

## SELECCION DE PAPAS RESISTENTES A HELADAS EN ESTADO DE PLANTULAS\*

Luis F. Alvarado E.\*\*

### 1. INTRODUCCION

Las heladas o descensos repentinos de temperatura bajo el punto de congelamiento del agua, producen daños de consideración en los tejidos de las plantas en todas las latitudes. Las pérdidas económicas por causa de las bajas temperaturas son de gran importancia económica, especialmente en cultivos hortícolas como la papa.

En Colombia, el peligro de heladas y el régimen de lluvias limitan la siembra a un 70 por ciento de la superficie en el primer semestre y a un 30 por ciento en el segundo semestre. Con variedades tolerantes a heladas y aplicando riego se podría distribuir mejor la siembra y el mercadeo de la papa sería más uniforme durante el año.

Son notables los resultados logrados últimamente en el mejoramiento de algunas plantas resistentes a las bajas temperaturas, especialmente en regiones donde hay las cuatro estaciones.

Uno de los problemas básicos con los cuales se ha tropezado es la carencia de un método confiable, que permita probar en forma rápida material resistente, en trabajos de mejoramiento.

---

\* Contribución del Programa de Estudios para Graduados UN-ICA y el Departamento de Agronomía del ICA. Adaptación y resumen de la tesis de grado presentada por el autor a dicho programa como requisito parcial para optar el título de Magister Scientiae. El presente trabajo es parte del proyecto cooperativo entre ICA-Universidad de Minnesota sobre obtención de papas resistentes a heladas.

\*\* Ingeniero Agrónomo. Programa Tuberosas. Departamento de Agronomía Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Apartado Aéreo 151123 Bogotá

Los objetivos del presente trabajo son los de comparar la resistencia a las heladas de plántulas y plantas adultas obtenidas por congelamiento artificial en cámaras de crecimiento, y la resistencia exhibida por la planta en condiciones de helada natural en el campo

## 2. REVISION DE LITERATURA

Los primeros intentos para tratar de explicar el efecto de las bajas temperaturas en los tejidos de las plantas se hicieron a principios del presente siglo

La resistencia o tolerancia al frío (Cold hardiness) se define como la habilidad de una planta para sobrevivir al efecto de las bajas temperaturas. Aunque muchas plantas leñosas de las regiones templadas pueden sobrevivir a temperaturas hasta de -196 grados centígrados, aún hay plantas que sufren daño al ser expuestas a temperaturas por encima del punto de congelación de sus tejidos Levit (11), Chandler (3) La comprensión de los mecanismos de la resistencia de las plantas al frío es muy compleja. A partir de los últimos 25 años se han emprendido numerosos estudios para tratar de conocer los mecanismos de tolerancia al frío en varias especies de papas silvestres y cultivadas Sukumarán (19), Hudson (8), Mastenbroek (13)

### 2.1. MECANISMOS DE LAS PLANTAS PARA SOBREVIVIR AL CONGELAMIENTO.

Los mecanismos de defensa de algunas plantas para soportar la congelación de sus tejidos y la forma como las bajas temperaturas afectan las células no están bien establecidas a pesar de los numerosos estudios que se han realizado en todo el mundo. Las teorías que han propuesto los científicos se pueden resumir de la siguiente forma

2.1.1. Potencial Osmótico. Antes se suponía que durante el congelamiento, las células sufrían ruptura de sus paredes debido al gran volumen ocupado por el hielo formado dentro de la célula. Pero se ha comprobado que es improbable la formación de hielo dentro del protoplasma celular en condiciones naturales, Weiser (22), Levit (11)

La formación de hielo en un tejido durante el congelamiento empieza en los espacios intercelulares donde el agua está más pura, Sukumarán (19), Weiser (22), Dexter (4). A medida que se va formando hielo en los espacios intercelulares se remueve agua del protoplasma y se produce un aumento de la concentración de solutos, disminución del volumen celular, disminución de la separación espacial de macromoléculas, precipitación de proteínas y cambios de pH Mazur (14)

La muerte de las células se atribuye generalmente a uno o varios de los factores anotados

Se ha considerado que las plantas resistentes poseen una membrana más permeable al agua, Levit (11).

