

MANIPULACIONES GENÉTICAS PARA LA PRODUCCIÓN Y EL APROVECHAMIENTO DE LA PAPA

A. O. Mendiburu y O. R. Lucarini (1)

INTRODUCCION

La papa es originaria de una extensa área de América, que incluye al noroeste argentino (16). Sin embargo, la papa que se cultiva en escala comercial en la Argentina, no proviene directamente de las formas indígenas cultivadas en los Andes, sino de introducciones procedentes de altas latitudes de Europa y Norteamérica. Estas introducciones, además de incorporarse al cultivo, proporcionaron progenitores para la obtención de cultivares nacionales, más adaptados a las condiciones propias de las zonas productoras argentinas.

El área de producción, después de algunos desplazamientos, se concentró en la provincia de Buenos Aires, especialmente en el partido de Balcarce y vecinos. Así se origina la zona "Sudeste", principal productora de papa para consumo y "semilla" del país (20).

La evolución que sufrieron el área plantada, la producción y el rendimiento, referidos a papa "semitardía" y al período comprendido entre las campañas agrícolas 1949/50 y 1978/79, se aprecia en

las figuras 1, 2 y 3. Se advierte que, a pesar de la disminución del área plantada, la producción mantiene su nivel. Esto resulta del marcado y sostenido incremento de los rendimientos promedio por hectárea.

La variación promedio de los rendimientos en el período considerado, puede expresarse como la diferencia entre el último y el primer término de la serie, dividida por el número de campañas agrícolas. Así, sobre la base de la línea de tendencia (Figura 3), esta variación es de $(18.120 \text{ hg/ha} - 6.300 \text{ kg/ha}) / 30$ años, que resulta en una estimación de +394 kg/ha anuales. Esto equivale a un incremento de aproximadamente 80 kg de materia seca por hectárea y por año durante el período de 30 años considerado.

Tal incremento de los rendimientos, cuya tendencia continúa siendo creciente, se atribuye a la creación y transferencia de tecnología y a su adopción masiva por los productores. Merecen citarse especialmente, las siguientes causas de aumento de los rendimientos promedio:

(1) INTA, E.E.R.A. Balcarce, C.C. 276, 7620 Balcarce

a) Introducción, obtención y difusión de cultivares de alto rendimiento y gran seguridad de cosecha.

b) Fertilización (aproximadamente en el 95 por ciento del área "Sudeste" que, a su vez, contribuye con alrededor del 90 por ciento de la producción "semi-tardía"¹).

c) Riego complementario por aspersión (en algo más de 80 por ciento del área "sudeste"¹).

ch) Control del "tizón tardío" (*Phytophthora infestans*) (en prácticamente el 100 por ciento de la referida área).

d) Control de otras enfermedades y plagas del cultivo.

e) Certificación y pruebas anticipadas de sanidad de la "semilla" respecto a virosis, para poder utilizar "semilla" sana (4).

Es esencial la creación de nueva tecnología, cuya adopción permita en el futuro mantener el ritmo de crecimiento de los rendimientos unitarios. Se hará referencia, principalmente, a la posible contribución que, en este respecto, pueda provenir de la creación de nuevos cultivares.

MEJORAMIENTO GENETICO

Antecedentes

Los objetivos y métodos del mejoramiento heredable de la papa, han estado tradicionalmente condicionados por ciertas características del vegetal y por los procesos a que éste se vio sometido desde sus formas originales, tanto natural como artificialmente. Entre tales características y procesos, se citan los siguientes:

a) La papa comprende a especies tuberíferas del género *Solanum* (12 y 13).

b) Las especies tuberíferas de este género, constituyen una serie euploide con $2n = 24, 36, 48, 60$ y 72 . Son, en general, altamente heterocigóticas y experimentan drástica depresión por endocria (9, 26 y 29).

c) Es factible pasar de niveles de ploidía superiores a inferiores mediante la haploidización (7, 36 y 38) y a la inversa, mediante la poliploidización vegetativa y la sexual (25 y 27).

ch) Alrededor del 70 por ciento de las especies silvestres son diploides y la mayoría autoincompatibles (12 y 41).

d) Hay especies cultivadas $2x, 3x, 4x$ y $5x$ (11, 15 y 33).

e) La reproducción puede ser sexual y asexual.

f) La mayor variabilidad se da en la forma $4x$ que, probablemente, proviene de una poliploidización sexual entre formas $2x$ (32 y 35).

g) Migración desde su lugar de origen a Europa (14).

h) Selección natural y artificial en latitudes y condiciones agroclimáticas de los países introductores.

i) Cruzamiento entre cultivares europeos y norteamericanos, con prescindencia de la gran variabilidad disponible (3).

j) Expediciones de colección, establecimiento de bancos de germoplasma y la posibilidad de su utilización por parte de varios países (34).

Situación actual

Las limitaciones de los cultivares disponibles y los caracteres requeridos para un cultivar de papa que capitalice al máximo las posibilidades de este cultivo, determinan los factores que no se deberían desestimar en un programa de mejoramiento de papa en la Argentina. Ellos son: rendimiento, sanidad, calidad y, en general, aptitud para la utilización en los sistemas de producción, conservación y comercialización de las diferentes zonas productoras.

A los efectos del mejoramiento, los

(1) Según datos de la SEAG en coordinación con la E.E.R.A., INTA, Balcarce.

factores mencionados se deben considerar en forma conjunta porque las limitaciones relativas a alguno de ellos, pueden comprometer la expresión de los otros y, con ello, del potencial de un cultivar.

Un ejemplo en el que se aprecia la importancia de tal interrelación de factores, lo constituye el cultivar Huinkul MAG, incorporado al gran cultivo en 1948 (30). Su formidable aporte a la economía agropecuaria argentina, en el transcurso de 20 años a partir de su difusión, es calculado en 232 millones de dólares en 1969 por Kugler (21). El mismo autor compara favorablemente aquella cifra, con los recursos dedicados al desarrollo de la experimentación e investigación agropecuarias, desde el año 1883 (en que iniciara sus actividades la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Santa Catalina) hasta el referido año 1969.

El remplazo por Huinkul de los cultivares establecidos hasta su difusión comercial, determinó no sólo un significativo incremento del rendimiento, sino también la posibilidad de una multiplicación continuada sin recurrir a reimportaciones periódicas de "semilla". Esta reimportación, imposible en el caso de cultivares nacionales, es generalmente inabordable en el de los importados, como consecuencia del decaimiento de la producción que experimentan con multiplicaciones sucesivas.

La excepcional permanencia de Huinkul, se atribuye a factores tales como: a) resistencia genética al virus "Y" de la papa (VYP) y, aunque en mucho menor grado, al virus del "enrollado de la hoja" de la papa (VEHP), que ha facilitado el mantenimiento de la sanidad de la "semilla"; b) largo período de reposo de los tubérculos, que permite su almacenamiento en pilas a campo aún en las condiciones invernales de la zona "Sudeste", que son generalmente benignas y c) rusticidad, es decir, capacidad para soportar y recuperarse bien de condiciones adversas tales como

sequías, heladas, granizadas, etc.

La permanencia de Huinkul demuestra que este cultivar (tal como ocurre con otros cultivares nacionales) no acusa el efecto de otros factores -sobre todo temperatura- que han citado varios investigadores como determinantes, aparte de los ya mencionados, del decaimiento de la producción (6, 40 y 42).

Se advierte que el mejoramiento de sólo parte de los factores enumerados, no garantiza una ventaja efectiva del cultivar obtenido. Así, por ejemplo, el mejoramiento del potencial de rendimiento no se puede materializar con limitaciones en cuanto a sanidad o almacenamiento.

Algunas de estas limitaciones genotípicas, se pueden compensar con modificaciones ambientales tales como la reimportación periódica de "semilla" y el almacenamiento en cámaras refrigeradas.

La importación periódica de "semilla" no aparece como una solución conveniente. Dado que la limitación más importante al uso de "semilla" producida en el país la constituye la falta de sanidad, particularmente respecto a enfermedades de virus, surge la necesidad de producir condiciones dentro de las cuales se pueda dar solución a este problema. Indudablemente, el logro de resistencia genética a los virus más importantes, constituye uno de los recursos más efectivos y deseables para el logro de dicho objetivo.

Los objetivos del mejoramiento en el aspecto sanidad, se orientan, entonces, hacia la obtención de alguna forma de resistencia a: los virus "Y", del "enrollado de la hoja", "X" (VXP) y del "mosaico deformante" (VMDP) de la papa; "marchitamiento y punta seca" o "fusariosis" (*Fusarium eumartii*) y "sarna común" (*Streptomyces scabies*).

La obtención de resistencia a las plagas y a ciertas enfermedades tales como "tizón tardío" (*Phytophthora infestans*), no es tan prioritaria, debido a la factibili-

dad de su control por otros medios. Los nematodos, no constituyen un problema en las regiones productoras importantes del país.

