

IICA
F30
3

RIESGOS AMBIENTALES DE LAS PLANTAS TRANSGENICAS EN CENTROS DE DIVERSIDAD: LA PAPA COMO UN MODELO

Memorias del Taller Regional
Parque Nacional Iguazú, Argentina
2 y 3 de junio de 1995




Editado por

Robert J. Frederick
Ivar Virgin

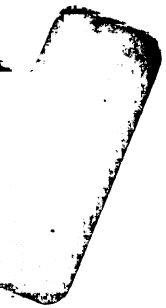
Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología

Eduardo Lindarte

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

 Biotechnology
Advisory
Commission

IICA 



**RIESGOS AMBIENTALES
DE LAS PLANTAS TRANSGENICAS
EN CENTROS DE DIVERSIDAD:
LA PAPA COMO UN MODELO**

Memorias del Taller Regional
Parque Nacional Iguazú, Argentina
2 y 3 de junio de 1995

Editado por

Robert J. Frederick
Ivar Virgin

Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología

Eduardo Lindarte
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

00006619

IICA
630
3

Aclaratoria

Las opiniones y puntos de vista expresados en esta publicación no reflejan necesariamente los de la Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología (BAC) o los del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Publicado por

La Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología (BAC) del Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

 Biotechnology
Advisory
Commission



SEI STOCKHOLM
ENVIRONMENT
INSTITUTE

International Institute for Environmental Technology and Management

Copyright:

Stockholm Environment Institute, 1995. Extractos de estas memorias pueden ser usados libremente para propósitos educativos o no comerciales mencionando la fuente. Queda prohibida la reproducción para propósitos de reventa comercial sin el consentimiento previo del titular de los derechos de autor.

ISBN:

980-07-3581-X

Diseño de la Portada:

Ivar Virgin, Robert J. Frederick y Arno Rosemarin

Diseño del Texto:

Benita Forsman

Foto de la Portada:

Fotografía del Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú, mostrando la amplia diversidad de variedades de papa de la Región Andina - centro de diversidad de la papa. Fotografía suministrada por Charles Brown, Prosser, USA.

Traducción:

Elio Estevez Villegas. Caracas, Venezuela.

Revisión de Estilo:

Laura Ramsay Acosta, IICA. Caracas, Venezuela.

Impreso por:

Miguel Angel García e Hijo SRL Impresores. Caracas, Venezuela.

Disponible en:

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)
Area de Concentración II: Ciencia y Tecnología, Recursos Naturales
y Producción Agropecuaria
Apartadó Postal 55-2200 Coronado, Costa Rica
Tel: +506 2 290 222
Fax: +506 2 294 741
E-mail: iica@ac.cr

Biotechnology Advisory Commission - Stockholm Environment
Institute

Box 2142 103 14 Stockholm, Sweden

Tel: +46 8 723 02 60

Fax: +46 8 723 03 48

E-mail: seibac@nordnet.se

<http://nn.apc.org/sei/bac.html>

Indice de Contenido

Acerca de los Patrocinadores	v
La Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología (BAC)	v
El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)	v
Colaboradores	vi
Prólogo (<i>S. Ramachandran y A. Paulo M. Galvão</i>)	vii
Presentación (<i>Robert J. Frederick, Ivar Virgin y Eduardo Lindarte</i>)	ix
Antecedentes	ix
Estado de la tecnología y de su regulación	ix
Ciencia y evaluación del riesgo	x
Objetivo del Taller	x
Limitaciones	xii
Reconocimientos	xiii
Citas bibliográficas	xiii
Capítulo 1	
Difusión del Germoplasma de Papa y la Propagación Moderna	
(<i>Charles. R. Brown</i>)	1
Resumen	1
Contacto inicial	1
Adopción como alimento	2
La papa en Irlanda	3
Primeros conceptos en propagación de la papa	3
"Rough Purple Chili" la introducción de Goodrich	4
Uso de la <i>Solanum demissum</i> por su resistencia al tizón tardío	5
Recolección sistemática de germoplasma	5
Cultivares nativos en la actualidad	6
Especies silvestres	7
Utilización del germoplasma exótico	8
Tecnología génica	10
Citas bibliográficas	11
Capítulo 2	
El Estado Actual en América Latina	13
Argentina (<i>Esteban Hopp</i>)	13
Bolivia (<i>Miguel Angel Silva Ramos</i>)	14
Brasil (<i>Luiz Barreto de Castro</i>)	15
Chile (<i>Carlos Muñoz, Loreto Holuigue y Carmen Cabrera</i>)	15
Colombia (<i>Rodrigo Artunduaga Sala</i>)	16

