

USO DE MUTAGENOS EN EL MEJORAMIENTO DE LA PAPA *Solanum tuberosum* L.

MARGARITA HERNÁNDEZ A.; RUBÉN SOSA CH.*

RESUMEN

La radiosensibilidad tanto de tubérculos, semilla sexual y plantas próximas a floración, fue considerable, ya que en términos medios, 6-10 Krad son suficientes para causar letalidad. La irradiación directa de tubérculos permitió la obtención de mutantes con cambios en la pigmentación del mismo. Desafortunadamente, es difícil mantener mutantes estables (no-quiméricos) para este carácter. Es factible aumentar la variabilidad genética mediante cruzamientos entre plantas derivadas de tubérculos irradiados. A través de esta metodología, actualmente están en proceso de multiplicación doce clones seleccionados, cuyas características agronómicas por las que fueron seleccionados, aún se conservan. Las cruces entre plantas próximas a floración irradiadas, así como el rompimiento de la autoincompatibilidad, son fenómenos que requieren más estudio. El mejoramiento del autotetraploide que nos ocupa, mediante el uso de radiaciones ionizantes (gammas, neutrones, etc.) podrá ser más accesible, al hacer uso de otras metodologías en este aspecto.

Palabras Claves Adicionales: Radiosensibilidad, quiméricos, letalidad autoincompatibilidad, autotetraploide, ionizantes, neutrones, gammas.

ABSTRACT

Use of Physic Mutagens for Potato Breeding

Tubers, true seed and adult plants near flowering stage of potatoes, were rather sensitive to radiation since a dosage of 6-10 Krad were enough to become lethal. Tubers directly irradiated were able to get different pigments which were considered as chimaeric non-stable, mutants. It is possible to increase genetic variation after crossing plants obtained from tubers irradiated. Using this approach it was possible to obtain twelve valuable selected clones in a large population, having good and stable agronomic characters. More studies are needed to evaluate the potential of crosses among plants irradiated near flowering stage and the possibilities of breaking self-incompatibility. There are possible some other methods to follow in order to exploit the ionizing radiations (gamma, neutrons) in tetraploid cultivated potatoes.

Additional Index Words: Radiation, lethal, pigments, chimaeric, mutants, self-incompatibility, tetraploid.

* Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Responsable del Proyecto DZ26-I del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. México.

La papa *Solanum tuberosum* L., al igual que el maíz para diversas culturas locales, constituyó el cultivo básico para el asentamiento de los incas. Posterior a la conquista se diseminó en el Viejo Mundo, donde en la actualidad constituye uno de los alimentos de mayor importancia en la dieta de esas poblaciones, sobre todo en países como Holanda, Alemania, URSS, Suecia, Suiza, etc., donde el consumo anual *per capita* es de 100 a 120 Kg. En México, al igual que en otros países en desarrollo, a excepción de Perú, la papa es considerada como un cultivo potencial, ya que su consumo anual no rebasa a los 12 Kg *per capita*.

Por otra parte, dicho cultivo está basado en la utilización de variedades resistentes a enfermedades como el tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mon. de By.). La incidencia de enfermedades reduce los rendimientos en forma considerable, impidiendo una vida comercial prolongada de la mayoría de las variedades, debido a la genética de interacción entre el huésped y el patógeno.

La comercialización del tubérculo en cuestión, afronta problemas de diversa índole, entre otros, el bajo consumo por parte de la población, aceptación arraigada de variedades locales, zonas de producción alejadas de los centros de consumo e incipiente procesamiento industrial (frituras, deshidratados, harinas, etc.).

El mejoramiento genético de la papa ha empleado metodologías que van desde la simple selección visual, hasta el aprovechamiento del germoplasma presente en las especies silvestres filogenéticamente relacionadas con la especie cultivada.

La variabilidad genética presente en *Solanum tuberosum* L., parece no ser suficiente para la obtención de nuevas variedades, no obstante el alto número de recombinaciones que se han obtenido mediante cruces intervarietales. Esto ha hecho necesario recurrir al germoplasma silvestre, independientemente de las barreras de incompatibilidad, debido a los diferentes niveles de ploidía, así como al alejamiento del híbrido del tipo comercial. Técnicas como el uso de dihaploides, el cultivo de tejidos, la hibridación somática, y el empleo de agentes mutagénicos, entre otras, no han quedado fuera del contexto del mejoramiento de la papa.

Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de crear variedades que satisfagan adecuadamente los requerimientos propios del cultivo en una localidad dada, así como los de producción y aquellos relacionados con el procesamiento industrial.

El objetivo principal de la presente investigación, fue el de conocer el efecto de las distintas partículas ionizantes (rayos gamma y neutrones, principalmente) en caracteres agronómicos de algunos materiales de papa

involucrados en el Programa Nacional de Papa del actual INIFAP.*

La obtención de mutantes relacionados con cambios en la pigmentación, forma, tamaño y profundidad de las yemas del tubérculo, así como la obtención de mutantes resistentes a plagas y/o enfermedades, constituye la finalidad del presente estudio.

Como ya se ha mencionado en otros foros, son pocas las especies domesticadas por el hombre cuyo mejoramiento no haya sido contemplado mediante la aplicación de mutágenos físicos.

A este respecto, Micke *et al* (12) establecen la obtención comercial de 691 variedades pertenecientes a 89 especies, entre los que sobresalen cultivos como el arroz, avena y especies ornamentales como el crisantemo y la dalia. Por alguna razón u otra, la papa común no ha sido beneficiada por la metodología que nos ocupa, no obstante que algunas variedades comerciales, se han derivado de selecciones de mutantes naturales en poblaciones comerciales. Los autores mencionados sólo notifican a dos variedades de papa obtenidas por esta técnica.

REVISIÓN DE LITERATURA

La familia de las Solanáceas ha proporcionado una serie de cultivos por demás importantes al Nuevo Mundo, entre los que sobresalen el jitomate, las distintas variedades de chile, tabaco y papa, entre otros Heiser (7).

Desde el punto de vista citogenético, la papa, *S. tuberosum* L., es considerada como un autotetraploide, es decir, una especie con cuatro cromosomas homólogos (AAAA), Sosa y Hernández (18).

El mejoramiento genético de este tubérculo, ha involucrado las siguientes rutas:

—*Cruzas Intervarietales*. Actualmente se tiene conocimiento de que cada día es más difícil lograr nuevas variedades mediante cruzas intervarietales, Sosa y Hernández 1986.

—*Cruzas interespecíficas*. La transferencia de germoplasma presente en especies silvestres, filogenéticamente relacionadas con la papa común, está limitada por los diferentes niveles de ploidía entre las especies silvestres y las variedades comerciales. Además, en tales cruzas los híbridos presentan pocas características comerciales.

—*Mejoramiento a Nivel Diploide*. El advenimiento de los dihaploides y monohaploides en papa, ha permitido la elaboración de esquemas para el

* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México.

mejoramiento genético de este cultivo, tanto al nivel diploide como haploide, Chase (3), Wenzel *et al* (24), que sin duda alguna, no dejan de ser bastante llamativos. Sin embargo, debe considerarse el hecho de que el nivel óptimo de ploidía de la papa es el tetraploide, al cual se debe regresar, independientemente del nivel de ploidía en el cual se realice el mejoramiento Sosa-Chávez (19). De cerca de 30 especies diploides silvestres establecidos para México, Flores (5), Rowe (16), ninguna de ellas ha resultado compatible con dihaploides derivados de variedades comerciales de papa; además, deben considerarse los distintos sistemas de incompatibilidad entre dihaploides, Sosa-Chávez y Hernández (20).

—*Uso de Mutágenos Físicos.* La comercialización de mutantes aparecidos espontáneamente en plantaciones de papa, hace pensar que el uso de mutágenos en el mejoramiento genético de la papa puede permitir la obtención de nuevas variedades con un ahorro de espacio temporal. Sin embargo, hasta la fecha, sólo se han podido comercializar dos variedades obtenidas por la metodología que nos ocupa, Micke *et al* (12). Uno de los principales problemas que afronta el mejoramiento genético de la papa mediante el uso de mutágenos físicos, es la presencia de quimeras en el material seleccionado; es de esperarse que la obtención de mutantes estables, derivados unicelularmente a través de la irradiación de áreas foliares, reduzca al mínimo esta situación problemática, Roest y Bokelmann (14).

—*Uso de Semilla Sexual y Heterosis.* La explotación del cultivo que nos ocupa mediante el uso de semilla sexual y no a través del tubérculo, ocupa un primerísimo lugar en varios países. Por otra parte la obtención de semilla híbrida a partir de líneas puras, permite concebir la explotación de la heterosis. Ambos aspectos, trabajados en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEM* afrontan una serie de problemas por vencer, Arzate (1).

Podemos establecer que el mejoramiento genético de las especies vegetales, constituye un proceso continuo, donde la creación de nuevas variedades depende de la selección de combinaciones de caracteres gobernados por la acción de genes y la interacción de éstos con el medio. Los genes constituyen secuencias de polinucleótidos (Desoxiribonucleótidos) portadores del mensaje que se transcribe y se traduce para producir proteínas estructurales y/o funcionales (enzimas), que en última instancia controlan la expresión del carácter.

El conjunto de genes propios de un cultivo constituye la pila genética del mismo, la cual, además de ser finita, en la mayoría de las ocasiones presenta dificultades a su acceso, Bathia (2).

El fitomejorador requiere de una variabilidad genética que le permita aplicar sus métodos de selección con el fin de extraer genotipos que

* Universidad Autónoma del Estado de México. México.

satisfagan, por un lado, las necesidades del cultivo en sí, así como las que demanda el género humano para su consumo y procesamiento. La inducción de mutaciones mediante el uso de radiaciones ionizantes, puede considerarse como una más de las metodologías existentes para lograr una mayor variabilidad genética.

Trujillo 1970 Ruíz (15), Hernández y Sosa (6), constituyen citas bibliográficas para el lector interesado. En la primera, se da un estado sobre la historia de las mutaciones, así como de su inducción en diversos organismos; en la segunda, se hace una presentación bastante aceptable de trabajos relacionados con el efecto de mutágenos en el mejoramiento de la papa y en la tercera, los avances logrados en diversos cultivos, mediante la inducción de mutaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material biológico involucrado en el presente trabajo, comprendió tanto variedades comerciales, como líneas avanzadas de papa, proporcionadas por el Programa Nacional de Papa del actual INIFAP. Dentro de las variedades más usadas, contamos con Alpha, Murca, Rosita, Juanita, Atzimba y Tollocan. Dentro de las líneas avanzadas, se pueden citar a AKK-69-1, AQQ-69-1 y CGN. También fueron involucrados clones dihaploides para estudios de auto-incompatibilidad, éstos fueron: 67 60 14; 75 08 17; 75 08 26 y Marijka.

Los experimentos de campo fueron realizados en los terrenos experimentales de la Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agrícola y Ganadero del Estado de México, CODAGEM y Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. La preparación del terreno, fertilización y otras prácticas culturales fueron efectuadas bajo las recomendaciones dadas por el Programa Nacional de Papa del INIFAP.

Tanto los tubérculos irradiados directamente, como las plántulas derivadas de semilla sexual, proveniente de cruza entre plantas obtenidas a partir de tubérculos irradiados, fueron sembrados a una distancia entre surcos de 90 cm y de 0.5 a 1.0 m entre plantas.

Dado el interés en conocer los efectos de las dosis de irradiación en distintas variedades, se optó por emplear el diseño de parcelas divididas en bloques al azar.

Semilla sexual, así como tubérculos, fueron irradiados en diversas ocasiones. La irradiación gamma se logró en tres fuentes del Centro Nuclear de México, Gammace LL-220, Loop de Investigación del Irradiador JS-6500 de la AECL (Atomic Energy of Canada Limited) y gammas de la descomposición de los productos de fisión en el Cuarto de Exposición del Reactor Triga Mark III. La irradiación con neutrones

epicádnicos (neutrones rápidos) se realizó en un tubo tangencial del Reactor Triga Mark III.

En la mayoría de los casos se emplearon dosímetros termoluminiscentes. Sin embargo, la solución de Fricke fue utilizada con regularidad.

Los cruzamientos se realizaron directamente en maceta bajo condiciones de invernadero, o bien, mediante la técnica de decapitación, Peloquin y Hougas 1959, cuando se involucró material de campo. En todos los casos, la semilla sexual obtenida en un ciclo dado, fue sembrada en almácigo el siguiente año y las plántulas transplantadas al campo para su observación.

Tanto en invernadero, como en campo, se trató de lograr la mejor condición fitosanitaria, excepto en aquellos casos en que el material fue sometido a prueba.

RESULTADOS

Efectos en variables Agronómicas en Materiales Provenientes de Tubérculos Irradiados.

En 1974, las variables producción de tubérculo, número de tallos, altura de la planta y tubérculos no brotados, presentaron el siguiente comportamiento (Tabla 1) en un experimento bifactorial ubicado bajo un diseño de parcelas divididas en bloques al azar, donde se involucraron a las variedades Alpha y Rosita, como parcelas grandes, y a las dosis de 0.0, 2.0, 2.5, 5.0 y 20.00 Krad de neutrones epicádnicos, como parcelas chicas.

TABLA 1. Grados de significancia (F) para un diseño de parcelas divididas en bloques al azar en las variables peso del tubérculo, número de tallos principales, altura de la planta y número de tubérculos no brotados.

F. V.	Peso tubérculos	Número tallos	Altura planta	Número de tubérculos no brotados
Variedades	*	n.s.	n.s.	*
Dosis	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Var x Dosis	*	*	n.s.	n.s.

En 1975 las variedades Alpha y Murca fueron irradiadas a 0.0, 0.100, 0.165, 0.270 y 0.420 Krad con gammas de la descomposición de los productos de fisión del Reactor Triga Mark III en el cuarto de exposición del mismo, encontrándose significancia al 0.1% para los tres factores de

variación, bajo el mismo diseño que el experimento anterior, en la variable producción de tubérculo.

Las mismas variedades fueron irradiadas con neutrones en 1976, a dosis de 0.0, 0.200, 0.290, 0.400 y 0.650 Krad y mostraron el siguiente comportamiento para las variables peso y número del tubérculo bajo el mismo diseño experimental que se ha venido empleando.

TABLA 2. Grados de significancia (F) para un diseño de parcelas divididas en bloques al azar en las variables peso de tubérculo y número de tubérculos.

F.V.	Peso del Tubérculo	Número de tubérculos
Variedades	***	***
Dosis	n.s.	n.s.
Var x Dosis	n.s.	n.s.

En 1978, las variedades Alpha, AKK69-1 CCU-69-1 y Murca fueron irradiadas a 0.0; 1.0; 1.2; 2.0 y 3.0 Krad con gammas de la descomposición de los productos de fisión en el cuarto de exposición del Reactor Triga Mark III. En este bifactorial, los tratamientos también fueron ubicados bajo un diseño de parcelas divididas en bloques al azar. En este caso, se estudiaron 5 variables, cuyo comportamiento se presenta en la Tabla 3.

La prueba de Duncan al 5% para separación de medias entre variedades mostró que para porcentaje de brotación Alpha, CCU69-1 y Murca no difirieron significativamente entre sí, pero las 3 difirieron de AKK-69-1. Para número de tallos principales, la prueba detectó dos grupos, por un lado Alpha y CCU-69-1 y por el otro, Murca y AKK-69-1. Por su parte, en peso del tubérculo, Alpha y CCU-69-1 no difirieron significativamente, pero ambas lo hicieron de AKK-69-1 y Murca (Tabla 4).

TABLA 3. Grados de significancia para un diseño de parcelas divididas en bloques al azar brotación (1), altura de la planta (2), número de tallos principales (3), número de tubérculos (4) y peso del tubérculo (5).

F. V.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Variedades	**	n.s.	**	n.s.	**
Dosis	**	**	n.s.	**	**
Var x Dosis	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

TABLA 4. Prueba de Duncan (5%) para el factor A (Variedades) en las variables porcentaje de brotación, número de tallos principales y peso del tubérculo.

Porcentaje de brotación	Número de tallos principales	Peso de tubérculo
Alpha	*	CCU-69-1
CCU-69-1		Alpha
Murca		Murca
AKK-69-1		AKK-69-1

* Las líneas que unen a las distintas variedades indican que sus medidas no difieren al 5%.

La separación de medias para el factor B (Dosis) se da en la Tabla 5, donde se puede apreciar una tendencia de las dosis más altas a causar un efecto detrimental. Por otro lado, la separación de medias de los diferentes niveles del factor B (Dosis), a un mismo nivel del factor A (Variedades), se da en la Tabla 6, donde se observa que para Alpha, CCU-69-1 y Murca, no hay diferencia significativa entre las medias de dosis para la variable porcentaje de brotación. Sin embargo, en AKK-69-1 todos los tratamientos sobrepasan al testigo.

TABLA 5. Prueba de Duncan (5%) para el factor B (Dosis) en las variables porcentaje de brotación, altura de la planta, número de tubérculos por planta y peso del tubérculo.

Dosis en Krad	Porcentaje brotación	Dosis en Krad	Altura de la planta	Dosis en Krad	Número de tubérculo por planta	Dosis en Krad	Peso del tubérculo
0.0		0.0		0.0		0.0	
1.0	*	1.0		1.0		1.0	
2.0		2.0		2.0		2.0	
3.0		3.0		1.2		1.2	
1.2		1.2		3.0		3.0	

* Las líneas que unen a las distintas dosis indican que sus medidas no difieren al 5%.