Los virus "Y" y del "enrollado de la hoja", causan los daños más significativos en los cultivos de papa. En 1979 fue lanzado por la E.E.R.A. Balcarce el cultivar "SERRANA INTA", que reúne las resistencias a ambos virus, extrema resistencia al virus "X" y buena adaptación a las condiciones de producción en gran escala. La reunión en un tetraploide con herencia tetrasómica de los factores que determinan las resistencias heredables a los virus enumerados, convierte en altamente exitoso el resultado de este esfuerzo fitotécnico, más aún si se considera que la herencia a la infección del VEHP está determinada por genes múltiples con efectos aditivos (8 y 43). Parece razonable esperar que el aumento de la resistencia genética a una combinación de virus, facilite la producción de "semilla" con alta sanidad aún en condiciones subóptimas (19).

Si bien se conoce la existencia de fuentes de resistencia a casi todas las enfermedades mencionadas, permanece la dificultad de combinar un número elevado de atributos favorables en un mismo genotipo.

La calidad, considerada en los aspectos culinario (sabor, color, consistencia, etc.), está fuertemente influenciada por el ambiente. A pesar de ello y de que tradicionalmente en la Argentina se han considerado prioritarios los caracteres relacionados con el rendimiento y la sanidad, el mejoramiento genético puede hacer importantes contribuciones en cuanto a calidad de la papa, sea su destino el consumo directo o la industria. Prueba de ello, son los elevados contenidos de componentes deseables encontrados en forma combinada en materiales silvestres y en las progenies de éstos, cuando se cruzaron con materiales de mayor adaptación a las

condiciones de cultivo comercial (10 y 39).

En cuanto al esquema de mejoramiento genético de la papa aplicado actualmente en la E.E.R.A. Balcarce del INTA, si bien se continúa aprovechando la variabilidad genética disponible en cultivares y clones promisorios de *Tuberosum*, se trata de ampliar la base de diversidad a utilizar. Los mismos recursos que presuntamente determinaron el proceso evolutivo de la papa, se pueden acelerar mediante la aplicación de principios y metodologías propuestos por varios investigadores y orientarlos según los actuales objetivos del mejoramiento (7, 18, 24, 28 y 35).

Sucintamente, el citado esquema consiste en la síntesis de un tetraploide a partir de cuatro fuentes de genomas lejanamente emparentados. La respuesta heterótica esperada en el tetraploide, resulta de: a) la diversidad de las cuatro fuentes que, seleccionadas, haploidizadas cuando es necesario y cruzadas, originan dos híbridos $2x$ y b) la poliploidización sexual de estos híbridos mediante la fusión de gametos $2n$ (con el número no reducido de cromosomas). Estos últimos, dependiendo del mecanismo de su formación, permiten capturar más o menos intactos los genotipos parentales ya heteróticos e incorporarlos en un tetraploide, nivel considerado de máxima potencialidad (28).

Tal esquema de mejoramiento se aprecia en la figura 4. En ella, las fuentes están representadas por poblaciones de ADG (Andígena), STN y PHU (diploides cultivados de *Stenotomum* y *Phureja*), TBR (*Tuberosum*) y especies silvestres diploides. Una posibilidad adicional la constituyen tetraploides de la especie silvestre argentina GRL (*Solanum gourlayi*). Cada letra "G" representa un juego básico de cromosomas, mientras que los exponentes " \pm " y "+" simbolizan materiales antes y después de la selección, respectivamente.

Como se señaló, los gametos $2n$

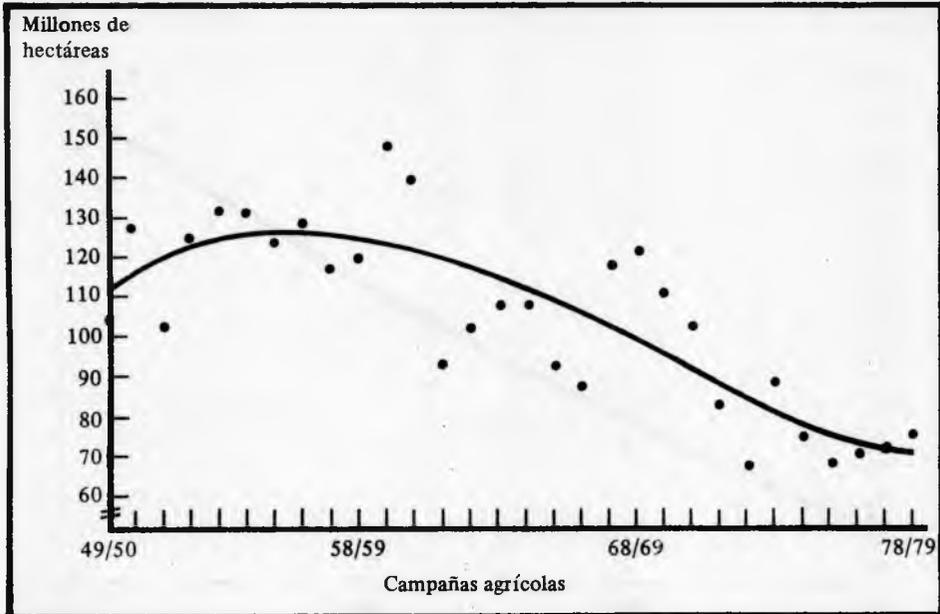


Figura 1: Evolución del área plantada con papa "semitardía" en el período de 30 años comprendido entre 1950 y 1979 (fuentes: Servicio Nacional de Economía y Sociología Rural, SEAG).

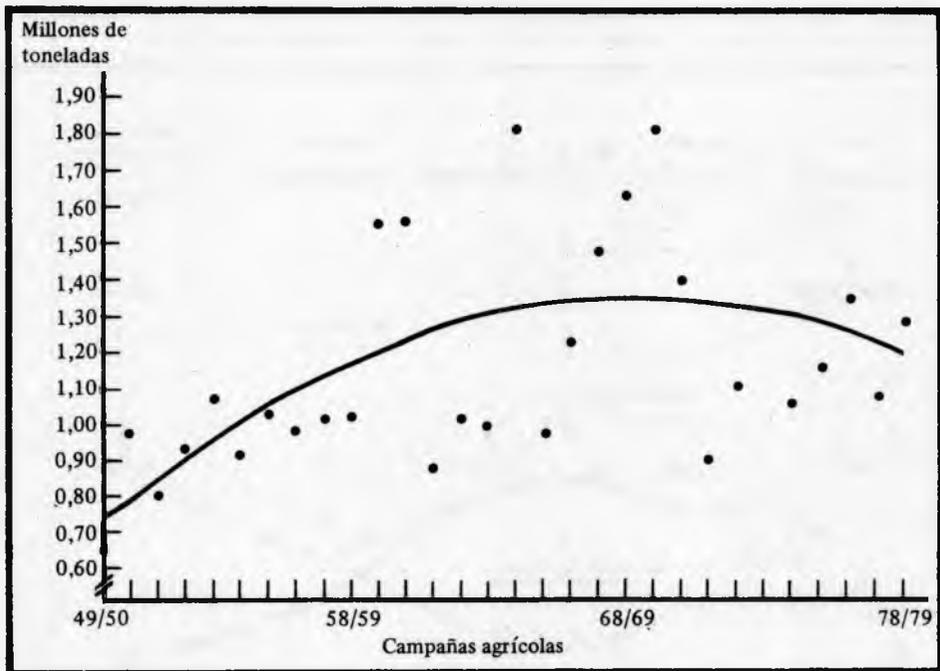


Figura 2: Evolución de la producción de papa "semitardía" en el período de 30 años comprendido entre 1950 y 1979 (fuente: Servicio Nacional de Economía y Sociología Rural, SEAG).

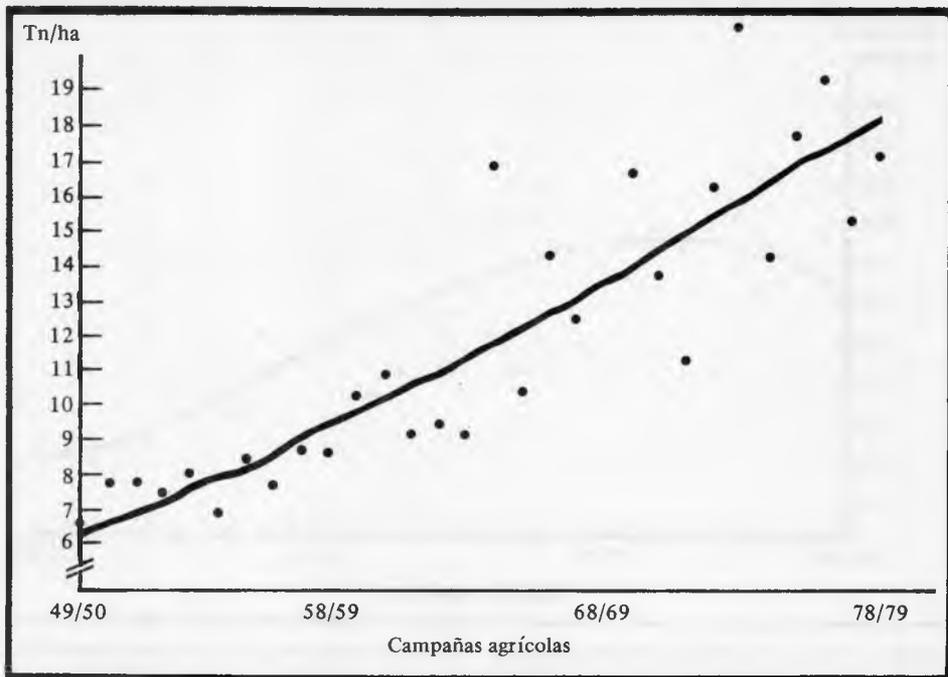


Figura 3: Evolución del rendimiento de papa "semitardía" en el período de 30 años comprendido entre 1950 y 1979 (fuente: Servicio Nacional de Economía y Sociología Rural, SEAG).

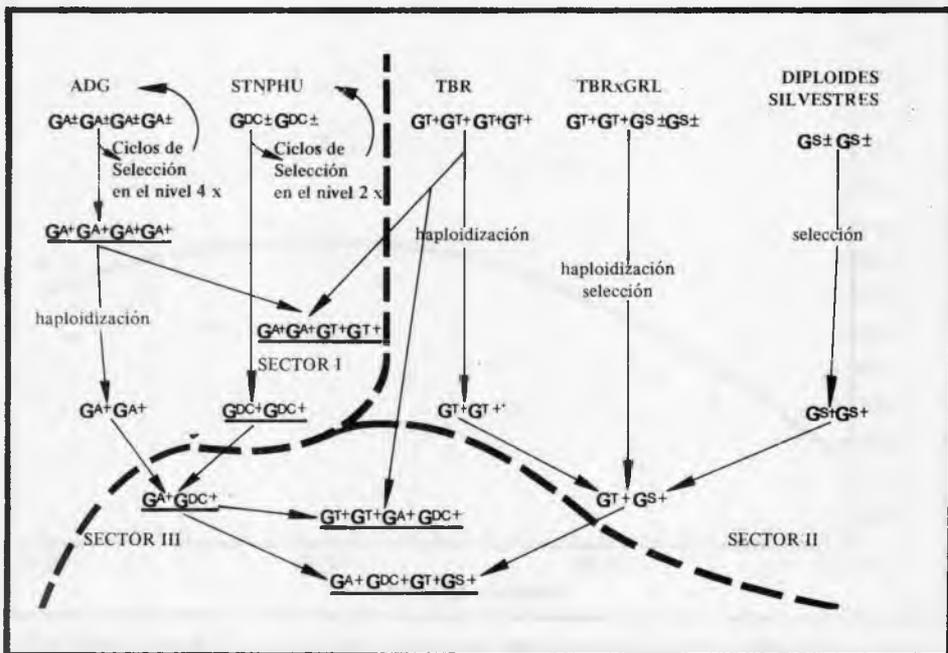


Figura 4: Esquema de utilización de los recursos genéticos de la papa (35).

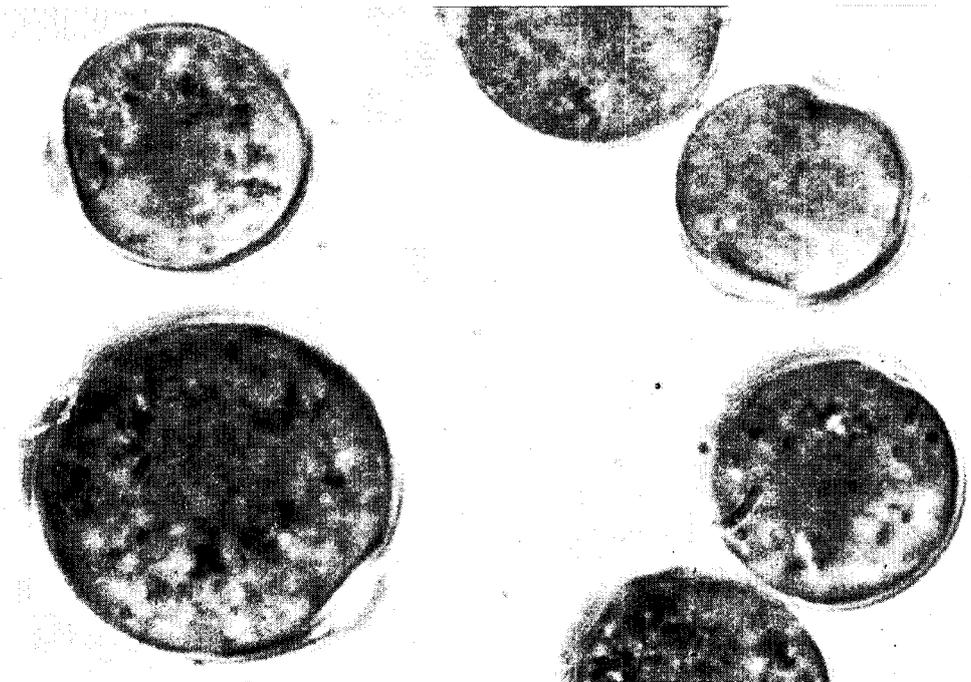


Foto 1: Granos de polen de papa diploide ($2n = 2x = 24$). El de mayor tamaño es presuntamente $2n$.

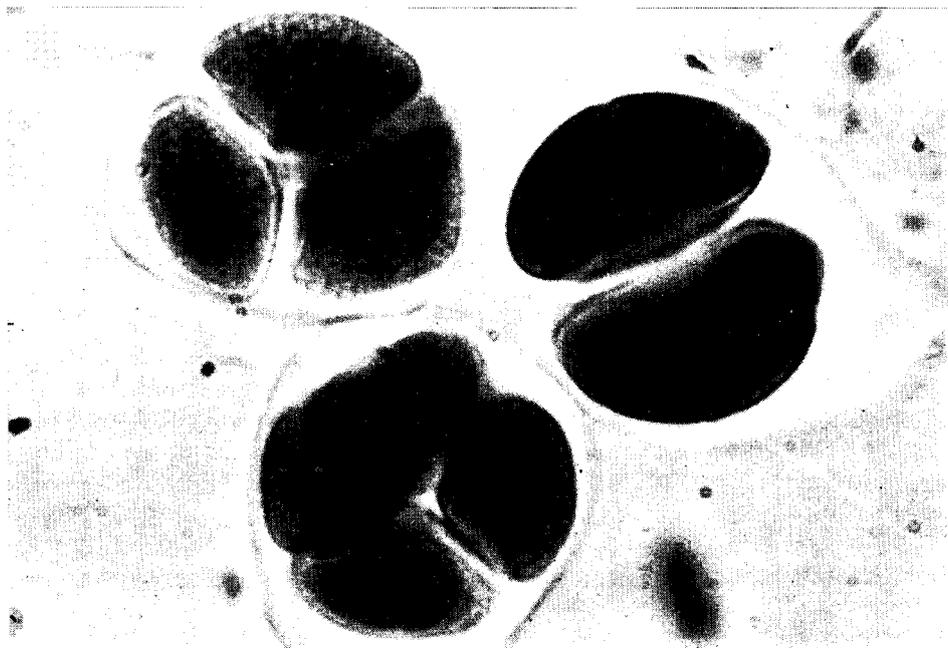


Foto 2: Diada con dos microsporos $2n$, junto a tetradas con cuatro microsporos n .

pueden originarse por diferentes mecanismos. Uno de ellos, restitución de la primera división meiótica, es muy favorable a los efectos de transferir lo más intacto posible el genotipo parental a los gametos (25). Ello se debe a la mínima alteración producida por las meiosis cuando opera el citado mecanismo, lo que hace máximos los beneficios de la selección.

Para detectar clones productores de gametos masculinos $2n$, se hacen observaciones microscópicas del polen en diversos materiales. Esto permite, en base a ciertas características de los granos, una primera estimación de la capacidad de cada clon en tal sentido (Foto 1) (37).

Con los resultados de este análisis preliminar, se observa la meiosis de aquellos clones en los que se determinaron mayores porcentajes de granos de polen presuntamente $2n$, para verificar la existencia de diadas o triadas (precursoras de tales granos) y el mecanismo de su formación (Foto 2) (31).

PERSPECTIVAS

La aplicación de metodologías de relativamente reciente descubrimiento o perfeccionamiento, a diferentes etapas de un esquema de mejoramiento como el descrito y aún a la producción en gran escala, puede resultar de utilidad. Así, por ejemplo, la utilización de semilla botánica en lugar del tubérculo para la implantación del cultivo (5 y 17), puede redundar en ventajas tales como: reducción del costo de producción al prescindirse del tubérculo-semilla, de valor proporcionalmente mayor que el de la semilla botánica; disminución del espacio y de otras exigencias relativas a la conservación de una parte suculenta y perecedera de la planta y al transporte; y, probablemente la de mayor importancia, protección con respecto a enfermedades, principalmente las transmisibles por el tubérculo-semilla.

La obtención y utilización de monoides ($2n = x = 12$) y su doblamiento cromosómico, puede hacer factible la obtención de líneas homocigóticas que, a su vez, pueden constituir un valioso recurso para el mejoramiento genético (1 y 2).

La hibridación somática puede hacer máximo lo que la poliploidización sexual ya logra en gran medida: la inalterabilidad de dos genotipos parentales, en el proceso por el cual se suman para formar un híbrido poliploide (22, 23 y 44).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría de Estado de Ciencia y Técnica (SECYT) y al Centro Internacional de la Papa (CIP) por los subsidios otorgados para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1) Breukelen, E.W.M., van, M.S. Ramanan y J.G. Th. Hermesen. 1975. Monohaploids ($n=x=12$) from autotetraploid *Solanum tuberosum* ($2n=4x=48$) through two successive cycles of female parthenogenesis. *Euphytica* 24:567-574.
- 2) Breukelen, E.W.M., van, M.S. Ramanan y J.G. Th. Hermesen. 1977. Parthenogenetic monohaploids ($2n=x=12$) from *Solanum tuberosum* L. and *S. verrucosum* SCHLECHTD. and the production of homozygous potato diploids. *Euphytica* 26:263-271.
- 3) Bukasov, S.M. y V. Lechnovicz. 1935. Importancia de la fitotécnica de las papas indígenas de la América del Sur. *Revta. Argent. Agron.* 2:173-183.
- 4) Butzonitch, I.P. 1978. El laboratorio de análisis de semilla de papa en la

- E.E.R.A. de Balcarce. III Jorn. Fitosan. Arg., Univ. Nac. de Tucumán, Tomo II (1978):773-778.
- 5) CIP (Centro Internacional de la papa). 1974. Proposed scheme for potato production from botanical seed. In: Strategy for Utilization. Report of the Int. Potato Center's Planning Conf. on Utilization of Genet. Resources. CIP, Lima, Perú, (1974): 84-85.
 - 6) Claver, F.K., R. Tizio y R.E. Montaldi. 1957. Efecto degenerativo de altas temperaturas durante la formación de los tubérculos de papa. Rev. Investig. Agríc. 11:359-363.
 - 7) Chase, S.S. 1963. Analytic breeding in *Solanum Tuberosum* L. A scheme utilizing parthenotes and other diploid stocks. Can. J. Genet. Cytol. 5:359-363.
 - 8) Davidson, T.M.W. 1973. Assessing resistance to leafroll in potato seedlings. Res. 16: 99-108.
 - 9) De Jong, H. y P.R. Rowe. 1971. Inbreeding in cultivated diploid potatoes. Potato Res. 14:74-83.
 - 10) Digel, K. y M.C. Monti. 1979. Calidad química y culinaria de la papa: definición y metodología para su evaluación. IDIA (En prensa).
 - 11) Dodds, K.S. 1962. Classification of cultivated potatoes. In: Correll, D.S. The potato and its wild relatives, (1962):517-539.
 - 12) Hawkes, J.G. 1958. Significance of wild species and primitive forms for potato breeding. Euphytica 7: 257-270.
 - 13) Hawkes, J.G. 1963. A revision of the tuber-bearing *Solanums* (2nd. edn.). Rec. Scott. Pl. Breed. Stn. (1963): 76-181.
 - 14) Hawkes, J. G. 1978a. History of the potato. In: Harris, P. M., The Potato Crop, The scientific basis for improvement. Chapman and Hall, Londres, (1978): 1-14.
 - 15) Hawkes, J. G. 1978b. Biosystematics of the potato. In: Harris, P. M., Ed., The Potato Crop, The scientific basis for improvement. Chapman and Hall, Londres, (1978): 15-69.
 - 16) Hawkes, J. G. y J. P. Hjerting. 1969. The potatoes of Argentina, Brazil, Paraguay and Uruguay. Oxford Univ. Press. 525 págs.
 - 17) Hermsen, J.G.Th. 1977. Towards the cultivation in developing countries of hybrid populations of potato from botanical seeds. In: Utilization of the Genetic Resources of the Potato II. Report of the Planning Conference. The International Potato Center, Lima, Perú, (1977):101-109.
 - 18) Howard, H.W. 1978. The production of new varieties. In: Harris, P. M., Ed., The Potato Crop, The scientific basis for improvement. Chapman and Hall, Londres, (1978):607-646.
 - 19) Huarte, M.A. y A.O. Mendiburu, Resistencia genética al enrollado de la hoja de la papa. I Congr. Asoc. Latinoam. de la Papa (ALAP). P. de Caldas, M.G., Brasil.
 - 20) INTA, Est. Exp. Reg. Agrop. Balcarce. 1962. Historia del cultivo de la papa en la República Argentina. 21 págs. (mimeogr.).
 - 21) Kugler, W.F. 1969. Contribución de los fitomejoradores al progreso de la agricultura. Acad. Nac. Agron. Vet., Sim. del Trigo., Buenos Aires. (1969): 32-101.
 - 22) Melchers, G. 1977. The combination of somatic and conventional genetics in plant breeding. In: Plant Research and Development. Vol. 5 (1977): 86-110.
 - 23) Melchers, G., M.D. Sacristan y A.A. Holder. 1978. Somatic hybrid plants

- of potato and tomato regenerated from fused protoplasts. *Carlsberg Res. Commun.* 43:203-218.
- 24) Mendiburu, A.O. 1979. El mejoramiento de la papa en la producción de alimentos. *Soc. Científ. Argent.* (En prensa).
 - 25) Mendiburu, A. O. y S. J. Peloquin. 1976. Sexual polyploidization and depolyploidization: some terminology and definitions. *Theor. Appl. Genet.* 48:137-144.
 - 26) Mendiburu, A. O. y S. J. Peloquin. 1977a. The significance of 2n gametes in potato breeding. *Theor. Appl. Genet.* 49:53-61.
 - 27) Mendiburu, A. O. y S. J. Peloquin. 1977b. Bilateral sexual polyploidization in potatoes. *Euphytica* 26:573-583.
 - 28) Mendiburu, A. O., S. J. Peloquin y D.W.S. Mok. 1974. Potato Breeding with haploids and 2n gametes. In: K.J. Kasha (Ed.), *Haploids in higher plants -Advances and Potential.* University of Guelph, Guelph, Ontario, Canadá (1974):249-258.
 - 29) Mendoza, H.A. y F.L. Haynes. 1973. Some aspects of breeding and inbreeding in potatoes. *Am. Potato J.* 50: 216-222.
 - 30) Millán, R. 1972. Origen de la papa *Huinkul. IDIA* 291:7-9.
 - 31) Mok, D.W.S. y S.J. Peloquin. 1975. Three mechanisms of 2n pollen formation in diploid potatoes. *Can. J.*
 - 32) Nijs, T.P.M. den y S.J. Peloquin. 1977. Polyploid evolution via 2n gametes. *Am. Potato J.* 54:377-386.
 - 33) Ochoa, C. 1972. El germoplasma de papa en Sudamérica. In: E.R. French (Ed.), *Prospects for the Potato in the Developing World.* CP, Lima, Perú. (1972): 68-84.
 - 34) Okada, K.A. 1976. Exploration, conservation and evaluation of potato germplasm in Argentina. *Potato Res.* 19:263-269.
 - 35) Okada K. A. y A. O. Mendiburu. 1978. Recursos genéticos de la papa. Utilización en el mejoramiento. *Ciencia e Investig.* 34: 132-138.
 - 36) Peloquin, S.J., R.W. Hougas y A.G. Gabert. 1966. Haploidy as a new approach to the cytogenetics and breeding of *Solanum Tuberosum*. In: Riley y Lewis (Eds.), *Chromosome Manipulations and Plant Genetics.* Oliver and Boyd. Edimburgo. (1966): 21-28.
 - 37) Quinn, A.A., D.W.S. Mok y S.J. Peloquin. 1974. Distribution and significance of diplandroids among the diploid *Solanums*. *Am. Potato J.* 51:16-21.
 - 38) Rowe, P. R. 1974. Methods of producing haploids: Parthenogenesis following interspecific hybridization. In: Kasha, K.J. (Ed.), *Haploids in Higher Plants -Advances and Potential.* Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canadá. (1974):43-52.
 - 39) Santini, V., A.O. Mendiburu, K.A. Okada y M.C. Monti. 1976. Crossability of *Solanum gourlayi* Hawkes with *S. Tuberosum* L. and evaluation of the hybrid progeny. *Am. Potato J.* 53:371. (Abstr.).
 - 40) Sívori, E.M. 1951. La degeneración de la papa. *Ciencia e Investig.* 7:291-302.
 - 41) Swaminathan, M.S. y H.W. Howard. 1953. The cytology and genetics of the potato (*Solanum tuberosum*) and related species. *Bibliographia Genética* 16: 1-192.
 - 42) Tizio, R.M., E.R. Montaldi y O.A. Garay. 1954. Verificación de la "degeneración" de la papa por efecto de las altas temperaturas. *Rev. Investig. Agríc.* 3:255-261.
 - 43) Wiersema, H.T. 1972. Breeding for resistance. In: Bokx, J.A., de (Ed.),

Viruses of potatoes and seed-potato production. Wageningen. Centre for Agric. Publish. and Docum. (1972): 174-187.

44) Zenteler, M. y G. Melchers. 1978. In vitro hybridization by sexual methods and by fusion of somatic protoplasts. Theor. Appl. Genet. 52:81-90.
