

## UTILIZACION DE ESPECIES SILVESTRES DIPLOIDES CULTIVADAS DE PAPA A FIN DE TRANSFERIR RESISTENCIA A LAS HELADAS A LA PAPA COMUN CULTIVADA (*SOLANUM TUBEROSUM* L.).

Nelsón Estrada Ramos \*

### RESUMEN

Las heladas constituyen un factor limitante importante para la producción de papa en las altiplanicies y cordilleras andinas de Suramérica. Por su efecto, se pierde cerca de 20% de la producción. Se ha informado de unas 30 especies silvestres de papa que poseen alta resistencia a las heladas. La utilización de especies de papa silvestres muy valiosas y con resistencia a las heladas es más eficiente y factible, si se cruzan inicialmente con clones de la especie diploide cultivada *Solanum phureja* Juz. et Buk.

Los híbridos  $F_1$  pueden resultar diploides, triploides o tetraploides, los cuales en su mayoría se pueden cruzar nuevamente con clones o cultivares tetraploides de *S. tuberosum* L. Mediante este método se pueden transferir rápida y fácilmente la mayoría de genes que controlan la resistencia a las heladas e incorporarlos en la papa comunmente cultivada *S. tuberosum* L.

### INTRODUCCION

Las heladas son un importante factor limitante en la producción de papa en los países de Suramérica del área Andina, que incluyen el norte de Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y el oeste de Venezuela. Heladas de  $-5^{\circ}\text{C}$  o menos son más llamativas y espectaculares, porque generalmente destruyen y queman todas las plantas, pero no ocurren muy frecuentemente. Por otra parte, heladas de  $-2^{\circ}\text{C}$  a  $-4^{\circ}\text{C}$  aparentemente causan menor daño físico, pero inducen cambios fisiológicos y metabólicos muy importantes en las plantas y, ya que estas son más frecuentes, se consideran un verdadero factor limitante en la producción de papa en los Andes. Se estima que, en 200.000 hectáreas de estos países, los daños por las heladas cada año al principio, en la mitad o al final de la cosecha, causan una reducción del 20% de la producción, lo que es equivalente a una pérdida a US \$50.000.000 por año.

Solamente las especies nativas y adaptadas de papas silvestres pueden sobrevivir heladas y sequías que son prevalentes en estas alturas de los Andes, ya que ellas han desarrollado, a

---

\* Genetista, Programa de Papa, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).  
Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.  
Consultor, Centro Internacional de Papa, CIP, Lima, Perú.

través de su evolución y selección, caracteres morfológicos y fisiológicos que las protegen y que están controlados por un grupo de genes.

Cerca de 25 especies silvestres de papa reportadas por Ross y Rowe (1965) y Li (1977) como resistentes a las heladas, constituyen un recurso genético que debería ser explotado, utilizado en cruzamientos, probado y seleccionado. Para complementar esta fuente potencial, el Centro Internacional de Papa (CIP) en Perú y los programas nacionales de los países andinos, mantienen invaluables y extensas colecciones de entradas de especies primitivas, cultivadas de **Solanum phureja** Juz et Buk. y de **Solanum andigena** Juz et Buk, las cuales tienen excelente fertilidad femenina y masculina y son muy cruzables con especies silvestres.

El mejoramiento de la papa a nivel diploide implica un tipo de herencia simple, disómica para los diversos caracteres y la presión de selección en estas circunstancias es más eficiente que a niveles altos de ploidía, Chase (1963), Peloquin et al (1966), Hougas y Peloquin (1960). Además, Mok y Peloquin (1975) y Mendiburu y Peloquin (1977) demostraron que es mucho más ventajoso el método de multiploidización para obtener prole tetraploide vigorosa, por la vía de gametos  $2n$  formados por la primera división de restitución (FDR) en clones diploides. Ellos consideraron que el gran vigor y habilidad de rendimiento de las familias obtenidas de los cruzamientos  $4x-2x$ , era debido a:

- 1) Adición de diversidad genética por los clones de **S. phureja** y
- 2) Gametos  $2n$  formados por restitución en la primera división meiótica (FDR), los cuales transmiten el efecto de epistasis y caracteres sin alterar de los híbridos diploides a las nuevas familias tetraploides. Así no ocurren segregaciones y recombinaciones producidas por meiosis normal en los padres diploides y, por ello, la selección de descendencia con buenas características se facilita. Más aún, si alguno de los híbridos  $F_1$  de silvestre x **phureja** produjeran gametos  $2n$  formados por restitución en la segunda división de la meiosis (SDR) esto sería solamente una ventaja más que suficiente para este tipo de cruzamientos, ya que permitiría una selección temprana y eficiente seguida de poliploidización y transferencia de genes silvestres invaluables a los cultivares tetraploides, haciendo posible la combinación de rendimiento, calidad y resistencia por simples retrocruzamientos. El primer paso lógico, es entonces utilizar clones de **S. phureja** en cruzamientos con especies silvestres y hacer una selección inicial de los caracteres más básicos a niveles bajos de ploidía ( $2x$ ).

El segundo paso sería usar los híbridos  $F_1$  que producen gametos  $2n$  como padre masculino en cruzamiento con clones avanzados y cultivares tetraploides.

Esta investigación informa sobre las ventajas de usar especies silvestres de papa resistentes a heladas en cruzamientos con clones de **S. phureja** de Suramérica para obtener híbridos  $F_1$  fértiles y resistentes, los cuales fueron retrocruzados con clones tetraploides o cultivares, mejorando significativamente su tolerancia a las heladas.

## REVISION DE LITERATURA

### a) Potencial existente en especies tuberíferas de *Solanum* para utilizar en resistencia a heladas.

Muchos autores han descrito la alta tolerancia a las heladas de casi 30 especies de **Solanum** tuberíferas, las cuales son capaces de sobrevivir hasta  $-6C^{\circ}$   $-7C^{\circ}$ . Esta resistencia es transmitida a los correspondientes híbridos obtenidos por cruzamientos con las especies cultivadas, Ross y Rowe (1969a), Estrada (1978,1980, 1982,1984), Li (1977), Richardson y Estrada (1971).

## **b) Características encontradas en especies silvestres y primitivas relacionadas con la resistencia a heladas.**

Dos tipos básicos de caracteres aparentemente se relacionan con la resistencia a heladas.

**Morfológicas.** Ellas incluyen dos o más capas de tejido de empalizada en el parénquima de la epidermis, tamaño menor de las células, paredes celulares más gruesas, índice mayor de estomas, hábitos arrosados de planta, Palta y Li (1978), Estrada (1982), e integridad de la membrana plasmática bajo la presión de congelación Li et al (1981).

**Fisio-Químicas.** Estas características incluyen contenido de lípidos celulares, capacidad de transformación almidón-azúcar, capacidad mayor para formación extracelular de hielo, presencia de pigmentos, habilidad para resistir al congelamiento celular producido por la deshidratación y para mantener la integridad química bajo la presión de la helada, Chen et al (1976), Li et al (1981), Li y Palta (1978), Mendoza y Estrada (1979), Sukumaran y Weiser (1971).

Ciertos aminoácidos, tales como la prolina, que se encuentra en las hojas de la papa, ha sido claramente correlacionada con resistencia a heladas de algunos clones, según los Drs. A.C. Swaaij y E. Jacobsen de la Universidad de Groningen, Holanda (comunicación personal).

## **c) Posibilidad de obtener cultivares tolerantes a las heladas.**

Según CIP (1974), Ross y Rowe (1965, 1969a, 1969b), Estrada (1978, 1980, 1982, 1984), Li (1977) y otros autores, las especies de papa y los clones con alta resistencia a las heladas han sido identificados y pueden ser cruzados exitosamente para obtener clones avanzados y una productividad mayor. Además, se ha indicado que, en la mayoría de los casos, los daños por heladas, especialmente en los trópicos, son causados por pasarse los específicos límites de susceptibilidad en solamente unos pocos grados centígrados, CIP (1974), Larcher (1981). Estos hechos llevan a la conclusión de que los cultivares resistentes a heladas se pueden obtener si se hace una constante y adecuada investigación.

## **d) Importancia de los pre-cruzamientos a nivel diploide ( $2n = 24$ ).**

Se ha reconocido que la mayoría de las especies silvestres de papa, incluyendo las resistentes a heladas, son diploides, Hawkes (1963), Ross y Rowe (1965, 1969a, 1969b), Estrada (1978, 1980, 1982). Además, es bien conocido que la herencia disómica, facilita más la transmisión y selección de caracteres genéticos. Estas circunstancias muestran la ventaja de hacer los cruzamientos a nivel diploide.

Finalmente, usando gametos  $2n$  de especies híbridas  $F_1$  o  $F_2$  en los cruzamientos a clones avanzados tetraploides ( $2n=48$ ), resulta posible transmitir rápida y eficientemente, los caracteres deseados a las papas comunes cultivadas, Mendiburu y Peloquin (1976), Peloquin y Mendiburu (1972), Estrada (1982, 1985).

## **MATERIALES Y METODOS**

Esta investigación fue llevada a cabo en los invernaderos, laboratorios y campos del Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas "Tibaltatá" y en el Centro Regional de Investigaciones Agrícolas "San Jorge" del Instituto Colombiano Agropecuario. Ellos están localizados cerca de Bogotá a 2.600 mts y 3000 mts sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio anual de  $14^{\circ}\text{C}$  y  $10^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

La mayor parte de las especies silvestres y sus clones variantes se obtuvieron de la Estación Experimental de Papa en Sturgeon Bay, Wisconsin, USA, del proyecto USDA IR-1. La lista de estas introducciones se puede ver en la Tabla 1. Ella incluye 15 especies, 35 clones y 330 líneas (Fig. 1). Además, fueron usadas cerca de 40 cultivares diploides de *S. phureja* y varias tetraploides de *S. tuberosum* y *S. andigena*, pertenecientes a la Colección Central Colombiana de Papa, para obtener híbridos F<sub>1</sub> o BC<sub>1</sub>, (Figs. 2 y 3). También, en diversos cruzamientos se emplearon el triploide (2n 36) *Solanum chaucha*, cultivar Huayro, y clones resistentes a heladas de la especie híbrido-génica diploide, *S. ajanhuiri* (2n 24).

Las tablas II y III muestran una lista detallada de los cruzamientos hechos y de las semillas y plántulas obtenidas en 1984 y 1985. El trabajo de cruzamiento y pruebas a resistencia se comenzó en 1981 y continuó en 1982, 1983, 1984 y 1985.

**Ciclo 1984-85.** En agosto 31, 1984, se sembraron en el invernadero, 48 familias con 11.885 semillas como se indica en la Tabla II. En noviembre 6, 1984, se transplantaron 6,505 plántulas para exponerlas a bajas temperaturas que debían ocurrir normalmente en el campo, en enero y febrero. Además, en la misma fecha, agosto 31, 1984 se sembraron tubérculos de 216 clones seleccionados de las pruebas 1983-84. Datos sobre temperaturas y pluviosidad durante estas épocas se dan en la Tabla IV.

**Ciclo 1985-86** En agosto 29, 1985, se sembraron 80 familias que incluían 14.000 semillas. Se incluyeron otras 44 familias de híbridos avanzados de años anteriores y 36 nuevas familias obtenidas de cruzamientos interespecíficos con especies silvestres. La lista de estas 36 familias se indica en la Tabla III.

**TABLA I.**  
**ESPECIES SILVESTRES DE PAPA CON RESISTENCIA A HELADAS EMPLEADAS EN CRUZAMIENTOS CON CLONES DE SOLANUM PHUREJA.**

Especies	cromosomas, 2n	número de entradas
<i>S. acaule</i>	48	6
<i>S. boliviense</i>	24	4
<i>S. brevicaule</i>	24	1
<i>S. brevidens</i>	24	1
<i>S. canasense</i>	24	2
<i>S. chacoense</i>	24	2
<i>S. colombianum</i>	48	1
<i>S. commersonii</i>	24	1
<i>S. megistacrolobum</i>	24	3
<i>S. multidisectum</i>	24	3
<i>S. sanctae rosae</i>	24	3
<i>S. sogarandinum</i>	24	2
<i>S. toralapanum</i>	24	3
<i>S. tuquerrense</i>	48	1
<i>S. vernei</i>	24	2
<b>TOTAL: Especies:</b>	<b>15</b>	<b>Entradas: 35</b>



Figura 1. Grupo de especies silvestres en crecimiento para ser cruzadas en el invernadero.



Figura 2. Variabilidad genética en tubérculos de *S. phureja*.

TABLA II

FAMILIAS Y PLANTULAS PROBADAS EN EL CICLO 1985-1986, PARA RESISTENCIA A HELADAS

Familia No.	Progenitores	semillas	plántulas
84-1	S acl x S phu, Mn 82685	250	200
-2	S acl x S phu bulk several clones	600	540
-3	S acl x S phu cv Mambera	400	330
-6	S acl x S phu ccc 10	900	800
-8	S acl x S chacoense	600	520
-9	S tbr x (S acl x S phu)4x	200	60
-10	380073-2 tbr x (S acl x S phu)4x	220	70
-11	378555-2 tbr x (S acl x S phu)4x	200	20
-12	80-636-2 tbr x (S acl x S phu)4x	200	80
-13	378143-2 tbr x (S acl x S phu)4x	40	5
-14	81-29-2 tbr x (S acl x S phu)4x	80	70
-15	82-103-8 tbr x (S acl x S phu)4x	400	310
-16	79-29-1 tbr x S ajh (bulk)	200	45
-17	81-34-19 tbr x S ajh (bulk)	60	50
-19	80-426-1 tbr x (S acl x S phu)4x	100	30
-20	378143-2 tbr x (S acl x S phu)4x	150	95
-21	378548-9 tbr x (S acl x S phu)4x	65	30
-22	80-423-2 tbr x (S acl x S phu)4x	500	300
-23	79-29-19 tbr x 70-136-3 (S tbr y S ajh)	150	5
-24	79-94-3 tbr x 79-136-3 (S tbr x S ajh)	500	350
-25	82-27A-1 S tbr x(S acl x S phu)4x x I-1058 (S tbr)	700	200
-27	82-27A-1 X S tbr x(S acl x phu)4x x 380073-2 (tbr)	200	50
-28	82-27A-1 x tbr x(acl x phu)4x x 79-932-1 (tbr)	500	100
-29	82-27B-5 x tbr x(acl x phu)4x x 380073-2 (tbr)	400	60
-31	82-27B-5 x tbr x (acl x phu)4x x I-1058 (tbr)	400	55
-32	Montserrat x 82-27B-4 tbr x(acl x phu)4x	80	15
-33	82-34B-4 (S tbr x(S acl x S phu)4x x 79-60-2 (S tbr)	400	30
-34	tbr x(acl x phu)4x x 79-932-1 (tbr)	300	60
-35	tbr x(acl x phu)4x x I-1058 (tbr)	50	40
-36	tbr x (acl x phu)4x x 380073-2 (tbr)	400	95
-37	378555-2 (tbr x ajh) x 380073-2 (tbr)	200	5
-38	378555-2 (tbr x ajh) x 79-932-1 (tbr)	100	40
-50	700283 (curtilobum) o.p.	100	15
-51-B	82-27B-5 S tbr(S tbr(S acl x S phu)4x x 82-10-1 (acl x phu)4x	300	150
-52-A	S commersonii x S phu ccc 81	140	100
-52-B	82-34B-4 S tbr x(S acl x S phu)4x o.p.	400	170
-53-B	82-34B-4 S tbr x(S acl x S phu)4x x 82-10-1 (acl x phu)4x	400	220
-55-A	79-932-1 (S tbr) x (acl x phu)4x	100	20
-55-B	377835-3 (S tbr) x 82-10-1 (acl x phu)4x	650	370
-56-A	(acl x phu)4x o.p.	350	300
-60-A	79-94-3x (S tbr) x 82-10-1 (acl x phu)4x	120	100
-65	378555-2 (tbr x ajh) x R-128-6 (tbr)	80	20
-66	379666-5 (tbr) x 82-10-1 (acl x phu)4x	300	115
-67	378555-2 (tbr x ajh) x 82-27A-1 tbr x (acl x phu)4x	80	65
-68	tbr x ajh x 82-27B-4 x (acl x phu)4x	100	20
-71	82-3-8 (tbr x phu) x 82-27B-4 tbr x(acl x phu)4x	60	45
-72	80-614-1 tbr x (ajh x phu) x 82-27A-1 tbr x(acl x phu)4x	50	40
-73	(tbr x ajh) x 82-10-1 (acl x phu)4x	10	5
TOTAL: 48 Familias		11.745	5.725

TABLA III

LISTA DE CRUZAMIENTOS INTERESPECIFICOS EXITOSOS LOGRADOS EN 1981, 82, 83, 84 y 85 UTILIZANDO COMO POLINIZADORES A CLONES DIPLOIDES CULTIVADOS

Familia No.	Progenitores	Semillas
81-204	S acl p.i. 175395.1 x S phu ccc 81	12
82-10	S acl 472660.1 x S phu ccc 10	1000
84-607	S acl 472.660.2 x S phu ccc 81	80
-608	S acl 472663.4 x S phu ccc 81	70
-609	S acl 472663.5 x S phu ccc 81	60
-604	S boliviense p.i. 310975.4 x S phu ccc 81	300
-606	S boliviense 310974.2 x S phu ccc 81	340
-645	S boliviense 380775.2 x S phu ccc 81	50
-611	S chacoense p.i. 414143.8 x S phu ccc 81	200
-640	S chacoense 414143.2 x X brevidens	120
-612	S chacoense 473404.2 x S phu, Ratona	80
-648	S colombianum L.L. 800026 x S phu Ratona	40
-625	S megistracrolobum p.i. 473119.10 x S phu Ratona ccc 81	120
-616	S sanctae rosae p.i. 218221.5 x C brevidens	300
-618	S sanctae rosae 218221.4 x S phu ccc 81	100
-619	S sogarandinum p.i. 230510 x S phu ccc 81	300
-620	S sogarandinum p.i. 230510.4 x S phu Ratona	150
-623	S toralapanum p.i. 458397.3 x S phu Ratona	50
-624	S toralapanum p.i. 458397.3 x S phu ccc 81	30
-627	S vernei p.i. 320338.4 x S phu ccc 81	200
-628	S vernei 458373.2 S brevidens	50
-641	S sanctae rosae 218221.5 x S phu ccc 81	70
85-70	S acl p.i. 472641.3 x S phu	120
-68	S boliviense 310975.4 X S phu	600
-72	S boliviense p.i. 310974.2 x S phu Ratona	90
-73	S boliviense 310975.1 x S phu ccc 81	120
-69	S chacoense p.i. 473404.3 x S phu ccc 81	100
-65	S chacoense 472816.1 x S phu ccc 81	300
-62	S megistracrolobum p.i. 473119.1 x S phu ccc 81	300
-62 b	S megistracrolobum 435072.1 x S phu bulk 30 clones	20
-75	S sanctae rosae p.i. 218221.3 x S phu bulk 30 clones	300
-74	S toralapanum p.i. 458397.4 x S phu Ratona	60
-385	S brevicaule 310930.4 x S phu bulk 30 clones bulk	30
-386	S bukasovii p.i. 230506.4 x S phu bulk 30 clones	2300
-387	S canasense p.i. 230511.4 x S chaucha Huayro and S phu clones	
-388	S canasense 246533.1 x S phu ccc 81	120
TOTAL: 36 Familias		Semillas 9,990