Cuba (Pedro Oramas)	17
México (Ariel Alvarez Morales)	18
Perú (Ali Golmirzaie, Luis Ñopo y Marc Ghislain)	18
Uruguay (Daniel Pagliano)	20
Venezuela (Eva de García y Eduardo Lindarte)	20

Capítulo 3

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa: Las Implicaciones Ambientales de la Dispersión Génica y su Potencial

(Robert E. Hanneman, Jr.)	23
Resumen	23
Introducción	23
Perspectiva de la evaluación del riesgo y complejidad biológica	25
Interrogantes ecológicas	25
Flujo génico	26
Papa: intercambio de genes en los centros de diversidad	29
Modelos para la toma de decisiones	39
Conclusiones	41
Citas bibliográficas	42

Capítulo 4

Visión General de las Consideraciones Ambientales con Plantas

Transgénicas/Papas (Ali Golmirzaie, Luis Ñopo y Marc Ghislain)	47
Resumen	47
Introducción	47
Áreas de preocupación	48
Las papas transgénicas en América Latina	49
Evaluación de riesgos	50
Normativa de bioseguridad en el CIP	50
Conclusiones	51
Reconocimientos	51
Citas bibliográficas	51

Capítulo 5

Preocupaciones Potenciales sobre el Ambiente frente a la Introducción de un Rasgo Específico: Experiencias con Papas Modificadas para Expresar Resistencia a los Insectos y Virus

(David S. Douches y Walter Pett)	53
Resumen	53
Introducción	53
¿Por qué estamos usando técnicas de modificación de plantas?	54
Preocupaciones percibidas	54
¿Deberíamos usar cultivos transgénicos?	55
Análisis de los estudios de casos	55
Mejora en la papa convencional	56

Transferencia génica entre cultivares de papas transgénicas y especies relacionadas	57
¿Cuál es la adaptabilidad del gen en poblaciones silvestres?	58
Conclusiones	60
Citas bibliográficas	61
Capítulo 6	
En Busca de un Equilibrio : Resumen de las Discusiones de Grupo	
<i>(Ivar Virgin y Robert J. Frederick)</i>	63
Introducción	63
Preocupaciones ambientales y beneficios potenciales	63
Resumiendo las opiniones rasgo por rasgo	64
Resistencia a virus	64
Resistencia a bacterias	64
Resistencia a insectos	65
Resistencia a hongos	65
Resistencia a tensiones	66
Modificaciones a la calidad	66
Comentarios finales	66
Capítulo 7	
Pruebas de Campo de Papas Transgénicas en los Estados Unidos	
<i>(Quentin Kubicek)</i>	69
Introducción	69
Pruebas de campo de papas transgénicas	70
La determinación de un estado no regulado	72
Introducción de papas resistentes a insectos en los Estados Unidos	72
Beneficios potenciales	72
Desarrollo y manejo de la resistencia	73
Capítulo 8	
Recomendaciones de los Participantes	75
Apéndice	
Lista de los Participantes	77

Acerca de los Patrocinadores

La Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología

La Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología (BAC) constituye un cuerpo asesor independiente, que tiene sus oficinas centrales en el Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo (SEI), instituto internacional de investigación, enfocado a temas relacionados con el ambiente y el desarrollo, a nivel regional y mundial. Sus integrantes están localizados en nueve países, y poseen muchos años de experiencia en temas científicos, económicos y legales relacionados con la investigación y desarrollo de la biotecnología. A pedido de los gobiernos y organismos internacionales, la Comisión imparte asesoría imparcial en temas de bioseguridad. En particular, la BAC apoya las revisiones que hacen los países para evaluar su bioseguridad, a través de las evaluaciones de trasfondo de las propuestas para introducciones específicas al ambiente, de organismos genéticamente modificados. Se trata que este servicio de trasfondo se mantenga, de manera que contribuya en forma sustancial a resolver las revisiones, a nivel local y regional. Desde su fundación en 1993, la BAC ha organizado eventos internacionales con el objeto de que se construya en los países en desarrollo, una capacidad para la implantación de la bioseguridad. La Comisión recibe contribuciones financieras del SEI, de la Fundación Rockefeller y de la Agencia Sueca Internacional de Cooperación para el Desarrollo (SIDA).

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

Fundado originalmente en 1942 como un centro de estudios e investigación agrícola, este organismo de cooperación técnica intergubernamental cuenta en la actualidad con 33 Estados Miembros en las Américas. Su máximo organismo de Dirección es la Junta Interamericana de Agricultura (JIA) conformada por los Ministros de Agricultura de los países. La Sede Central se encuentra en San José, Costa Rica, sus Oficinas cuentan con un equipo de alrededor de 500 especialistas nacionales e internacionales en todo el hemisferio. Su misión es promover, facilitar y apoyar la cooperación entre sus Estados Miembros, para lograr el desarrollo agropecuario sostenible y el bienestar de la población rural. Sus actividades técnicas se agrupan en cuatro áreas de concentración y dos servicios especializados: Políticas Socioeconómicas; Comercio e Inversiones; Ciencia y Tecnología, Recursos Naturales y Producción Agropecuaria; Sanidad Agropecuaria; y Desarrollo Rural Sostenible, siendo los servicios especializados: Capacitación, Educación y Comunicación; e Información, Documentación e Informática.

Para mayor información sobre la BAC y el IICA, por favor dirigirse a:

Biotechnology Advisory Commission
Stockholm Environment Institute
Box 2142
103 14 Stockholm, Sweden
Tel: +46 8 723 02 60
Fax: +46 8 723 03 48
E-mail: seibac@nordnet.se
<http://nn.apc.org/sei/bac.html>

Instituto Interamericano de
Cooperación para la Agricultura (IICA)
Area II: Ciencia, Tecnología, Recursos
Naturales y Producción Agropecuaria
Apartado Postal 55-2200
Coronado, Costa Rica
Tel: +506 2 290 222
Fax: +506 2 294 741

Colaboradores

Alvarez Morales, Ariel, CINVESTAV, México
Artunduaga Sala, Rodrigo, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Colombia.
*Barreto de Castro, Luiz**, Ministério de Ciência e Tecnologia, Brasil.
Brown, C. R., USDA-Agricultural Research Service, USA.
Cabrera, Carmen, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile.
Douches, David S., Michigan State University, USA.
Frederick, Robert J., Biotechnology Advisory Commission (BAC), Sweden.
*Galvão, A. Paulo M.** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Costa Rica.
de García, Eva, Laboratorio de Biotecnología Vegetal, Universidad Central de Venezuela, Venezuela.
Ghislain, Marc, Centro Internacional de la Papa (CIP), Perú.
Golmirzaie, Ali, Centro Internacional de la Papa (CIP), Perú.
Hanneman, Robert E. Jr., USDA-Agricultural Research Service, USA.
Holuigüe, Loreta, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile.
Hopp, Esteban, Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria, Argentina
Kubicek, Quentin, USDA/APHIS, USA.
Lindarte, Eduardo, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Venezuela
Muñoz, Carlos, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile.
*Ñopo, Luis**, Centro Internacional de la Papa (CIP), Perú.
Oramas, Pedro, Plant Biotechnology Division, Center for Genetic Engineering and Biotechnology, Cuba.
Pagliano, Daniel, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay.
*Pett, Walter**, Michigan State University, USA.
*Ramachandran, S**, Chairman, Biotechnology Advisory Commission (BAC), Sweden.
Silva Ramos, Miguel Angel, Departamento de Investigación y Extensión, de la Secretaría Nacional de Agricultura y Ganadería (SNAG), Bolivia.
Virgin, Ivar, Biotechnology Advisory Commission (BAC), Sweden.

Para direcciones en detalle vea el Apéndice.

*No estuvo presente en el Taller

Prólogo

La agricultura enfrenta hoy en día formidables desafíos. Debe resolver en condiciones futuras inciertas, y de manera sostenible, las demandas crecientes de alimentos, sin comprometer las posibilidades de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades. Si miramos hacia atrás, observamos que con la revolución verde se produjo un crecimiento impresionante en la producción de alimentos. Los rendimientos de los principales cereales, como por ejemplo arroz, maíz y trigo, casi se duplicaron entre 1970 y 1994. Si comparamos este crecimiento paralelamente al de la población, es menos impresionante. Durante las dos últimas décadas, en dos tercios de los países en desarrollo, el crecimiento de la población ha sobrepasado al de la producción de alimentos. El efecto de las técnicas agrícolas en los ecosistemas genera preocupación, en especial en lo que se refiere a la sostenibilidad de la agricultura intensiva. Más y más tierra está bajo cultivo, cada año se usan más y más agroquímicos, y la erosión de las tierras ha alcanzado proporciones dramáticas en todo el mundo. Quizás el desafío más significativo que enfrentará la agricultura en las próximas dos décadas será el de conjugar el rápido incremento de la demanda de alimentos y de productos relacionados con la agricultura, con métodos de producción sostenibles. Mucha de esta demanda deberá ser satisfecha con lo obtenido en tierras con recursos marginales de agua y agroquímicos.

No hay duda de que la contribución potencial de la biotecnología, y más específicamente de la ingeniería genética, a la agricultura sostenible, es verdaderamente grande. También es cierto que los cambios en las prácticas agronómicas, incluyendo la introducción de nuevas variedades de cultivos, merecen una supervisión y seguimiento cuidadosos. Los biólogos crearon la primera planta transgénica apenas hace una década. Desde entonces el desarrollo ha sido asombroso. Los Estados Unidos esperan tener comercializados para 1996 por lo menos cinco cultivos genéticamente modificados. Inicialmente hubo preocupación sobre si los países en desarrollo alcanzarían a beneficiarse de los cultivos genéticamente modificados de origen local, dada la carencia de facilidades para realizar investigaciones avanzadas. Sin embargo, el desarrollo reciente ha demostrado que muchos de ellos están empezando a adaptar con rapidez los avances tecnológicos realizados en el Norte o en cualquier otra parte, a sus necesidades locales.

En Latinoamérica y el Caribe muchos científicos estarán dentro de poco, empezando a realizar pruebas de campo con plantas transgénicas desarrolladas por los institutos donde ellos trabajan. El progreso en la investigación ha sido particularmente rápido en el caso de la papa, uno de los cultivos más valiosos para la Región. Por su rápida adaptación a diferentes climas, que van desde las regiones templadas hasta las tierras bajas de los trópicos, es el alimento básico para grandes sectores de la población. No obstante, la papa también es susceptible a un gran número de plagas y factores de tensión abiótica. Por muchos años los programas tradicionales de propagación han luchado contra estos problemas, pero la pérdida de productividad todavía es significativa en la Región. Al mismo tiempo, el uso intensivo de insecticidas y fungicidas, está comprometiendo tanto la salud humana como el medio ambiente. Los científicos esperan que el desarrollo de papas

transgénicas pueda ayudar a aliviar estos problemas. Existe además otro factor importante que debe ser considerado. América Latina, y en particular la Región Andina, es el centro de diversidad genética de la papa: un tema directamente abordado en la Convención sobre Diversidad Biológica. A diferencia de Estados Unidos y Europa, los países latinoamericanos deben responder a las interrogantes sobre la probabilidad de la dispersión de genes, desde las papas transgénicas hacia los parientes silvestres, y a la incertidumbre de los posibles impactos en la diversidad genética de los cultivos.

Las memorias del Taller organizado por la BAC y el IICA, en Puerto Iguazú, los días 2 y 3 de junio de 1995, se ocupan de los interrogantes e inquietudes sobre los posibles riesgos ambientales relacionados con la introducción, en pequeña y gran escala, de papas transgénicas en su centro de origen. Proveen un punto de partida para el diálogo entre las autoridades reguladoras nacionales y los científicos de la Región, en la medida que ellos trabajan hacia una introducción segura de las papas transgénicas en Latinoamérica. Más allá de este objetivo limitado, las consideraciones e ideas expresados en este Taller, deberán contribuir también a las deliberaciones sobre la aplicación segura de otros cultivos transgénicos en sus centros de origen.

S. Ramachandran
Chairman of the BAC

Washington, noviembre de 1995

A. Paulo M. Galvao
Director, Area II, Ciencia, Tecnología,
Recursos Naturales y Producción
Agropecuaria, IICA

San José, noviembre de 1995

Presentación

Robert J. Frederick*, Ivar Virgin*, y Eduardo Lindarte**

*Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología, Estocolmo, Instituto del Ambiente, