agropecuaria Brasileira* 28: 21-24.
- Benoit, G.R. & W.J. Grant.** 1980. Plant water deficit effects on Aroostook county potato yields over 30 years. *American Potato Journal* 57: 585-594.
- Beukema, H.P. & D.E. Van der Zaag.** 1990. *Introduction to Potato Production*. Pudoc, Wageningen. 208 pp.
- Biotto, C. & P.A. Siegenthaler.** 1991. Study of physiological states of seed potato tubers during their storage. Correlations between morphological and biochemical parameters. *Abstracts Section Physiology, EAPR, Le Conquet*. pp. 39-40.
- Bishop, J.C. & D.W. Grimes.** 1978. Precision tillage effects on potato root and tuber production. *American Potato Journal* 55: 65-71.
- Bodlaender, K.B.A.** 1963. Influence of temperature, radiation and photoperiod on development and yield. En: *The Growth of the Potato*. Ivins, J.D. & Milthorpe, F.L., Eds. Butterworth, London. pp. 199-210.
- Bodlaender, K.B.A. & J. Marinus.** 1987. Effect of physiological age on growth vigour of seed potatoes of two cultivars. 3. Effect on plant growth under controlled conditions. *Potato Research* 30: 423-440.
- Boone, F.R., L.A.H. de Smet & C.D. van Loon.** 1985. The effect of a ploughpan in marine loam soils on potato growth. 1. Physical properties and rooting patterns. *Potato Research* 28: 295-314.
- Braber, J. M., C.B. Bus & A. Schepers.** 1982. Changes in leaf components and peroxidase activity of potato plants (cv. Bintje) in relation to mature-plant resistance to PVY^N. *Potato Research* 25: 141-153.
- Burstal, L. & P.M. Harris.** 1983. The estimation of percentage light interception from leaf area index and percentage ground cover in potatoes. *Journal of Agricultural Sciences, Cambridge* 100: 241-244.
- Burton, W.G.** 1966. *The Potato. A survey of its history and factors influencing its yield, nutritive value, quality and storage*. H. Vennman and Zonen N.V., Wageningen. 382 pp.
- Burton, W.G.** 1974. Requirements of the user of ware potatoes. *Potato Research* 17: 374-409.
- Bushnell, J.** 1925. The relation of temperature to growth and respiration in the potato plant. *Technical Bulletin University of Minnesota*. 34 pp.
- Butzonich, I.P., I. Montes, S. Induni & S.I. Alonso.** 1984. *Solanum sisymbriifolium* Lam., reservorio natural del virus Y de la papa en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Fitopatología* 19: 89-92.
- Cacace, J.E., M.A. Huarte, & M.C. Monti.** 1994. Evaluation of potato cooking quality in Argentina. *American Potato Journal* 71: 145-153.
- Cacace, J.E. & P.L. Manetti.** 1992. Estudio del efecto de insecticidas de suelo sobre el sabor de la papa. Actas II Taller de Evaluación y Planificación de Prioridades de Investigación en Papa. INTA Balcarce, Balcarce. pp. 5-9.
- Cáceres, A., M. Bertolotto, E. Ustarroz & D. Reynoso.** 1988. Distribución del sorgo de Alepo, cebollín y gramón en la provincia de Córdoba. *Malezas* 11: 182-187.
- Caldiz, D.O.** 1991. Influence of origin and storage system on physiological age, crop growth and tuber yield of seed potato (*Solanum tuberosum* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 61: 1-6.
- Caldiz, D.O.** 1994. Genetic improvement and associated physiological changes in the potato. En: *Genetic Improvement of Field Crops*. Slafer, G.A., Ed. Marcel Dekker, New York. pp. 361-411.
- Caldiz, D.O.** 1996. Aspectos fisiológicos en la producción, conservación y transporte de papa semilla y sus implicancias para el cultivo posterior. Actas III Jornadas Técnicas de Papa Semilla. Papa Semilla para Latinoamérica. INTA Malargüe, Malargüe. pp. 72-82.
- Caldiz, D.O. & A.J. Haverkort.** 1994. Alternativas para incrementar la producción de papa en el área de Villa Dolores, Córdoba. *Gaceta Agronómica* 14: 186-189.