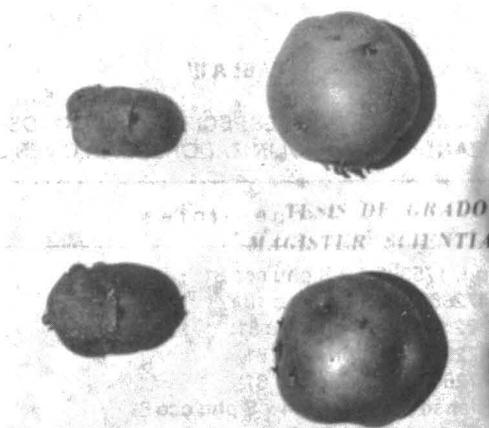


Figura 3. Tubérculos de dos clones de *S. phureja* empleados en cruzamientos con especies silvestres.

**TABLA IV**

**TEMPERATURAS DE CONGELACION Y LLUVIAS QUE SE REGISTRARON DURANTE  
LOS CICLOS DE SIEMBRA 1984 - 1985 y 1985 - 1986**

año	mes	día	temperatura °	Duración hora-minuto	Lluvias mm	Total lluvias
1984	Nov.				147.0	
	Dec.				29.0	
1985	Ene.	29	-4.0	1h-0m	1.5	
	Feb.	1	-4.0	0h-15m		
	Feb.	3	-5.0	1h-10m		
	Feb.	4	-8.0	2h-15m		
	Feb.	5	-8.5	2h-30m		
	Feb.	6	-5.5	1h-0m		
	Feb.	12	-3.0	0h-30m		
	Feb.	14	-4.0	1h-10m		
	Feb.	19	-4.5	0h-50m		
	Feb.	22	-5.0	0h-40m		
	mar.				5.0	182.5
1985	Nov.				64.0	
1985	Dec.	15	-4.0	2h-10m		
		16	-4.5	2h-20m		
		17	-4.0	3h-10m		
		18	-8.0	2h-30m		
		19	-7.5	4h-15m		
		20	-4.0	1h-0m		
		30	-4.5	1h-10m	19.0	
1986	Ene.	13	-4.0	0h-50m	6.0	
	Feb.	8	-3.5	0h-40m	79.0	
	Mar.				12.0	180.0

En noviembre 9, 1985, se trasplantaron al campo, cerca de 10.000 plántulas obtenidas de las 80 familias para el mismo propósito de evaluar su resistencia a las bajas temperaturas esperadas para los siguientes meses a la época de siembra. Además, se sembraron 253 híbridos seleccionados en pruebas de años anteriores. La Tabla IV indica las fechas y la duración de temperaturas bajo 0°C y la pluviosidad total registrada en estos períodos.

Además de las bajísimas temperaturas indicadas en la Tabla IV, fueron frecuentes temperaturas de -2C o -3C, que produjeron su efecto en las plantas.

Un resumen general del número de familias, semillas y plántulas y de los clones seleccionados en 1982, 1983, 1984 y 1985 se da en la Tabla V.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla V muestra un resumen de los resultados del trabajo de cruzamiento y pruebas durante 1982, 1983, 1984 y 1985, después de utilizar varias especies de papa resistentes a heladas en cruzamientos con especies cultivadas de papa (Figs. 4,5,6,7,8 y 9).

**TABLA V**

**RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE PRUEBAS EN HIBRIDOS INTERESPECIFICOS  
EN LOS AÑOS 1982, 83, 84 Y 1985**

Especies Silvestres empleadas como padres	familias	semillas	plántulas	Clones Resistentes seleccionados	Año de prueba
<i>S. caule</i>	26	3300	2150	68	1982
<i>S. caule</i>	15	4240	1030	20	1983
<i>S. ajanhuiri</i>	8	2500	1230	10	1983
Total	23	6740	2260	30	
<i>S. caule</i>	11	10445	6555	31	1984
<i>S. ajanhuiri</i>	6	1300	550	9	1984
<i>S. commersonii</i>	1	140	100	1	1984
Total	18	11885	7205	41	
<i>S. caule</i>	30	5400	3310	10	1985
<i>S. ajanhuiri</i>	21	3700	2900	10	1985
<i>S. boliviense</i>	5	1350	400	6	1985
<i>S. sanctae rosae</i>	2	600	50	2	1985
<i>S. chacoense</i>	5	800	200	1	1985
Total	63	11850	6860	29	
Gran Total:	130	33775	18475	158	



Figura 4. Híbridos F1 de *S. boliviense* x *S. phureja* (izquierda) y de *S. acaule* x *S. phureja* (derecha).



Figura 5. Híbridos F1 de *S. sanctae rosa* x *S. phureja* (izquierda) y de *S. chacoense* x *S. brevidens* (derecha).



Figura 6. Híbridos F1 de *S. verneix* x *S. phureja* (izquierda) y de *S. toralapanum* x *S. phureja* (derecha).

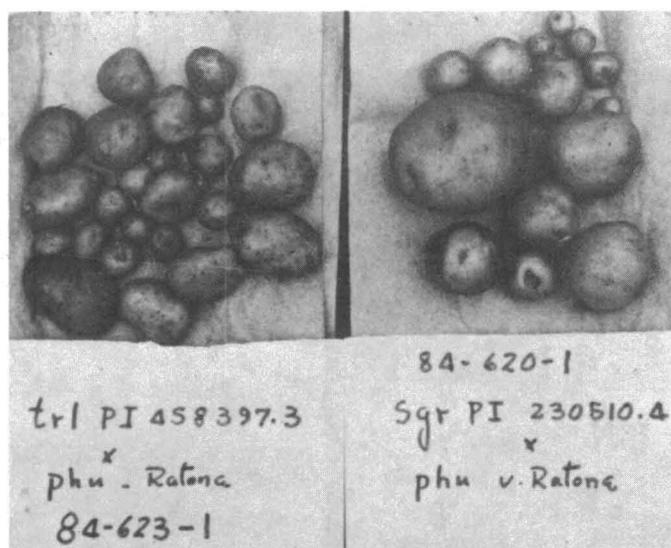


Figura 7. Tubérculos de *Storalpanum* x *Sphureja* y *S. sogarandinum* x *S. phureja*

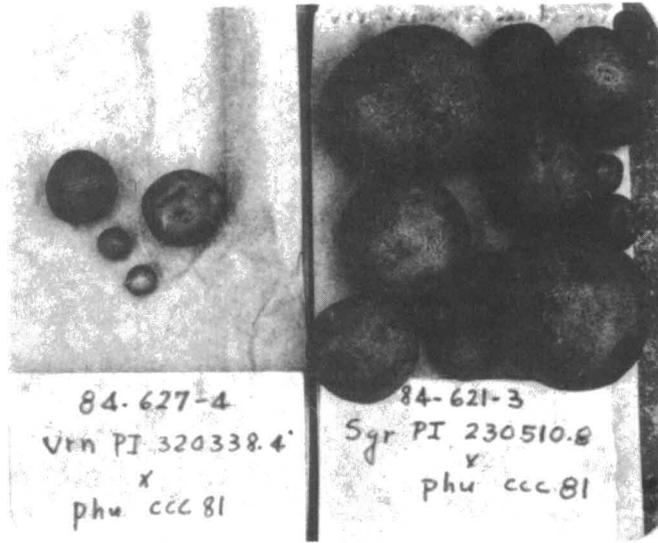


Figura 8. Tubérculos de *S. verneix* x *S. phureja* (izquierda) y de *S. sogarandinum* x *S. phureja* (Derecha).

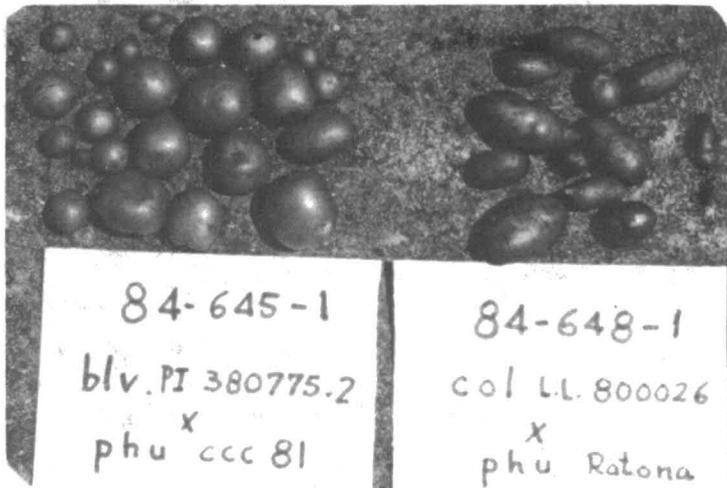


Figura 9. Tubérculos de *S. boliviense* x *S. phureja* (izquierda) y de *S. colombianum* x *S. phureja* (derecha).

La Tabla VI muestra la lista y los progenitores de 40 híbridos que se probaron y seleccionaron durante 1984-1985. La información de esta tabla indica que, en muchos de los híbridos de la primera generación F<sub>1</sub> y en la generación más avanzada de híbridos (BC<sub>1</sub>), la resistencia a altas heladas es evidente, ya que el daño foliar después de 10 heladas fuertes fue mucho menor que en el testigo o control utilizado de cultivares comunes. La selección de híbridos se basó no solamente en su resistencia a las heladas sino considerando otras importantes características, tales como rendimiento, tamaño de tubérculo, forma y color, así como por el aspecto sano general de la planta. Obviamente, el propósito de esta investigación era obtener nuevos cultivares o clones competitivos, con la ventaja adicional de la resistencia a heladas para entregarlos a los agricultores (Figs. 10, 11).

La Tabla VII indica los datos de la evaluación de resistencia a las heladas de los 14 mejores clones híbridos seleccionados entre 48 probados en el ciclo 1984-85, según se enumeraron en la Tabla II. Se pudo seleccionar un alto grado de resistencia (-5°C y -6°C), en algunas familias escogiendo en total 112 clones para emplear en pruebas y en cruzamientos posteriores. La Figura 12 ilustra claramente la segregación por resistencia a heladas en varias familias. La Tabla VIII muestra la lista de los 35 clones más resistentes probados durante el ciclo 1985-86 y sus progenitores.

**TABLA VI**

**LECTURA DE RESISTENCIA EN LOS MEJORES 40 CLONES DE UN TOTAL DE 216  
PROBADOS DURANTE EL CICLO DE SIEMBRA 1984-85. OCURRIERON POR LO MENOS  
10 HELADAS A -4°C O MENOS DURANTE EL CICLO**

Clon No.	Progenitores	Daño foliar %
374080-1	S tbr (India) x S adg (Perú)	50
378439-1	Montserrat x adg x (boliviense x phu)	60
379105-1	(tbr (México) x adg) x (ajh x phu)	50
379105-5	(tbr (México) x adg) x (ajh x phu)	60
79-136-1	S ajh x S phu (4x)	40
79-918-1	Montserrat x S tbr (India)	50
80-614-1	(S tbr x S adg) x (ajh x phu)	50
82-3-1	Atzimba (México) x phu (ccc 81)	50
82-3-5	Atzimba (México) x phu (ccc 81)	50
82-13-5	Atzimba (México) x S chacoense	50
82-27b-5	(S adg (Bolivia) x S chaucha) x (acl x phu)	50
82-34b-4	Greta (Mex) x (Montserrat x S tbr x (S acl x phu)4x	20
-9	Greta (Mex) x (Montserrat x S tbr x (S acl x phu)4x	20
-11	Greta (Mex) x (Montserrat x S tbr x (S acl x phu)4x	40
82-35-3	(Atzimba x bulk tbr) x (acl x phu)4x	30
82-39-1	San Jorge (tbr x adg) x (acl x phu)4x	50
82-49-1	Tequendama (tbr x adg) x (acl x phu)4x	50
82-58-3	S curtillobum x S adg x S adg Tuquerrena	50
83-1-1	(S tbr x S adg) x S phu	50
83-4-1	(S tbr x S adg) x S phu	50
83-12-1	(S tbr x S adg) x S phu	70
83-23-1	(S tbr x S adg) x S phu	80
83-68-1	(S adg x S tbr) x S Juzepczukil	70

Continuación Tabla VI.

Clon No.	Progenitores	Daño Foliar %
83-72-2	(Monserate x S tbr) x (acl x phu)4x	60
83-81-2	S adg (Bolivia) x GPVY-1 (adg)	50
-82-1	(S tbr x S adg) s 6PVY-1 (andigena)	50
-86-1	Capiro x 6 PVY-1 (andigena)	50
-86-2	Capiro x 6 PVY-1 (andigena)	50
-88-9	Monserate x tbr (India) x S juzepczukii	50
-96-1	S adg x S adg) x S tbr x (acl x phu)4x	40
-96-2	S adg) x S tbr x (acl x phu)4x	50
-96-3	S adg x S adg) x S tbr x (acl x phu)4x	40
133-1	(S adg x S tbr) x S chaucha bulk	70
-137-1	Monserate x S tbr (India)	60
-139-4	S tbr (India) x S adg (Perú)	40
-139-5	S tbr (India) x S adg (Perú)	40
-140-1	S tbr (India) x S adg (Perú)	50
-141-1	(Guantiva x S tbr) x S phu bulk	50
-141-2	(Guantiva x s tbr) x S phu bulk	50
-142-1	(Guantiva x S tbr) x S phu bulk	60
Nicola	S tbr (Netherlands)	90
Atzimba	S tbr (México)	80
Pastusa	S adg x S adg (Colombia)	90
Monserate	S tbr x S adg (Colombia)	70
S curtlobum (check) CIP 700283		60

**TABLA VII**

REACCION A HELADAS DE 14 FAMILIAS DE PLANTULAS SELECCIONADAS ENTRE 48 PROBADAS DURANTE EL CICLO 1984-85. OCURRIERON POR LO MENOS 10 HELADAS A -4°C DURANTE ESTA PRUEBA

Familia No.	Progenitores	Daño Foliar %	Clones seleccionados
84-2	S acl x S phu	10	11
-3	S acl x S phu	50	26
-6	S acl x S phu	20	8
-8	S acl x S chacoense	20	1
-14	(Purace x S phu ccc 81) x (acl x phu)4x	50	1
-15	(Greta (Mex) x (cc4 69-1) x (acl x phu)4x	20	3
-35	Greta (Mex) x (Monserate x S tbr) x (acl x phu)4x x tbr	80	1
-50	S curtlobum o.p.	30	2
-51-b	(S adg x S chaucha) x (acl x phu) x (acl x phu)4x	10	8
-53-b	(Greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu) X acl x phu 4x	10	31
-55-b	(BR-63-65 x Atlantic) x (acl x phu)4x	30	3
-56-b	(Atzimba x S phu ccc 81) x (tbr x adg)	70	8
-63	Atzimba x (adg x tbr) x chacoense	70	15
-73	(tbr x adg) x (ajh x phu) x (acl x phu)4x	70	23
Total de clones seleccionados:			122

17 NOV. 1987



Figura 10. Producción (0.3 kg/pl) del cultivar Chitagá (testigo) con solo ligera resistencia a heladas, durante el ciclo de prueba 1984-85.



Figura 11. Producción (1.0 kg/pl) del híbrido 82-35-3, con muy buena tolerancia a heladas, buena producción y calidad, obtenida por la hibridación de *S. tuberosum* x (*S. acaule* x *S. phureja*) durante el ciclo de prueba 1984-85 (heladas de  $-5^{\circ}\text{C}$  por 2 horas).

**TABLA VIII**

**CLONES RESISTENTES A HELADAS SELECCIONADOS DURANTE EL CICLO DE SIEMBRA 1985-86. OCURRIERON NUEVE HELADAS MUY FUERTES (DOS DE ELLAS A -7°C por MAS DE 2 HORAS) DURANTE LA PRUEBA**

Clon No.	Progenitores
84-3-9	Acl x phu (4x) ccc 10
-22	acl x phu (4x) ccc 10
-25	acl x phu (4x) ccc 10
84-12-6	(S tbr x phu)4x x (acl x phu)4x
84-24-5	(Monserate x S tbr (India) x (ajh x phu)
84-28-1	(S adg x S chaucha) x (acl x phu)4x x (tbr x adg)
-3	(S adg x S chaucha) x (acl x phu)4x x (tbr x adg)
-5	(S adg x S chaucha) x (acl x phu)4x x (tbr x adg)
84-31-3	(S adg x S chaucha) x (acl x phu)4x x S tbr (India)
84-34-2	Greta x (Monserate x S tbr) x (acl x phu) 4x) x (tbr x adg)
-7	Greta x (Monserate x S tbr) x (acl x phu) 4x) x (tbr x adg)
84-48-1	tbr 65-ZA-5 x (tbr x adg)
-4	tbr 65-ZA-5 x (tbr x adg)
-7	tbr 65-ZA-5 x (tbr x adg)
84-50-1	S curtlobum self
-2	S curtlobum self
84-51b-1	(S adg x S chaucha) 4x x(acl x phu) 4x x (acl x phu 4x)
-2	(S adg x S chaucha) 4x x(acl x phu) 4x x (acl x phu 4x)
-14	(S adg x S chaucha) 4x x(acl x phu) 4x x (acl x phu 4x)
84-53b-5	greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu) 4x x (acl x phu) 4x
-11	Greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu) 4x
-11	Greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu) 4x x (acl x phu) 4x
84-53b-12	Greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu) 4x x (acl x phu) 4x
-16	Greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu) 4x x (acl x phu) 4x
-18	Greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu) 4x x (acl x phu) 4x
-20	Greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu)4x self
-26	Greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu) 4x x (acl x phu) 4x
84-54b-1	(Monserate x tbr) x (acl x phu) 4x self
-2	Greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu) 4x self
-3	Greta x (Monserate x tbr) x (acl x phu) 4x self
84-55b-2	CIP 377835-3 x (acl x phu) 4x
-3	CIP 377835-3 x (acl x phu) 4x
84-56b-2	(Atzimba x S phu) 4x x (tbr x adg)
-5	(Atzimba x S phu)4x x (tbr x adg)
84-59b-1	(S tbr x S adg) x S chaucha

La Tabla IX, hace la comparación del rendimiento de 6 clones avanzados y seleccionados en contraste con dos cultivares conocidos y que fueron sembrados en la misma fecha para la prueba del ciclo 1985-86. Sin embargo, estos clones no sufrieron tan bajas temperaturas como los de la Tabla VIII (solo -4° -5°C), porque fueron sembrados un mes posterior y así escaparon heladas muy severas de -7°C (Figs. 13 y 14).



Figura 12. Segregación para resistencia a heladas de la familia 84-3, durante el ciclo de prueba 1984-85 (heladas de  $-5^{\circ}\text{C}$  por 2 horas).



Figura 13. Surco central: Híbrido 84-34b-11 (*tuberosum* x *acaulex phureja*)4x, el cual produjo 0.8 kgs/pl, durante el ciclo 1985-86 (heladas de  $-6^{\circ}\text{C}$ ).

Los primeros resultados prácticos del objetivo buscado están ya a la mano y los futuros resultados que vendrán de ampliar la base genética de las papas cultivadas mediante la inclusión de valiosas especies silvestres son muy premisoros. La cruzabilidad de estas especies resultó posible, la fertilidad de los híbridos  $F_1$  es muy buena y, en consecuencia, las posibilidades de cruzarlos y obtener ya híbridos avanzados con los materiales cultivados tetraploides. Ello está indicado en la Tabla X. Como se dijo en la introducción, se ha logrado la transferencia de la resistencia a heladas en los primeros híbridos, la poliploidización de los mismos con el empleo de gametos  $2n$  y, finalmente, la incorporación de los caracteres buscados en híbridos avanzados cuyo logro ya se tiene a la vista. Las Figs. 15 y 16 muestran el crecimiento y resistencia a heladas de dos de los híbridos obtenidos en  $F_2$ .

**TABLA IX**

PRODUCCION POR PLANTA DE 6 CLONES SELECCIONADOS Y COMPARADOS CON DOS CULTIVARES CONOCIDAS DURANTE EL CICLO DE LA SIEMBRA 1985-86

Clon No.	Progenitores	Kgs/pl
82-34b-4	Greta x (Monserrate x S tbr) x acl x phu 4x	.500
-34b-11		.700
-39-1	(S tbr x S adg) x (acl x phu) 4x	.900
-82-2	CIP 378189-3 x (Monserrate x S tbr)	.400
83-72-2	(Monserrate x S tbr) x (acl x phu) 4x	.400
79-933-10	S tbr (India) x S adg	.400
Monserrate	(S tbr x S adg)	.300
Pastusa	S andigena x S andigena	.200

**TABLA X**

HIBRIDOS INTERESPECIFICOS VALIOSOS LOGRADOS, SU VIABILIDAD DE PODEN Y CRUZABILIDAD CON PAPAS COMUNES CULTIVADAS TETRAPLOIDES (4x)

Clon	Progenitores	*tinción de polen %	compatibilidad del cruzamiento 4x
81-204-3	<i>S acaule</i> x <i>S phureja</i>	60	Si
84-611-1	<i>S chacoense</i> x <i>S phureja</i>	40	Si
84-618-1	<i>S sanctae rosae</i> x <i>S phureja</i>	60	Si
84-604-1	<i>S bolivense</i> x <i>S phureja</i>	90	Si
84-621-3	<i>S sogarandinum</i> x <i>S phureja</i>	60	Si
84-623-1	<i>S toralapanum</i> x <i>S phureja</i>	50	Si
84-627-4	<i>S vernei</i> x <i>S phureja</i>	70	Si
84-75-1	<i>S stoloniferum</i> x <i>S brevidens</i>	70	Si
84-616-4	<i>S sanctae rosae</i> x <i>S brevidens</i>	60	Si

\* La capacidad de tefirse los granos de polen es una indicación de su viabilidad.



Figura 14. Tubérculos de una planta del híbrido 84-34b-11 cosechada a los 3 meses en el ciclo 1985-86. Los tubérculos son de muy buen tamaño, forma y calidad.



Figura 15. Uno de los clones seleccionados (84-53b-16) en el ciclo 1985-86 y que mostró una supervivencia excelente a las heladas.



Figura 16. Otro híbrido (84-28-6) que mostró muy buena resistencia a las heladas del ciclo 1985-86.

En conclusión, se puede decir que la mayoría de las papas silvestres diploides y tetraploides son cruzables con los clones diploides de *Solanum phureja* cultivados en los Andes de Suramérica. Los híbridos resultantes pueden tener los siguientes niveles de ploidía, Estrada (1985):

- a) diploides,  $2n = 24$  (resultado de silvestre diploide x cultivada diploide).
- b) triploide,  $2n = 36$  (resultado de silvestre tetraploide x cultivada diploide).
- c) tetraploide  $2n = 48$  (resultado de silvestre tetraploide x cultivada diploide con producción de gametos  $2n$ ).

La transferencia de genes de las especies silvestres hacia los clones cultivados en el caso de híbridos: a) diploides y b) triploides se logra utilizando estos híbridos como polinizadores y los cuales es factible que produzcan granos de polen  $2n$ , con 24 cromosomas, por los procesos meióticos de restitución en primera división (FDR) o en segunda división (SDR). En esta forma, los cruzamientos con *S. tuberosum* o *S. andigena* ( $2n = 48$ ), son perfectamente viables y normales.

En el caso c), en el cual los híbridos con silvestres resultan tetraploides ( $2n = 48$ ), la transferencia de genes y la viabilidad de los cruzamientos con *S. tuberosum* o *S. andigena* es aún más simple, ya que tales híbridos se pueden utilizar como progenitores masculinos o femeninos.

EL método de mejoramiento propuesto aquí, de efectuar, primero, los cruzamientos de las especies silvestres con las diploides cultivadas, abre un camino muy prometedor para incorporar en los cultivares tetraploides el amplísimo espectro de genes presente en las especies silvestres de papa.

Mediante esta técnica, la transferencia de genes de las especies silvestres, resulta simple y fácil, en contraste con los métodos convencionales antes usados, en los cuales se hacía primero una duplicación de cromosomas en las especies silvestres, ocasionando niveles de ploidía mayores en los híbridos y al efectuar los retrocruzamientos lógicamente se presentaban muchos aneuploides con aberraciones y, en los cruzamientos posteriores, pérdidas completas de cromosomas y genes y, en consecuencia, produciendo muchos problemas y dificultades en la selección y los procesos consecutivos para incorporar los genes deseados en los cultivares tetraploides.

Otra consecuencia valiosa del nuevo método de mejoramiento es que puede facilitar la transferencia de muchos otros genes de gran valor presentes en las especies silvestres y no solamente los que dan resistencia a las heladas. Se pueden mencionar, por ejemplo, resistencia a muchos hongos, bacterias y virus patógenos, así como resistencia a nemátodos e insectos. Aplicando estos resultados será posible reducir en forma considerable el alto uso actual de pesticidas en el cultivo de la papa que está contribuyendo con contaminaciones muy serias del agua, el hombre y los animales. Será además, un alivio para el agricultor pequeño de los países en desarrollo para que se eviten inversiones costosas y decisiones técnicas difíciles con el uso frecuente de pesticidas.

## AGRADECIMIENTOS

El autor deja expresa gratitud, por su contribución con facilidades de trabajo o materiales genéticos usados a las siguientes entidades:

Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Bogotá, Colombia

Facultad Nacional de Agronomía, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.

Centro Internacional de Papa (CIP), Lima, Perú y Regional Bogotá.

Proyecto IR-1 del U.S.D.A

## APENDICE

Abreviaciones de uso frecuente en las tablas.

Abreviación	Palabra completa
acl	<i>Solanum acaule</i>
ajh	<i>Solanum ajauhuiri</i>
adg	<i>Solanum andigena</i>
phu	<i>Solanum phureja</i>
tbr	<i>Solanum tuberosum</i>
p.i.	No. de introducción del proyecto IR-1, USDA
4x	Tetraploide, 2n 48 cromosomas
2x	Diploide, 2n 24 cromosomas
o. p.	Polinización libre.

## BIBLIOGRAFIA

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.

CHEN, P.M., M.J. Burke and P.H. Li. 1976. The frost hardiness of several *Solanum* species in relation to freezing of water, melting point depression and tissue water content. Bot. Croz. 137, 313-317.

CIP (International Potato Center), 1974. Cold Hardiness Planning Conf. Rept. p. 1-65. Lima, Perú.

ESTRADA, R.N. 1978. Breeding frost resistant potatoes for the tropical highlands. In, Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. Vol. I. p. 333-341. P.H. Li and A. Sakai, Eds. Academic Press, New York.

\_\_\_\_\_, 1980. Frost resistant potato hybrids via *Solanum acaule* Bitt-diploid tetraploid hybrids. Am. Potato J. 57: 609-619.

\_\_\_\_\_, 1982. Breeding wild and primitive potato species to obtain frost resistant cultivated varieties. In Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. Vol. II. p. 615-633. P.H. Li and A. Sakai. Eds. Academic Press, New York.

\_\_\_\_\_, 1984. *Acaptha* a tetraploid, fertile breeding line, selected from *S. acaule* x *S. phureja* cross. Am. Potato J. 61: 1-7.

ESTRADA, R.N. 1985. Utilizing wild potato species via *Solanum phureja* Juz et Buk crosses. EAPR/EUCARPIA breeding and variety assessment meeting, Cambridge, England. 2 pp.

HAWKES, J.G. 1963. A revision of the tuber-bearing *Solanums*. Scot Plant Breed. Rep. p. 75-181.

HOU GAS, R.W. and S.J. Peloquin. 1958. The potential of potato haploids in breeding and genetic research Am. Potato J. 35: 701-707.

LARCHER, W. 1981. Effects of low temperatures stress and frost injury in plant productivity. In, Physiological Process Limiting Plant Productivity p. 253-269. C.B. Johnson Eds. London.

LI, P.H. 1977. Frost killing temperatures of 60 tuber-bearing *Solanum* species Am. Potato J. 54: 452-456.

LI, P.H. and J. Palta, 1978. Frost hardening and freezing stress in tuber-bearing *Solanum* species. In Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. Vol. I p. 49-71. P.H. Li and A. Sakai, Eds. Academic Press New York.

LI, P.H., N.P. HUNER, M. TOIVIO-KINNUCAN, H.H. CHEN and J.P. PALTA, 1981. Potato Freezing injury and survival, and their relationship to other stress Am. Potato J. 58: 15-29.

MENDIBURU, A.O. and S.J. PELOQUIN, 1976. Sexual polyploidization and depolyploidization: Some terminology and definitions. Theor. Appl. Genetics 48: 137-143.

MENDIBURU, A.O. and S.J. PELOQUIN. 1977. The significance of 2n gametes in potato breeding. Theor Appl. Genet. 49: 53-61.

MENDOZA, H.A. and R.N. ESTRADA, 1979. Breeding potatoes for tolerance to stress: heat and frost. In, Stress Physiology in Crop Plants p. 228-262. H. Mussel and R. Staples, Eds. John Wiley Sons New York.

MOK, D.W.S. and S.J. PELOQUIN. 1975. Breeding value of 2n pollen (diplandroids) in tetraploid x diploid crosses in potatoes. Theor Appl. Genet. 46: 307-314.

PALTA, J.P. and P.H. LI. 1978. Frost Hardiness in relation to leaf anatomy and natural distribution of several *Solanum* species. Minn Agr. Exp. Sta. Sci. J. ser. No. 10536 p. 665-671.

PELOQUIN, S.J., R.W. HOU GAS, and A.C. GABERT. 1966. Haploidy as a new approach to the cytogenetics and breeding of *Solanum tuberosum*. In: Chromosomes Manipulations and Plant Genetics Ralph Riley, K.R. Lewis (eds) Oliver and Boyd, Edinburgh p. 21-28.

PELOQUIN, S.J. and A.O. MENDIBURU, 1972. Sexual polyploidization in relation to breeding and evolution Am. Potato J. 49: 363.

RICHARDSON, D.G. and R.N. ESTRADA, 1971. Evaluation of frost resistant tuber-bearing *Solanum* hybrids. Am. Potato J. 48: 339-343.

ROSS, R.W. and P.R. ROWE, 1965. Frost resistance among the *Solanum* species in the FR-1 Potato Collection. Am. Potato J. 42: 177-185.

\_\_\_\_\_, 1969a. Utilizing frost resistance of diploid *Solanum* species. Am. Potato J. 46: 5-13.

\_\_\_\_\_, 1969b. Inventory of tuber-bearing *Solanum* species. Univ. of Wisconsin Bull 533, 68 pp.

SUKUMARA, N.P. and J.C. WEISER, 1971. Freezing injury in potato leaves Minn. Agr. Exp. Sta. Sci J. 7701 p. 564-567.