Además de conocer el comportamiento de ciertas variables ante el efecto de las radiaciones ionizantes, también fue posible el reconocimiento de mutantes quiméricos, sobresaliendo entre los más importantes, los cambios en la pigmentación del tubérculo. Sin embargo, la condición quimérica de los mismos, no permitió el aislamiento de mutantes estables sobre este carácter.

Cruzamientos

Ante los resultados mencionados anteriormente y en forma paralela, se inició una serie de experimentos tendientes a lograr información sobre el efecto de la radiación ionizante en producción de semilla sexual, variabilidad y autoincompatibilidad.

La irradiación gamma produce efectos estimulantes en varios procesos fisiológicos, por lo que se incluyeron experimentos para lograr dicha información.

TABLA 6. Prueba de t (5%) para diferentes niveles del factor B (Dosis) a un mismo nivel del factor A (Variedades) en la variable porcentaje de brotación.

Variedades	Dosis en Krad				
	0.0	1.0	1.2	3.0	2.0*
Alpha	1.2	3.0	2.0	1.0	0.0
AKK-69-1	1.2	3.0	2.0	0.0	1.0
CCU-69-1	1.2	3.0	1.0	2.0	0.0
Murca	1.2	3.0	1.0	2.0	0.0

* Las líneas que unen a las distintas dosis en cada una de las variedades, indican que sus medias no difieren al 5%.

Por otra parte, los cambios en el material hereditario, que pudieran ocurrir desde la irradiación del tubérculo hasta la iniciación de las yemas florales, tienen mayor probabilidad de perpetuarse en forma estable a través de la micro y megasporogénesis y la fertilización.

La Tabla 7 muestra el comportamiento de la variedad Alpha bajo autofecundación, donde se empleó como progenitor estaminado a plantas derivadas de tubérculos tratados con la dosis más alta (20.0 Krad), y como progenitor pistilado, a plantas derivadas de tubérculos irradiadas con 0.0, 2.0, 2.5, 5.0 y 20.0 Krad. Se puede observar que la relación semillas/fruto fue más alta en la cruz A₄ x A₅.

Por otra parte, al realizar cruza entre plantas derivadas de tubérculos de la variedad Alpha como progenitor pistilado, irradiados con las cinco dosis mencionadas anteriormente, con plantas de la variedad Rosita como progenitor estaminado, irradiada con la dosis más alta, la relación semillas/fruto más alta fue la misma que en el caso de autofecundaciones, es decir $A_4 \times B_5$, Tabla 8.

TABLA 7. Autofecundaciones en la variedad Alpha (A), usando como progenitor pistilado plantas provenientes de tubérculos irradiados con neutrones epicósmicos a diferentes dosis y como progenitor estaminado plantas derivadas de tubérculos irradiados con la dosis más alta.

Progenitores	Número de Flores polinizadas	Número de frutos	Frutos/ polinización	Número de semillas	Semillas/ fruto
$A_1 \times A_5$	27	20	0.74	519	25.95
$A_2 \times A_5$	32	17	0.53	433	25.47
$A_3 \times A_5$	35	25	0.71	625	25.00
$A_4 \times A_5$	29	24	0.82	755	31.45
$A_5 \times A_5$	10	8	0.80	204	25.50

Los resultados de los cruzamientos realizados en 1975 no fueron analizados estadísticamente. Sin embargo, se logró un promedio general de 8.24 semillas por fruto en cruzamientos y autofecundaciones de las variedades Alpha y Murca irradiadas con 0.0, 0.100, 0.165, 0.270 y 0.420 Krad. Así mismo, la relación semillas/fruto más alta se logró en el cruzamiento Alpha (0.165 Krad) x Alpha (0.165 Krad), donde a partir de una sola polinización se logró 1 fruto con 37 semillas. Valores semejantes se observaron en cruzamientos entre Alpha (0.165 Krad) x Murca (0.165 Krad), donde se lograron 36 semillas por fruto, a partir de una sola polinización.

La intención de lograr mutantes en una frecuencia más alta, condujo, en 1977, a la irradiación de plantas completas próximas a floración con gammas de la descomposición de los productos de fisión en el cuarto de exposición del Reactor Triga Mark III. Sin embargo, la heterogeneidad en la distribución de la irradiación, así como la heterogeneidad en cuanto a energías de la misma, no permitió la obtención de flores, salvo en raras ocasiones por debajo de 6 Krad, lo cual trajo consigo la inhibición total de los botones florales.