- Caldiz, D.O. & D.M. Panelo.** 1986. Efectos de la competencia de malezas de hoja ancha y angosta sobre el crecimiento y el rendimiento de

- tubérculos en papa. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 62: 37-43.
- Caldiz, D.O. & P.C. Struik.** 1998. Survey of actual potato production and possible yield constraints in Argentina. Enviado a Agricultural Systems.
- Caldiz, D.O., F.K. Claver & A.R. Escande.** 1984. Effect of harvesting time and storage system on the quality of seed potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). Turrialba 34: 287-290.
- Caldiz, D.O., D.M. Panelo, F.K. Claver & E.R. Montaldi.** 1985. The effect of two planting dates on the physiological age and yielding potential of seed potatoes grown in a warm temperate climate in Argentina. Potato Research 28: 425-434.
- Caldiz, D.O., J.R. Alaniz, & F.K. Claver.** 1986. Relaciones entre la edad fisiológica y el contenido de azúcares totales y reductores en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) destinados a nueva plantación. Turrialba 36: 315-320.
- Caldiz D.O., C. della Croce, E. Vera & L. del C. Marchan.** 1989. Efectos del almacenamiento y de la época de aplicación del nitrógeno sobre la cobertura foliar y el rendimiento en papa (*Solanum tuberosum* L.). Revista Latinoamericana de la Papa 2: 46-56.
- Caldiz, D.O., D.M. Panelo & M.H. Inchausti.** 1994. Edad fisiológica y rendimiento de tubérculos de papa semilla (*Solanum tuberosum* L.) modificados por el prebrotado y la defoliación anticipada. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 70: 57-63.
- Caldiz, D.O., G. Brocchi, J.R. Alaniz & L. del C. Marchan.** 1996. Effects of the physiological age of seed potatoes on tuber initiation and starch and dry matter accumulation. Pesquisa Agro-pecuaria Brasileira 31: 853-858.
- Caldiz, D.O., L.V. Fernández, F. Marco & A. Clúa.** 1997a. Efectos de la Hidrazida Maleica sobre el rendimiento y la calidad en papa cv. Spunta con destino al consumo fresco y a la exportación. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 102(2): 163-173.
- Caldiz, D.O., L.V. Fernández, F. Marco & M.H. Inchausti.** 1997b. Efectos de la aplicación de HM sobre: rendimiento, calidad, mermas de peso y brotación en papa destinada a consumo fresco y a la industria, Cvs. Spunta, Kennebec, Shepody y Russet Burbank. Informe Técnico. Síntesis Química, Capital Federal. 45 pp.
- Caldiz, D.O., O.H. Caso, G. Vater & L.V. Fernández.** 1998a. The potential for production of high quality seed potatoes in Tierra del Fuego Island, Argentina. Potato Research. (En prensa).
- Caldiz, D.O., A. Clúa, J. Beltrano & S.D. Tenenbaum.** 1998b. Ground cover, photosynthetic rate and tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) crops from seed tubers with different physiological age modified by foliar applications of plant growth regulators. Potato Research. (En prensa).
- Cantos de Ruiz, S.** 1988. Rendimiento potencia del cultivo de papa en Balcarce. Causas que limitan la productividad real. Ms. Sc. Tesis INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias, UN Mar del Plata, Balcarce, Argentina. 51 pp.
- Chapman, H.W.** 1958. Tuberization in the potato plant. Physiologia Plantarum 11: 215-224.
- Claver, F.K.** 1951. Influencia de luz, oscuridad y temperatura sobre la incubación de la papa. Phytion 1: 3-12.
- Crosson, P.** 1981. Conservation tillage and conventional tillage: a comparative assesment. Soil Conservation Society of America, Ankeny 35 pp.
- Darwich, N.A.** 1983. Niveles de fósforo asimilables en los suelos pampeanos. Citado por: Echeverría, H.E., E.E. Suero & F.H. Andrade. 1992. Radiación, Temperatura, Nutrientes y Agua Como Determinantes de la Producción del Cultivo de Papa. Boletín Técnico 103, EEA Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias, UN Mar del Plata. 19 pp.