La resistencia de una planta de papa depende de la habilidad de la planta para soportar formación de hielo extracelular y no está asociada con la capacidad para evitar congelamiento intracelular Sukumarán (19) Se ha encontrado que la resistencia al frío en plantas aumenta con el incremento en proteínas S-H y otras sustancias disulfídicas no protéicas Levit *et al* (12).

Irving y Lanphear (9) encontraron una sustancia similar a la giberelina en plantas de día largo (no resistentes). El mismo autor encontró posteriormente que las sustancias estimuladoras de resistencia eran similares al ácido absísico.

También se ha encontrado cierta influencia del potasio en el aumento de tolerancia de la planta a las temperaturas de congelamiento, Alvarado (1), Weiser (21)

Se ha demostrado en plantas de la zona templada que la inducción de resistencia al frío (Cold hardiness) está asociada con una interacción entre fotoperíodo y baja temperatura, Weiser (22).

## **2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS DAÑOS CAUSADOS POR HELADAS EN LAS PLANTAS.**

Fuera de los factores ambientales que favorecen la disminución de la temperatura, hay otras circunstancias que influyen en el grado de daño de los tejidos de una planta durante el congelamiento en el campo o en el laboratorio. Las más importantes son

2.2.1. Temperatura y tiempo de exposición La temperatura a la cual se congela el jugo celular en una planta de papa está entre -2,5 y -2,7 grados centígrados, Sukumarán (19) Sin embargo, para que una planta sufra daño letal no siempre es necesario que haya congelamiento de las células Hay plantas que mueren al exponerlas a temperaturas por encima del punto de congelación, Levit (11), Stushnoff (20).

2.2.2. Velocidad de congelación y descongelación de los tejidos Se ha demostrado que el congelamiento lento causa menos daño a los tejidos que un cambio relativamente rápido de la temperatura, Scott y Cullinam (18).

Sin embargo, el descenso de temperatura en el medio ambiente es general, relativamente lento y alcanza solo unos grados por hora, excepto en los casos más extremos, Levit (11), Sukumarán (19), Weiser (22).

La formación de hielo puede ser intracelular o extracelular. La formación de hielo dentro de la célula es casi siempre fatal y ocurre cuando se presenta una alta velocidad de congelamiento En condiciones naturales es improbable que esto suceda, Weiser (22), Levit (11)

2.2.3. Agua de reserva de la planta. Está directamente relacionada con la humedad del suelo. Se sabe que las plantas son más tolerantes a las heladas bajo condiciones secas que bajo condiciones húmedas.

Si la célula tiene más agua de reserva en sus tejidos (espacios intercelulares) hay más volumen de agua para congelarse y causar daño.

2.2.4. Nutrición mineral. Se ha demostrado que la nutrición mineral tiene influencia en la tolerancia de algunas plantas al congelamiento. Altas dosis de Nitrógeno y Fósforo aumentan el vigor y desarrollo de la planta pero la predisponen a un mayor daño por congelamiento. En cambio altas dosis de potasio hacen a la planta más tolerante al efecto de las bajas temperaturas, Weiser (21).

En Colombia, Alvarado (1) encontró que abonamiento adicional de la papa con dosis hasta de 300 kg/Ha de cloruro de potasio disminuía la susceptibilidad de la papa a las heladas, dosis mayores resultaron fitotóxicas.

2.2.5. Temperatura de aclimatación. Está demostrado que la respuesta de los tejidos de una planta al congelamiento natural o artificial depende en parte de la temperatura a la cual haya estado creciendo antes del congelamiento.

En plantas leñosas se ha logrado inducir artificialmente resistencia al frío exponiendo las plantas durante varias semanas a temperaturas cercanas a 0 grados centígrados y luego a temperaturas entre 0 y -5 grados centígrados, Weiser (21, 22), Levit (11). Pero en plantas suculentas como las hortalizas es más difícil inducir este tipo de resistencia. En papa se puede inducir este tipo de aclimatación artificial pero su aplicación en el campo es difícil.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. SEMILLA USADA.