TABLA 8. Cruzamientos entre plantas de la variedad Alpha (A) provenientes de tubérculos irradiados con neutrones epicádnicos con plantas de la variedad Rosita provenientes de tubérculos irradiados con la dosis más alta usadas como progenitor estaminado.

Progenitores	Número de Flores polinizadas	Número de frutos	Frutos/ polinización	Número de semillas	Semillas/ fruto
A ₁ X B ₅	5	1	0.20	14	14.00
A ₂ X B ₅	23	12	0.52	163	13.58
A ₃ X B ₅	8	2	0.25	20	10.00
A ₄ X B ₅	4	2	0.50	35	17.50
A ₅ X B ₅	3	1	0.33	13	13.00

Durante 1978, se realizaron 686 polinizaciones entre plantas de las variables AKK-69-1, I-CCU-69-1 y Murca, derivadas de tubérculos irradiados a 0.0, 0.792 y 0.889 Krad, lográndose 184 frutos, una relación de 0.26 frutos por polinización y un promedio de semillas por fruto variable para cada combinación de cruce, Tabla 9.

TABLA 9. Comportamiento de cruzamientos en las variedades AKK-69-1 (B), CCU-69-1 (C) y Murca (D) entre plantas cuyos tubérculos fueron irradiados con rayos gamma.

Progenitores	Número de flores polinizadas	Número de frutos	Frutos/ polinización	Semillas/ fruto
C ₁ X D ₁	7	1	0.14	110.00
B ₁ X C ₂	3	1	0.33	217.00
B ₁ X C ₃	3	3	1.00	455.00
B ₂ X C ₂	4	1	0.25	246.00
B ₂ X C ₃	12	1	0.08	64.00
D ₁ X C ₁	68	21	0.30	226.41
D ₁ X C ₂	62	5	0.08	184.60
D ₁ X C ₃	44	13	0.29	201.38
D ₂ X C ₁	64	19	0.29	204.00
D ₂ X C ₂	146	30	0.20	102.66
D ₂ X C ₃	93	44	0.47	167.77
D ₃ X C ₁	9	2	0.22	164.00
D ₃ X C ₂	79	18	0.22	104.64
D ₃ X C ₃	103	25	0.24	204.61
Total	686	184	0.268	

Independientemente de no haberse realizado una evaluación estadística, los frutos con un número mayor de semillas promedio involucran progenitores irradiados.

Con el fin de romper los sistemas de autoincompatibilidad presentes en dihaploides genealógicamente relacionados, en 1980, se irradiaron con gammas 7 clones a 1.0 Krad. A partir de 297 polinizaciones empleando el testigo como progenitor pistilado no se obtuvo fruto alguno, como tampoco se obtuvo a partir de 371 polinizaciones, cuando el progenitor estaminado fue el testigo.

Cruzamientos realizados durante 1981, entre plantas de las variedades 676014, 750817, 750826 y Marijke, provenientes de tubérculos irradiadas con gammas en el Loop de Investigación del irradiador JS6500, con dosis entre 3.0 y 8.1 Krad, no permitieron la obtención de frutos.

En 1983, a partir de 111 polinizaciones, e involucrando 4 variedades y 3 dosis incluyendo testigo, se obtuvieron 5542 semillas germinadas a partir de un número desconocido de semillas.

Comportamiento de la Descendencia

La semilla derivada de los cruzamientos realizados en 1974, Tabla 7, presentó un porcentaje de germinación entre el 40 y el 70, mientras que el porcentaje de germinación de la semilla de los cruzamientos mostrados en la Tabla 8, fue de 0 a 80. De dicho material se obtuvo 100 clones pertenecientes a 10 familias.

Los cruzamientos realizados en 1975 produjeron semilla, cuyo porcentaje de germinación estuvo entre 42 y 85. De dicho material, se obtuvo 82 clones pertenecientes a 8 familias.

De la semilla resultante de juzgamientos realizados en 1978, se obtuvieron porcentajes de germinación variables (de 40 a 82.5); ésto, con base en 200 semillas sembradas en cada una de 12 familias involucradas. De 9 de estas familias, se seleccionaron 60 clones en cada una, de 2 familias se seleccionaron 15 clones y de la familia restante se seleccionaron 10 clones.