- Dearborn, C.H.** 1969. Alaska Frostless, an inherently frost resistant potato variety. American Potato Journal 46: 1-4.
- Echeverría, H.E., E.E. Suero & F.H. Andrade** 1992. Radiación, Temperatura, Nutrientes y Agua Como Determinantes de la Producción del Cultivo de Papa. Boletín Técnico 103, EEA Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias, UN Mar del Plata. 19 pp.
- Epstein, E.** 1966. Effect of soil temperature at different growth stages on growth and development of potato plants. Agronomy Journal 58: 169-171.
- Es, A. Van & K.J. Hartmans.** 1987. Effect of physiological age on growth vigour of seed potatoes of two cultivars. 2. Influence of storage period and storage temperature on dry matter content and peroxidase activity of the sprouts. Potato Research 30: 411-421.
- Escande, A.R.** 1982. Almacenamiento de papa. Actas Tercera Jornada de Actualización Técnica: Papa. CIAM - INTA, Facultad de Ciencias Agrarias, UN Mar del Plata, Mar del Plata. pp. 175-186.
- Escande, A.R.** 1990. Control integrado de enfermedades de papa. Actas Jornada de Actualización Técnica: Papa. AIA Balcarce - INTA Balcarce, Balcarce. pp. 20-21.
- Escande, A.R., A.V. Calderoni & A.L. Metegari.**

1984. La Papa. Diagnóstico y Control de sus Enfermedades. INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias, UN Mar del Plata - CIAM, Balcarce - Mar del Plata. 48 pp.
- Escande, A.R., A. Melegari, D.O. Caldiz, J.C. Rodríguez, H. Palladino & R.H. Miron.** 1985. Influencias del sistema de almacenamiento sobre la capacidad simiente de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L. cvs. Spunta y Sierra Volcán). IDIA 440: 24-30.
- Escande, A.R., D.O. Caldiz & J.C. Rodríguez.** 1986. Influencias del sistema de almacenamiento y de la época de plantación sobre la productividad de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) simiente. Turrialba 36: 237-244.
- Ewing, E.E.** 1981. Heat stress and the tuberization stimulus. American Potato Journal 58: 31-49.
- Ewing, E.E.** 1985. Cuttings as simplified models of the potato plant. En: Potato Physiology. Li, P.H., Ed. Academic Press Inc., Orlando. pp. 154-208.
- Ewing, E.E. & P.F. Wareing.** 1978. Shoot, stolon and tuber formation on potato (*Solanum tuberosum* L.) cuttings in response to photoperiods. Plant Physiology 61: 348-353.
- Ewing, E.E. & P.C. Struik.** 1992. Tuber formation in potato: Induction, Initiation and growth. Horticultural Reviews 14: 89-194.
- Exilart, J.P.** 1982. Preparación de la cama de plantación con vistas a una posterior cosecha mecánica. Actas Tercera Jornada de Actualización Técnica: Papa. CIAM, INTA, Facultad de Ciencias Agrarias, UN Mar del Plata, Mar del Plata. pp. 171-173.
- Eyherabide, J.J.** 1995. Problemática y control de malezas en papa. EEA Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias, UN Mar del Plata, Mar del Plata. 110 pp.
- Fahem, M. & A.J. Haverkort.** 1988. Comparison of the growth of potato crops grown in autumn and spring in North Africa. Potato Research 31: 557-568.
- Fernández Vallela, M.V. & A.V. Calderoni.** 1961. Mantenimiento de variedades de papa libres de virus en los altos valles de San Luis. Actas Quinta Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, Buenos Aires. pp. 1-2.
- Fulton, J.M.** 1970. Relationship of root extension to the soil moisture level required for maximum yield of potatoes, tomatoes and corn. Agronomy Journal 58: 195-198.
- Gray, D. & J.C. Hughes.** 1978. Tuber Quality. En: The Potato Crop. Harris, P.M., Ed. Chapman & Hall, London. pp. 504-544.
- Gregory, L.E.** 1965. Physiology of tuberization in plants. Tubers and tuberous roots. Encyclopedia of Plant Physiology 15: 1328-1354.
- Hammes, P.S. & E.A. Beyers.** 1973. Localization of the photoperiodic perception in potatoes. Potato Research 16: 68-72.
- Harris, P.M.** 1978. Water. En: The Potato Crop. Harris, P.M., Ed. Chapman and Hall, London. pp. 244-277.
- Haverkort, A.J.** 1986. Light interception and yield relations under tropical highland conditions of central Africa. Potato Research 29: 257-258.
- Haverkort, A.J.** 1986. Manejo del agua en la producción de papa. Boletín de Información Técnica 15, Centro Internacional de la Papa. 22 pp.
- Haverkort, A.J.** 1990. Ecology of potato cropping systems in relation to latitude and altitude. Agricultural Systems 32: 251-272.
- Haverkort, A.J.** 1991. Effects of potato cyst nematodes and drought on the relationship between water-use efficiency and carbon isotope fractionation in potato. Abstracts Section Physiology EAPR, Le Conquet. pp. 17-18.
- Haverkort, A.J. & P.M. Harris.** 1986. Conversion coefficients between intercepted solar radiation and tuber yields of potato crops under tropical highland conditions, Potato Research 29: 529-533.
- Haverkort, A.J. & P.M. Harris.** 1987. A model for potato growth and yield under tropical highland conditions. Agricultural and Forest Meteorology 39: 271-282.
- Haverkort, A.J. & D.E. van der Zaag.** 1989. Innovative techniques in seed potato production in the Netherlands. Verslag 124. CABO, The Netherlands. 16 pp.
- Hawkes, J.G.** 1990. The Potato. Evolution, Biodiversity and Genetic Resources, Smithsonian Institution Press, Washington D.C. 250 pp.
- Headford, D.W.R.** 1962. Sprout development and subsequent plant growth. European Potato Journal 5: 14-22.
- Hervé, J.J.** 1973. Influence of temperature on the growth and tuberization of potatoes. Proceedings 5th Triennial Conference EAPR, Norwich. pp. 154.
- Hide, G.A. & D.H. Lapwood.** 1978. Disease aspects of potato production. En: The Potato. Harris, P.M. Ed. Chapman & Hall, London. pp. 407-439.
- Hoogendoorn, J. & F.K. Arntzen.** 1992. Breeding for stress tolerance in potato. Proceedings Joint Conference EAPR Breeding Section and EU-CARPIA Potato, Landerneau. pp. 49-53.
- Horton, D. & R.L. Sawyer.** 1985. The potato as a world food crop, with special reference to developing areas. En: Potato Physiology. Li, P.H., Ed. Academic Press, Orlando. pp. 1-34.
- Huarte, M.A.** 1996. Situación de la producción de papa en la Argentina (1995-1996). Actas III Jor-

- nadas Técnicas de Papa Semilla. Papa Semilla en Latinoamérica. INTA Malargüe, Malargüe. pp. 40-44.
- Huarte, M.A. & M.H. Inchausti.** 1994. La producción de papa en la República Argentina y su relación con el MERCOSUR. Simposio de Horticultura. Montevideo. 23 pp.
- Hunt, R.** 1982. Plant Growth Curves. Ed. Arnold, London. 248 pp.
- Hutchinson, R.W.** 1978. The dormancy of seed potatoes. 1. The effect of time of haulm destruction and harvesting. *Potato Research* 21: 257-265.
- International Potato Center.** 1977. The potato: major diseases and nematodes. Centro Internacional de la Papa, Lima. 66 pp.
- Ittersum, M.K. van, K. Scholte & L.J.P. Kupers.** 1990. A method to assess cultivar differences in rate of physiological ageing of seed tubers. *American Potato Journal* 67: 603-613.
- Jarvis, R.H.** 1978. Mechanization and crop performance. En: *The Potato Crop*. Harris, P.M., Ed. Chapman & Hall, London. pp. 355-375.
- Jefferies, R.A. & D.K.L. MacKerron.** 1986. Tuber dry matter concentration of potato cultivars in relation to soil moisture supply. *Aspects of Applied Biology* 13: 425-427.
- Jefferies, R.A., T.D. Hellbronn & D.K.L. MacKerron.** 1989. Estimating tuber dry matter concentration from accumulated thermal time and soil moisture. *Potato Research* 32: 411-417.
- Khurana, S.C. & J.S. Mc Laren.** 1982. The influence of leaf area, light interception and season on potato growth and yield. *Potato Research* 25: 329-342.
- Khurana, S.M.P.** 1992. Potato viruses and viral diseases. Technical Bulletin 35, Central Potato Research Institute, Shimla. 23 pp.
- Kirk, W.W., H.V. Davies & B. Marshall.** 1985. The effect of temperature on the initiation of leaf primordia in developing potato sprouts. *Journal of Experimental Botany* 36: 1634-1643.
- Kooman, P.L.** 1995. Yielding ability of potato crops as influenced by temperature and daylength. Ph. D Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen. 155 pp.
- Klingman, G.C.** 1960. Weed control as a science. J. Wiley & Sons, New York. pp. 2.
- Krijthe, N.** 1962. Observations on the sprouting of seed potatoes. *European Potato Journal* 1: 69-71.
- Kumar, D. & P.F. Wareing.** 1973. Studies on tuberization in *Solanum andigena*. I Evidence for the existence and movement of a specific tuberization stimulus. *New Phytologist* 72: 283-287.
- Kunkel, R. & G.S. Campbell.** 1987. Maximum potential yield in the Columbia basin: model and measured values. *American Potato Journal* 64: 355-366.
- Lanfranconi, L., R. Bellinder & R.W. Wallace.** 1993. Grain rye residues and weed control strategies in reduced tillage potatoes. *Weed Technology* 7: 23-28.
- Levy, D.** 1986. Tuber yield and tuber quality of different potato cultivars as affected by seasonal high temperatures and by water deficit in a semi-arid environment. *Potato Research* 29: 95-107.
- Li, P.H. & A. Fennell.** 1985. Potato frost hardiness. En: *Potato Physiology*. Li, P.H., Ed. Academic Press, New York. pp. 457-479.
- Lis, B.R. de, Ponce, I. & R.M. Tizio.** 1964. Studies on water requirement of horticultural crops. I. Influence of droguth at different growth stages of potato on tuber's yield. *Agronomy Journal* 56: 377-381.
- Loon, C.D. Van.** 1981. The effect of water stress on potato growth, development and yield. *American Potato Journal* 58: 51-69.
- Loon, C.D. Van, L.A.H. de Smet & F.R. Boone.** 1985. The effect of a ploughpan in marine loam soils on potato growth. 2. Potato plant responses. *Potato Research* 28: 315-330.
- Loon, C.D. Van, P. Bedin & W. Reust.** 1994. Vers une production de pomme de terre respectueuse de l'environnement. Proceedings 12th Triennial Conference EAPR, Paris. pp. 36-56.
- MacKerron, D.K.L.** 1987. A weather-driven of the potential yield in potato and its comparison with achieved yields. *Acta Horticulturae* 214: 85-94.
- MacKerron, D.K.L.** 1991. Tuber dry matter concentration. A plastic character under genotypic and environmental control. Abstracts Section Physiology EAPR, Le Conquet. pp. 35-36.
- MacKerron, D.K.L.** 1992. Agrometeorological aspects of forecasting yields of potato within the E.C. Joint Research Centre, Commission of the European Communities, Luxembourg. 247 pp.
- MacKerron, D.K.L. & P.D. Waister.** 1982. What is the potential yield of the potato? *Arable Farming* 9: 22-25.
- MacKerron, D.K.L. & P.D. Waister.** 1983. Light interception and dry matter accumulation in potato cultivars of contrasting habit. *Potato Research* 26: 88-89.
- MacKerron, D.K.L. & P.D. Waister.** 1985. A simple model of potato growth and yield. I. Model development and sensitivity analysis. *Agricultural and Forest Meteorology* 34: 241-252.
- MAFF, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.** 1979. Potato virus diseases. Leaflet 139. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Edinburgh. 8 pp.