Se empleó semilla sexual y semilla asexual o de tubérculo. La semilla sexual provenía de 39 cruces interespecíficos entre ocho especies de donde se obtuvieron unas 5.000 plántulas. También se obtuvieron plántulas por autofecundación de los híbridos 60-177-7 (CCC 1150 *S. phureja* x *S. stenotomum*) 59-908-8 (CCC 818 *S. tub. ssp. andigena* x CCC 999 *S. tub. ssp. andigena*) y de la especie *S. papita*.

La semilla asexual o de tubérculo se refiere a los híbridos (150) obtenidos y evaluados para resistencia a heladas por Richardson y Estrada (15).

#### 3.2. MATERIAL GENETICO DE LOS CRUZAMIENTOS.

En los híbridos probados a partir de semilla sexual y los probados a partir de tubérculo se emplearon las siguientes especies reportadas como resistentes o medianamente resistentes a las heladas Howard (7), Richardson y Weiser (16), Blomquist y Lawer (2), Estrada (5)

*S. acaule*, *S. phureja*, *S. stenotomum*, *S. tub ssp. andigena*, *S. stoloniferum*, *S. brevicaule*, *S. ajanhuiri*, *S. tuquerrense*, *S. multidisectum*, *S. verneti*, *S. chacoense* y *S. papita*

### 3.3. PREPARACION DE LAS PLANTAS A PROBAR.

Las semillas germinaron en semilleros con suelo esterilizado en invernadero con temperatura de 25 grados centígrados, en el día y 15 grados centígrados, en la noche. Cuando las plántulas tenían de 15 a 20 centímetros se trasladaron a invernadero de malla para su aclimatación, aquí las condiciones de temperatura y humedad son muy similares a las de campo

Cinco días antes de efectuar el tratamiento a baja temperatura se suprimió el riego hasta que el suelo de los semilleros estuviera relativamente seco (aproximadamente 60 por ciento de capacidad de campo)

Al tiempo de trasplantar las plántulas al campo se sembraron en el mismo lote en Tibaitatá con una altitud de 2 600 metros, los híbridos provenientes de tubérculos. Replicaciones del mismo material se sembraron en San Jorge (Soacha) a una altitud de 3 200 metros y Manizales a 3 600 metros (Páramo de Letras). Estos dos últimos sitios tienen un clima de páramo y allí las heladas pueden ocurrir con más frecuencia.

### 3.4. CAMARAS DE CRECIMIENTO.

Para obtener heladas artificiales se usaron cámaras de crecimiento Sherer modelo Cel 34-7 equipadas con controles que permiten tener la temperatura gradualmente durante 24 horas. La intensidad de luz obtenida es de 2.500 bujías-pie con combinación de luz fluorescente e incandescente.

Se programó una curva de temperatura que siguiera las variaciones que ocurren en el campo cuando se presentan heladas. Se mantuvo una temperatura diurna de 20 grados centígrados la cual disminuía gradualmente durante la noche hasta alcanzar -3 grados centígrados a las 4 a.m. Esta temperatura se mantuvo constante durante dos horas. La velocidad de congelamiento fue 1,2 grados centígrados/hora y de descongelamiento 1,5 grados centígrados/hora

### 3.5. OCURRENCIA DE HELADAS EN EL CAMPO.

Durante el mes de enero no hubo lluvias y el 16 de febrero cuando el cultivo pasaba el período de floración ocurrió en Tibaitatá una helada con descenso de temperatura de -5,8 grados centígrados registrada a 15 centímetros sobre el nivel del suelo y -1,5 grados centígrados a 3 metros con una duración de tres horas

También se registraron temperaturas por debajo de 0 grados centígrados en los otros sitios experimentales, San Jorge cuya intensidad no se pudo registrar y en Manizales donde se presentó una temperatura de -2,1 grados centígrados por tres horas

### 3.6. EVALUACION DEL DAÑO PRODUCIDO POR HELADAS.

3.6.1 En plántulas sometidas a congelamiento artificial. Se contó el número de plántulas muertas y el número que sobrevivió al congelamiento un día después del tratamiento. En estado de plántula es muy difícil observar diferencias de susceptibilidad entre una y otra plántula.

3.6.2. En plantas adultas en el campo. La evaluación se hizo por apreciación visual anotando en tanto por ciento la cantidad de follaje afectado. Así un daño de cero correspondió a plantas completamente sanas; 10 por ciento a plantas con unas pocas hojas marchitas o necrosadas y así sucesivamente hasta la calificación de 100 por ciento para plantas totalmente muertas. Para efectos del presente trabajo se consideró como resistente una planta con un daño máximo de 25 por ciento de follaje afectado

En Tibaitatá la evaluación se hizo tres días después de la helada. En Manzales y San Jorge una semana después.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. PLANTULAS PROVENIENTES DE SEMILLA SEXUAL.

Las plántulas provenientes de semilla sexual mostraron diferentes grados de resistencia y susceptibilidad bajo condiciones artificiales y de campo. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos bajo las condiciones anotadas. Es de tener en cuenta que la diferencia entre el número de plántulas que soportaron el tratamiento de  $-3^{\circ}$  grados centígrados y el número de plantas calificadas en el campo se debe a que muchas murieron durante el trasplante o durante la helada. Al momento de hacer la calificación no se tuvieron en cuenta las plantas que habían muerto totalmente por efecto de la helada (con calificación de 100 por ciento).

El material que sobrevivió al tratamiento de  $-3$  grados centígrados en congelamiento artificial no demostró la misma resistencia en el campo. Así por ejemplo en el cruce 69-16 (*S. phureja* x *S. phureja*) de las 1.151 plántulas probadas, 604 sobrevivieron al tratamiento de  $-3$  grados centígrados pero ninguna de las que crecieron en el campo se comportó como resistente. En cambio cruces como el 70-138 (*S. ajanhuirii* x *S. phureja*) de 270 plantas probadas en cámaras sobrevivieron 130 y se encontraron finalmente 10 plantas resistentes en el campo (Tabla 1).

TABLA 1. Resistencia al congelamiento de la progenie de 38 cruces de papa, registrado bajo condiciones artificiales y de campo.

Cruce	Pedigree	Número de plantas probadas en cámara	Número de plantas soportaron tratamiento a $-3^{\circ}\text{C}$	Número de plantas calificadas en campo	Número de plantas resistentes en campo a $-5,8^{\circ}\text{C}$
69-16	CCC 81.S. <i>phureja</i> x CCC 1360.1 <i>S. phureja</i>	1.151	604	134	0
69-22	CCC 1386 <i>S. phureja</i> x 1360.1 <i>S. phureja</i>	385	276	107	3
70-57	CCC 2601 <i>S. tub. ssp. andigena</i> x CCC 61 <i>S. tub. ssp. andigena</i>	80	50	7	1
70-61	CCC 61 <i>S. tub. ssp. andigena</i> x CCC 2601 <i>S. tub. ssp. andigena</i>	367	79	21	5
70-64	66-579-2 x CCC 2601 <i>S. tub. ssp. andigena</i>	48	12	2	0
70-65	67-341-2 x CCC 2601 <i>S. tub. ssp. andigena</i>	76	62	10	0
70-66	67-338-1 x CCC 2601 <i>S. tub. ssp. andigena</i>	240	230	25	4
70-100	<i>S. acaule</i> Huancayo x CCC 122 <i>S. phureja</i>	5	5	5	5
70-107	PI 210091.1 <i>S. acaule</i> x CCC 1120 <i>stoloniferum</i> (M. azul)	30	17	1	0

(Continúa)

Cruce	Padrree	No. de plantas probadas en cámara	No. de plantas soportaron tratamiento a -3°C	No. de plantas calificadas en campo	No. de plantas resistentes en campo a -5,8°C
70-108	PI 310982 <i>S. brevicaula</i> X CCC 1234 <i>S. phureja</i>	216	124	19	7
70-113	CCC 1807 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1.1. <i>S. phureja</i>	16	6	4	1
70-114	CCC 1807 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 81 <i>S. phureja</i>	18	10	7	0
70-115	CCC 1809 <i>S. ajanhuirli</i> X CCC 1.1. <i>S. phureja</i>	145	70	30	0
70-116	CCC 1809 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 81 <i>S. Phureja</i>	62	29	9	1
70-118	CCC 1820 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1360 <i>S. phureja</i>	27	14	6	0
70-122	CCC 1893 <i>S. ajanhuirif</i> X CCC 1,1, <i>S. phureja</i>	11	5	2	1
70-123	CCC 1893 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 81 <i>S. phureja</i>	21	15	4	3
70-126	CCC 1936 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1.1. <i>S. phureja</i>	80	60	13	1
70-127	CCC 1935 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 81 <i>S. phureja</i>	8	5	1	0
70-128	CCC 1936 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 81 <i>S. phureja</i>	301	266	24	0
70-129	CCC 1936 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1360 <i>S. phureja</i>	3	3	1	0
70-130	CCC 1949 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1.1 <i>S. phureja</i>	15	15	6	1
70-131	CCC 1949 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 81 <i>S. phureja</i>	4	2	1	0

70-132	CCC 1949 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1360 <i>S. phureja</i>	9	4	2	1
70-133	CCC 192 <i>S. stenotomum</i> X CCC 1.1 <i>S. phureja</i>	4	4	2	0
70-134	CCC 1962 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 81 CCC <i>S. phureja</i>	26	6	3	2
70-135	CCC 1962 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1360 <i>S. phureja</i>	26	5	3	1
70-136	CCC 1811 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1.1 <i>S. phureja</i>	100	60	18	1
70-137	CCC 1811 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1.1, <i>phureja</i>	240	120	25	5
70-138	CCC 1811 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1360 <i>S. phureja</i>	270	130	37	10
70-140	CCC 1836 <i>S. ajanhuirii</i> X CCC 1360 <i>S. phureja</i>	7	5	1	0
70-143	<i>S. tuquerrense</i> 3 X CCC 1222 <i>S. phureja</i>	10	5	4	4
71-1	<i>S. acaule</i> Bolivia X CCC 1220 <i>S. stoloniferum</i>	35	30	0	0
71-3	P.I. 255501.1 <i>S. acaule</i> X CCC 1220 <i>stenotomum</i>	21	20	0	0
71-4	CCC 1327 <i>S. acaule</i> X (merri mack), 4 X CCC 1207	70	30	0	0
	P.I. 275229 <i>S. papita</i> (autofecundación)	38	35		
	59-908-8 (autofecundación)			20	0
	60,177-7 (autofecundación)	330	230	60	10

La resistencia o tolerancia al congelamiento se presentó en unos cruces como un carácter dominante y en otros como un carácter recesivo. En el cruce 70-100 (*S. acaule* x *S. phureja*) hubo dominancia para el carácter de resistencia que siempre se ha observado en *S. acaule*. Todas las plántulas probadas fueron resistentes en el campo. En cambio en el híbrido 60-177-7 parece presentarse el carácter de resistencia en forma recesiva, pues los padres no han mostrado resistencia notoria previamente. Al probar plántulas provenientes de semilla sexual obtenida por autopolinización este híbrido presentó una escala de respuesta desde clones muy susceptibles hasta resistentes como se observa en la Tabla 2.

TABLA 2. Diferentes grados de tolerancia al frío de una progenie del híbrido 60-177-7 (*S. tub. ssp. andigena* x *S. stenotomum* x *atenotomum*) obtenida por autopolinización. La calificación se hizo visualmente en porcentaje de follaje necrosado después de una helada de - 5.8° C por dos horas.

Número del clon	Porcentaje de follaje necrosado	Número del clon	Porcentaje de follaje necrosado
1	40	37	30
2	20	38	10
3	50	39	15
4	50	40	40
5	40	41	50
6	40	42	95
7	60	43	95
8	30	44	70
9	70	45	80
10	70	46	80
11	80	47	80
12	40	48	95
13	65	49	10
14	60	50	20
15	45	51	30
16	60	52	60
17	45	53	40
18	70	54	50
19	25	55	40
20	5	56	70
21	85	57	40
22	80	58	40
23	20	59	40
24	70	60	70
25	60	61	95
26	5	62	95
27	70	63	80
28	95	64	50
29	90	65	95
30	0	66	95
31	40	67	80
32	30	68	95
33	30	69	95
34	80	70	95
35	40	71	95
36	50	72	95

Por otra parte esta variabilidad de resistencia no se presentó con plántulas provenientes de autofecundación del híbrido 59-908-8 y plántulas de la especie *S. papita* obtenidas también por autofecundación. Estos progenitores tenían mediana resistencia.

#### **4.2. PLANTAS PROVENIENTES DE TUBERCULO.**

Los híbridos que se habían seleccionado como más resistentes en congelamiento artificial, presentaron en general mayor tolerancia en el campo a los descensos de temperatura. Aunque la intensidad de las heladas fue diferente en los tres sitios, se debe anotar que la reacción de los híbridos a las bajas temperaturas fue consistente en la mayor parte de los casos.

### **5. DISCUSION**

#### **5.1. RESISTENCIA DE CAMPO COMPARADA CON LA RESISTENCIA EN CAMARAS.**

Los datos presentados demuestran que la resistencia exhibida por las plantas durante el congelamiento artificial está relacionada con la tolerancia exhibida en condiciones de campo. Sin embargo, se debe anotar que la resistencia registrada bajo condiciones de congelamiento artificial es mayor que la determinada en condiciones de campo. La causa principal de esta diferencia se puede deber a que el congelamiento en las cámaras está afectado por las siguientes circunstancias:

5.1.1. Vibración del aparato. Una vibración constante puede dar lugar a la formación de cristales imperfectos de hielo dentro de los tejidos.

5.1.2. Humedad del suelo de los materos. Es muy difícil reproducir en materos o semilleros las condiciones de humedad del suelo existente en el campo. Aparentemente en condiciones de campo el suelo se enfría más que en las cámaras de crecimiento.

5.1.3. Circulación de aire Dentro de las cámaras hay una circulación de aire que mantiene la temperatura constante y puede afectar el congelamiento

5.1.4. Número de plantas dentro de la cámara El tamaño y número de plantas dentro de la cámara afecta directamente la circulación de aire

En resumen, es imposible reproducir exactamente en las cámaras de crecimiento las condiciones ambientales en que sucede una helada.

## 5.2. ASPECTOS GENETICOS DE LA RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO.

Desde el punto de vista genético, la resistencia al congelamiento se presentó en unos genotipos como un carácter dominante y en otros como un carácter recesivo. La característica de dominancia se presentó en el cruce 70-100. *S. acaule* Huancayo x *S. phureja*. Las plantas obtenidas presentaron todas las características morfológicas de *S. acaule* y no sufrieron ningún daño durante la helada de -5,8 grados centígrados. Pero el cruce 70-107 PI 210091.1 *S. acaule* x *S. stoloniferum* no presentó estas características. Mastenbroek (13) obtuvo resultados similares con *S. acaule*. Encontró que algunas plantas en F<sub>1</sub> heredaban resistencia como carácter dominante. Este autor sugirió que pueden estar presentes algunos genes mayores y algunos genes con efecto modificante. Por otra parte, Ross y Rowe (17) encontraron que progenies F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> segregaron y produjeron plantas más resistentes que sus progenitores.

El carácter recesivo de resistencia se manifiesta en el híbrido 60-177-7 al observar el comportamiento de sus progenitores y de su descendencia. Sus padres *S. phureja* y *S. stenotomum* han sido reportados solo como de tolerancia moderada, Richardson y Weiser (16). En congelamiento artificial este híbrido sobrevivió a temperatura de -5 grados centígrados según el trabajo de Richardson y Estrada (15). La progenie obtenida por autofecundación presentó una escala de resistencia desde plantas muy susceptibles hasta resistentes como se puede apreciar en la Tabla 2. Esto se puede interpretar en base a que son varios los pares de genes involucrados en la resistencia y que no se pueden obtener en forma homocigota en una sola generación de autofecundación; pueden existir además genes modificantes.

La variedad ICA Nevada, de mediana tolerancia a las heladas, Estrada (6), Richardson y Estrada (15), obtenida a partir de *S. phureja* x *S. phureja* es un hecho que también favorece la suposición de que existen genes recesivos para la resistencia, ya que los padres y sus hermanos (de ICA Nevada) mostraron poca resistencia.

## 6. CONCLUSIONES

1. La resistencia exhibida por la planta bajo condiciones artificiales, en cámaras de crecimiento, es mayor que la resistencia real que la planta puede presentar en condiciones de campo. Esta diferencia se puede deber principalmente a la mayor uniformidad en el congelamiento y descongelamiento, a la humedad del suelo de los materos, a la circulación de aire que puede variar según el número y tamaño de plantas dentro de la cabina y a la vibración natural del aparato que afecta la formación de hielo dentro de los tejidos.

2. Aunque la resistencia de campo presentada por la planta fue menor que la registrada en las cámaras de crecimiento, está relacionada ya que las plantas que presentaron mayor resistencia en las cámaras fueron en general las que presentaron mejor comportamiento en el campo.
3. Para futuros trabajos que sugiere usar una temperatura de prueba menor que -3 grados centígrados en cámaras de crecimiento (-4 ó -5 grados centígrados).
4. Convendría efectuar nuevamente cruzamientos entre el material resistente para poder estudiar mejor los factores que influyen en la resistencia.

## 7. RESUMEN

Se comparó en el campo la resistencia de plantas de papa provenientes de semilla sexual y de tubérculos que se seleccionaron previamente después de congelamiento artificial a -3 grados centígrados en cámaras de crecimiento Sherer Gillete modelo Cel. 34 en Tibaitatá (Bogotá).

Para los cruzamientos se emplearon especies cultivadas y silvestres reportadas como resistentes al congelamiento como *Solanum acaule*, *S. multidisectum*, *S. ajanhuirii* y *S. vernei* o de ligera tolerancia como *S. phureja*, *S. brevicaule*, *S. stenotomum*, *S. tub. ssp. andigena*.

Las siembras de campo se hicieron en época tardía (noviembre) para buscar ocurrencia de heladas en tres localidades diferentes, Tibaitatá (Bogotá) a una altitud de 2.600 metros, San Jorge (Soacha) a una altitud de 3.200 metros y Manizales a 3.600 metros (Páramo de Letras). Después de la floración ocurrieron heladas de diferente intensidad en las tres localidades.

Los resultados demostraron que hay cierta relación entre la resistencia de las plantas obtenidas por congelamiento artificial y la resistencia exhibida por la planta en condiciones de campo. Además, la resistencia registrada en las cámaras fue mayor que la registrada en el campo. Esta diferencia se puede atribuir a que el congelamiento artificial de los tejidos está influenciado por la vibración del aparato, humedad del suelo de los materos, la circulación de aire y el número de plantas dentro de la cámara y otras circunstancias de campo que no se pueden reproducir artificialmente.

El carácter de resistencia parece presentar en forma dominante en unos casos y recesivo en otros lo cual concuerda con trabajos anteriores. Sería aconsejable buscar tolerancia a través de nuevos cruzamientos entre material resistente y usar una temperatura de prueba más baja en los ensayos de congelamiento artificial.

## 8. SUMMARY

Frost resistance of different crosses of *Solanum* grown from seedlings and

tubers was studied under field conditions to compare their behavior to that observed when they were exposed to  $-3^{\circ}\text{C}$  in growth chambers.

Crosses were made using wild and cultivated species with various degrees of resistance to frost damage, such as *Solanum acaule*, *S. multidisectum*, *S. ajanhuirii*, *S. vernei*, *S. phureja*, *S. brevicaulis*, *S. stenotomum* and *S. tub. ssp. andigena*.

Planting were carried out at three different localities on November when the probabilities of having frost temperatures were high. The places were Tibaitatá (Bogotá) to 2.600 m of altitude, San Jorge (Soacha) 3.200 m and Manizales 3.600 m. Frost of different intensity were registered after flowering in all locations.

Results showed agreement between frost resistance of potato plants in growth chambers and in the field although the resistance showed for plants in the growth chambers was higher. The observed deviations could be due to the influence of conditions other than temperature that deserve further study.

Since a genetic point of view, resistance seems to be present in some genotypes as a dominant character and recessive in others.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- 1 ALVARADO, L.F. 1970 Fertilización potásica en papa para control de heladas. VI Reunión de la Sociedad Latinoamericana de Investigadores en papa La Paz, Bolivia. Marzo 2-7, 1970. 7 p. (Mimeografiada).
2. BLOMQUIST, A W. and F I LAWER 1962 Evaluation of frost resistance using detached leaves in populations of *Solanum acaule*, *S. tuberosum* hybrids Amer. Potato Jour. 39: 389.
- 3 CHANDLER, W.H. 1954 Cold resistance in Horticultural plants A review. Amer. Soc. Hort. Sci. 64:552-572
- 4 DEXTER, ST 1956. The evaluation of crop plants for winter hardiness. Advan. Agron. 8:203-209.
- 5 ESTRADA, R., N 1953 La resistencia a las heladas en relación con varias especies de papa. Agric. Trop (Colombia). 9:17-22
- 6 ——— 1968 Avances en el proyecto para obtener resistencia a heladas en papa en Colombia. Sociedad Latinoamericana de Investigadores en papa Memoria de la V Reunión. 2-7 Diciembre Lima - Perú pp 50-51
- 7 HOWARD, H W 1960. Potato cytology and genetics Bibliographia Genetica 19: 87-216.
- 8 HUDSON, M A 1961 The limitations of a cut leaf test for assessing the frost resistance of the tuber-bearing solanums. Euphytica 10 169-179
- 9 IRVING, R M and F O LANPHEAR 1968 Regulation of cold hardiness in *Acer negundo*. Plant Physiol 43 9-13
- 10 ——— 1969 Characterization and role of an endogenous inhibitor in the induction of cold hardiness in *Acer negundo* Plant Physiol 44:801-805

11. LEVIT, J. 1956 The hardiness of plants. New York Academic Press. 278 p.
  12. ----. C.Y. SULLIVAN; N.O. JOHANSON and R.M. PETTIT. 1961. Sulfhydryls. A new factor in frost resistance *in* Changes in SH content during frost hardiness. *Plant Physiol.* 36:611-616.
  13. MASTENBROEK, C. 1956. Some experiences in breeding frost tolerant potatoes. *Euphytica* 5:289-297
  14. MAZUR, P. 1969. Freezing injury in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol* 20: 419-448.
  15. RICHARDSON, D.G. and N. ESTRADA. 1971. Evaluation of frost resistant tuber-bearing solanum hybrids *Amer. Potato Jour.* 48:339-343
  16. ---- and C.J. WEISER. 1972. Foliage frost resistance in tuber-bearing Solanums *Hortic* 7(1) 19-22.
  17. ROSS, R.W. and P.R. ROWE. 1969. Utilizing the frost resistance of diploid solanum species. *Amer. Potato Jour.* 46:5-14
  18. SCOTT, D.H. and F.P. CULLINAM 1946 Some factors affecting the survival of artificially frozen fruit buds of peach *Jour Agric Research* 73(6) 207-236.
  19. SUKUMARAN, N.P. 1971 Frost injury and resistance in tuberbearing Solanum species. Ph D Thesis. University of Minnesota St Paul Campus. p 51 (Mimeograph)
  20. STUSHNOFF, C. 1972. Breeding and selection methods for cold hardiness in deciduous fruit crops. Breeding for cold hardiness symposium 68th Ann Meet Amer Soc. Hortic Sci Aug 4, 1971. Reimpr *Hortic. Sci* 7(1) 10-13
  21. WEISER, C.J. 1965. Principles of hardiness and survival as their relate to newly propagate plants Reprinted from Proceedings of the international plant propagators society Annualmeeting St. Paul Minnesota. pp 113-121
  22. ----. 1970 Cold resistance and injury in woody plants *Sci* 169:1269-1278
-