Las semillas obtenidas en 1983 no fueron evaluadas en cuanto a porcentaje de germinación.

Selección de Mutantes

La selección de mutantes en plantas de reproducción vegetativa trae consigo el problema de quimeras. Esto quiere decir, especialmente en el caso de la papa, que un tubérculo que presenta cambios en la pigmentación, o

algún otro carácter, solamente en algunos sectores, carece de valor agronómico, debiendo ser depurado hasta lograr lo que se conoce como mutantes estables.

Uno de los caminos para evitar la producción de mutantes quiméricos es la irradiación de tubérculos y la realización de cruzamientos entre plantas derivadas de ellos. Independientemente de que la metodología usada no permite delimitar cuánto de la variabilidad es debida a los procesos de recombinación propios de la reproducción sexual y cuánto a las mutaciones producidas por la irradiación gamma, se hizo patente (sin valoración estadística), una mayor variabilidad, tanto positiva como negativa, en cruzamientos de material irradiado que en cruzamientos testigo.

En el caso de semilla sexual, derivada de cruzamientos entre individuos provenientes de tubérculos irradiados, se sigue la misma secuencia que en la metodología común de mejoramiento. Una vez seleccionada en forma individual una planta, sus tubérculos se consideran genéticamente idénticos (constituyen un clon), procediendo a su multiplicación por 5 ó 6 ciclos agrícolas. Durante estos ciclos se evalúan, además del carácter por el que la planta fue seleccionada, algunos otros caracteres que permitan que este material pueda ser considerado como línea avanzada.

En el apartado anterior, relacionado con el comportamiento de la descendencia, se menciona el número de clones seleccionados para algunos ciclos. Además de que sería tedioso enumerar el origen, número y destino de cada uno de los clones seleccionados durante la presente investigación, debe considerarse que la presión de selección para el caso de la papa, reduce considerablemente el material seleccionado originalmente.

De acuerdo con lo antes expuesto, las actividades relacionadas con esta investigación, durante el período de 1974-1983, permitieron la selección de 12 clones de papa, los cuales actualmente están siendo multiplicados en los terrenos experimentales de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEM. Cabe aclarar que, si actualmente solamente se multiplican 12 clones seleccionados, el número de éstos que intervinieron en la fase de inicio de selección fue superior a los mil.

CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

La radiosensibilidad, tanto de tubérculos, semilla sexual y plantas próximas a floración, fue considerable, ya que en términos generales, 6-10 Krad son suficientes para causar una letalidad superior a la media (DL_{50}). Estos resultados sobre radiosensibilidad son los mismos que los establecidos por Sánchez-Monge 1974, La Cadena (8), Ruíz (15).

La irradiación directa de tubérculos permitió detectar diferencias en cuanto al efecto de la irradiación gamma en variables agronómicas, donde las distintas variedades involucradas no respondieron de igual manera en cuanto a una misma variable, aún en casos en que la dosis fue igual ó dosis muy cercanas. Este mismo procedimiento permitió la obtención de mutantes relacionados con cambios en la pigmentación del tubérculo; desafortunadamente no fue posible mantener mutantes estables (no quiméricos) para este carácter.

La diferente respuesta mencionada en el párrafo anterior, indudablemente es consecuencia de la heterogenidad genética entre las variedades involucradas. La obtención de mutantes no quiméricos, sólo es posible a través de la línea germinal (a través de los gametos), o bien, derivando mutantes a partir de una sola célula; este último aspecto ha sido considerado ampliamente por Roest y Bokalmann (13, 14), Van Harten *et al* (23), Espinoza *et al* (4).

La variabilidad genética obtenida a través de cruzamientos entre individuos provenientes de tubérculos irradiados, permitió la selección de 12 clones, cuyo comportamiento agronómico es superior al material original. Tal situación resulta de la acción combinada entre la variabilidad genética derivada de los mecanismos (segregación, asociación independiente, crossing over) de reproducción sexual y aquella variabilidad genética derivada de los cambios en el material hereditario producidos por la irradiación gamma, Hernández y Sosa (6).