- Manetti, P.** 1990. Biología y control de los insectos de suelo en diferentes cultivos del área de

- influencia del sudeste bonaerense. Actas Jornada de Actualización Técnica: Papa. AIA Balcarce - INTA Balcarce, Balcarce. pp. 19.
- Manrique, L.A. & D.P. Bartholomew.** 1991. Growth and yield performance of potato grown at three elevations in Hawaii: II. Dry matter production and efficiency of partitioning. *Crop Science* 31: 367-372.
- Manrique, L. A., J.R. Kiniry, T. Hodges, & D.S. Axness.** 1991. Dry matter production and radiation interception of potato. *Crop Science* 31: 1044-1049.
- Marinus, J. & K.B.A. Bodlaender.** 1975. Responses of some potato varieties to temperature. *Potato Research* 18: 189-204.
- Menzel, C.M.** 1980. Tuberization in potato at high temperatures: Responses to gibberellin and growth inhibitors. *Annals of Botany* 46: 259-265.
- Midmore, D.J. & N. Espinola de Fong.** 1983. Screening potato for aluminium tolerance in nutrient solutions. En: *Research For The Potato in the Year 2000*. Hooker, H.W., Ed. International Potato Center, Lima. pp. 132-133.
- Millard, P. & B. Marshall.** 1986. Growth, nitrogen uptake and partitioning within the potato (*Solanum tuberosum* L.) crop, in relation to nitrogen application. *Journal Agricultural Sciences, Cambridge* 107: 421-429.
- Monteith, J.L.** 1981. Does light limit crop production? En: *Physiological Processes Limiting Plant Productivity*. Johnson, C.B., Ed. Butterworths, London. pp. 23-38.
- Moorby, J.** 1978. The physiology of growth and tuber yield. En: *The Potato Crop*. Harris, P.M., Ed. Chapman & Hall, London. pp. 153-194.
- Münster, J.** 1975. Das physiologische Alter der Kartoffel. *Grundbegriffe und Anwendung. Der Kartoffelbau* 26: 304-306.
- Nelson, D.C. & M.C. Thoreson.** 1981. Competition between potatoes (*Solanum tuberosum* L.) and weeds. *Weed Science* 29: 672-677.
- Nelson, D.G., P.D. Jenkins & T.C. Gillison.** 1988. Processing potential of potato cultivars at early harvests. *Potato Research* 31: 633-642.
- Nemecek, T., J.O. Derron, A. Fischlin & O. Roth.** 1995. Use of a crop-growth model coupled to an epidemic model to forecast yield and virus infection in seed potatoes. En: *Potato Ecology and Modelling of Crops Under Conditions Limiting Growth*. Haverkort, A.J. & MacKerron, D.K.L., Eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 281-290.
- O'Brien, M.J. & A.E. Rich.** 1976. *Potato Diseases*. Agriculture Handbook 474, USDA, ARS, Washington. 79 pp.
- O'Brien, P.J., E.J. Allen, J.N. Bean, R.J. Griffith, S.A. Jones & J.L. Jones.** 1983. Accumulated day-degrees as a measure of physiological age and the relationships with growth and yield in early potato varieties. *Journal Agricultural Sciences, Cambridge* 101: 613-631.
- Oijen, M. van.** 1995. Simulation models of potato late blight. En: *Potato Ecology and Modelling of Crops Under Conditions Limiting Growth*. Haverkort, A.J. & MacKerron, D.K.L., Eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 237-250.
- Oijen, M. van, F.J. de Ruitjer & R.J.F. van Haren.** 1995. Modelling the interaction between potato crops and cyst nematodes. En: *Potato Ecology and Modelling of Crops Under Conditions Limiting Growth*. Haverkort, A.J. & MacKerron, D.K.L., Eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 185-196.
- Oparka, K.J.** 1985. Changes in partitioning of current assimilate during tuber bulking in potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Maris Piper. *Annals of Botany* 55: 845-848.
- Ovruski de Martínez, N. E.** 1992. Dinámica poblacional de áfidos en Tafi del Valle. Actas II Taller de Evaluación y Planificación de Prioridades de Investigación en Papa. INTA Balcarce. pp. 87-95.
- Panolo, D.M. & D.O. Caldiz.** 1989. Influence of early haulm killing of seed crops on subsequent sprouting, physiological ageing and tuber yield. *Potato Research* 32: 3-7.
- Panolo, D.M., D.O. Caldiz & F.K. Claver.** 1982. La tuberización y el rendimiento de tres variedades de papa cultivadas en Miramar, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 58: 99-120.
- Perennec, P. & P. Madec.** 1980. Age physiologique du plant de pomme de terre. Incidence sur la germination et repercussions sur le comportement des plantes. *Potato Research* 23: 183-199.
- Pushkarnath.** 1967. Seed potato production in the sub-tropical plains of India. *American Potato Journal* 44: 429-441.
- Raby, B.J. & L.K. Binning.** 1986. Weed competition study in Russet Burbank and Superior potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties with different management practices. *Proceedings North Central Weed Control Conference, Milwaukee* 41: 28-29.
- Rabbinge, R.** 1993. The ecological background of food production. En: *Crop Protection and Sustainable Agriculture*. CIBA Foundation Symposium, Ed. John Wiley & Sons, New York. pp. 22-25.
- Raman, K.V.** 1981. *The Potato: Major Pests*. International Potato Center, Lima. 14 pp.
- Reestman, A.J.** 1970. Importance of the degree of virus infection for the production of ware potatoes. *Potato Research* 13: 248-268.

- Reust, W.** 1982. Contribution à l'appréciation de l'âge physiologique des tubercules de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) et étude de son importance sur le rendement, Thèse Dr. Ecole Polytechnique Fédérale, Zürich. p.113.
- Reust, W. & J. Aerny.** 1985. Determination of physiological age of potato tubers with using sucrose, citric and malic acids as indicators. *Potato Research* 28: 251-261.
- Rohastch, P.** 1982. Control de pulgones. En: Actas Tercera Jornada de Actualización Técnica: Papa. CIAM - INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias, UN Mar del Plata, Mar del Plata. pp. 113-114.
- Rojas, E. E.V. Viirsoo & J. Ploper.** 1975. Producción de papa semilla en Tafí del Valle. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 52: 61-76.
- Sacher, R.F. & W.M. Iritani.** 1982. Tetrazolium tests as indicators of tuber physiological age and yield potential. *American Potato Journal* 59: 613-625.
- Saluzzo, J.A.** 1994. Comportamiento de cultivares de papa con distinto ciclo en respuesta a la fertilización nitrogenada. Tesis Ms. Sc. INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias, UN Mar del Plata, Balcarce. 52 pp.
- Saluzzo, J.A., H.E. Echeverría, F. Andrade, M. Huarte & G. García Jurado.** 1994. Producción de materia seca y de tubérculos de papa (cv. Huinkul MAG) en respuesta a la fertilización nitrogenada. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 70: 81-89.
- Schapendok, A.H.C.M., C.S. Pot & J. Goudriaan.** 1995. Simulated effects of elevated carbon dioxide concentration and temperature on the productivity of potato. Interaction with cultivar differences for earliness. En: *Potato Ecology and Modelling of Crops Under Conditions Limiting Growth*. Haverkort, A.J. & MacKerron, D.K.L., Eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 101-114.
- Scholte, K.** 1987. Relation between storage temperature sum and vigour of seed potatoes. *Abstracts Conference Papers 10th Triennial Conference EAPR, Aalborg*. pp. 28-29.
- Shands, W.A.** 1977. Control of aphid-borne potato virus Y in potatoes with oil emulsions. *American Potato Journal* 54: 179-187.
- Singh, G.** 1969. A review of the soil moisture relationship in potatoes. *American Potato Journal* 46: 398-403.
- Specht, A. & B. Scholz.** 1978. Aspekte der Kartoffelbestellung in hochmechanisierten Betrieben und ihrer Einwirkung auf Ertrag und Qualität. *Survey Papers 7th Triennial Conference EAPR, Warsaw*. pp. 61-77.
- Stevenson, W.R., J.A. Wyman, K.A. Kelling, L.K. Binning, D. Curwen, T.R. Connell & D.J. Heider.** 1995. Prescriptive crop and pest management software for farming systems involving potatoes. En: *Potato Ecology and Modelling of Crops Under Conditions Limiting Growth*. Haverkort, A.J. & MacKerron, D.K.L. Eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 291-304.
- Sy, P.** 1973. El control de malezas en el cultivo de papa con herbicidas de pre-emergencia. *Malezas* 1: 24-31.
- Talz, L. & E. Zelger.** 1991. *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc. Redwood City. pp. 250.
- Thomson, A.J.** 1987. The effect of fertilizer treatments on a range of old and new early-maturing potato varieties. En: *The Production of New Potato Varieties*. Ellis, G.J. & Richardson, D.E. Eds. Cambridge University Press, London. pp. 165-167.
- Thornton, R.E. & J.B. Sieczka.** 1980. Commercial Potato Production in North America. *American Potato Journal Supplement Vol. 57*. 36 pp.
- Trebejo, I. & D.J. Midmore.** 1990. Effect of water stress on potato growth, yield and water use in a hot and a cool tropical climate. *Journal Agricultural Sciences, Cambridge* 114: 321-334.
- Vakis, N.J.** 1986. Influence of physiological ageing of seed potatoes on yield and earliness. *Potato Research* 29: 417-425.
- Vander Zaag, P.** 1981. Necesidad de fertilidad de suelos para la producción de papa. *Boletín de Información Técnica N° 14*, Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 20 pp.
- Vangessel, M.J. & K.A. Renner.** 1990. Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) and barnyard grass (*Echinochloa crusgalli*) interference in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Weed Science* 38: 338-343.
- Vos, J. & P.J. Oyarzun.** 1987. Photosynthesis and stomatal conductance of potato leaves - effects of leaf age, irradiance, and leaf water potential. *Photosynthesis Research* 11: 253-264.
- Watson, D.J.** 1952. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy* 4: 101-130.
- Watson, D.J.** 1963. Some features of crop nutrition. En: *The Growth of the Potato*. Ivins, J.D. & F.L. Milthorpe, Eds. Butterworths, London. pp. 233-247.
- White, G.B. & S.S. Lazarus.** 1986. Integrated systems for managing potatoes in the Northeast. *Maine Agricultural Experimental Station, University of Maine at Orono. Technical Bulletin* 116. 97 pp.
- Wiersema, S.G. and Booth, R.H.** 1985. Influence of growing and storage conditions on the

- subsequent performance of seed potatoes under short-day conditions, *Potato Research* 28: 15-25.
- Winkler, E.** 1983. Photosynthese und Erträge von Nutzpflanzen im Inntal und Innsbruck (610 m). *Die Bodenkultur* 34: 313-340.
- Wilcockson, S.J.** 1986. Effects of defoliation and time of harvest on tuber dry matter percentage of Pentland Crown potatoes. *Journal Agricultural Sciences Cambridge* 107: 723-733.
- Zaag, D.E. Van der.** 1973. Requirements of the user of seed potatoes. Standards of health, grading and physiological age; time and mode of delivery; price. *Proceedings 5th Triennial Conference EAPR, Norwich*. pp. 38-46.
- Zaag, D.E., Van der.** 1984. Reliability and significance of a simple method of estimating the potential yield of the potato crop. *Potato Research* 27: 51-73.
- Zaag, D.E., Van der & Burton, W.G.** 1978. Potential yield of the potato and its limitations. *Survey Papers 7th Triennial Conference EAPR, Warsaw*. pp.7-22.
- Zaag, D.E., Van der & Horton, D.** 1983. Potato production and utilization in world perspective with special reference to the tropics and subtropics. En: *Research for the Potato in the Year 2000*. W.J. Hooker, Ed. International Potato Center, Lima. pp. 44-58.
- Zaag, D.E. Van der & Van Loon, C.D.** 1987. Effect of physiological age on growth vigour of seed potatoes of two cultivars. 5. Review of literature and integration of some experimental results. *Potato Research* 30: 451-472.