Los sistemas de autoincompatibilidad (gametofítico y esporofítico) son comunes en dihaploides de *Solanum tuberosum* L., Sosa y Hernández 1972. El rompimiento de dichos sistemas mediante el uso de mutágenos físicos ha sido posible en otros cultivos, Lewis (9, 10, 11). En el caso de la papa, dicho rompimiento permitiría aprovechar al máximo las ventajas del mejoramiento al nivel diploide, aspecto que nos permite recomendar el empleo en dichas actividades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arzate, N. Ma V. 1984. Obtención de semilla híbrida de papa (*Solanum tuberosum* L.) a partir de progenitores con dos generaciones de autofecundación. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. México.
2. Bathia, C. R. 1984. Genetic manipulation of crop plants. Nuclear India. 22 (11 and 12): 6-11.
3. Chase, S. S. 1963. Analytical breeding in *Solanum tuberosum* L. A scheme utilizing parthenotes and other diploid stocks. Can. J. Genet. 5: 359.

4. Espinoza, N.; Estrada, R.; Tovar, P.; Bryan, J.; Dodds, J. H. 1984. Tissue culture micropropagation, conservation and export of potato germplasm. Specialized Technology Document 1. International Póvalo Center (CIP), Lima-Perú.
5. Flores, C. R. 1969. Taxonomía, distribución y potencial de los *Solanum* luberíferos silvestres en México. Folleto Misceláneo N° 20 INIA. SAG. México 33 p.
6. Hernández, A. M.; Sosa Ch. R. 1987. Obtención de variedades mejoradas de papa (*Solanum tuberosum* L.) mediante el uso de radiaciones ionizantes. Informe AI-87-11. Gerencia de Aplicaciones Industriales. División de Técnicas Nucleares. ININ. México.
7. Heiser, Ch. B. 1969. Nightshades. The paradoxical plants W. H. Freeman and Company.
8. La Cadena, J. R. 1970. Genética vegetal. Fundamentos de su aplicación. AGESA. Madrid, España.
9. Lewis, D. 1948. Structure of the incompatibility gene. I. Spontaneous mutation rate. Heredity 2: 219-236.
10. Lewis, D. 1949 b. Structure of the incompatibility gene. II. Induced mutation rate. Heredity 3:339-355.
11. Lewis, D. 1951. Structure of the incompatibility gene. III. Types of spontaneous and induced mutation. Heredity 5:399-414.
12. Micke, A.; Maluszynski M.; Donini, B. 1985. Plant cultivars derived from mutation induction of the use of induced mutants in cross breeding. Mutation Breeding Review N° 3. FAO/OIEA.
13. Roest, S.; Bokelmann, G. S. 1976. Vegetative propagation of *Solanum tuberosum* L. *in vitro*. Potato Res. 19: 173-178.
14. Roest, S.; Bokelmann, G. S. 1980. *In vitro* adventitious bud techniques for vegetative propagation and mutation breeding of potato (*Solanum tuberosum* L.). I. Vegetative propagation *in vitro* through adventitious shoot formation. Potato Res. 23: 167-181.
15. Ruíz, A. R. Ma. 1982. Efecto de radiaciones ionizantes (⁶⁰Co) en cuatro poblaciones de *Solanum tuberosum* L. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. México.
16. Rowe, R. P. 1969. Nature, distribution and use of diversity in the tuber-bearing of *Solanum* species. Econ. Bol. 23: 303-338.
17. Sánchez-Monge, E. 1974. Fitogenética. Mejora de plantas. INIA. Madrid, España.
18. Sosa-Chávez, R.; Hernández de S. M. 1971. Use of dihaploids in the breeding of *Solanum tuberosum* L. I. Cytological considerations. Hereditas 69:83-100.
19. Sosa-Chávez, R. 1972. Use of dihaploids in the breeding of *Solanum tuberosum* L. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy. University of Lund. SWEDEN.
20. Sosa-Chávez, R.; Hernández de S. M. 1972. Use of dihaploids in the breeding of *Solanum tuberosum* L. II. Crossability behavior. Hereditas (70):135-152.
21. Sosa, Ch. R.; Hernández, A. M. 1986. Mejoramiento genético de la papa común. *Solanum tuberosum* L. Cuadernos de Investigación. UAEM. México.

22. Thujillo, F. R. 1973. Las mutaciones en las plantas cultivadas. I Simposio Mexicano sobre mutaciones. Rama de Genética. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
23. Van Harten, A, M. Bouter H.; Broertjes. 1981. *In vitro* adventitious bud techniques for vegetative propagation and mutation breeding of potato (*Solanum tuberosum* L.) II. Significance for mutation breeding. *Euphytica* 30: 1-8.
24. Wenzel, G.; Bapat, V. A.; Uhring, H. 1984. New strategy to tackle breeding problems of potato. *Basic Life Science* 22: 317-319.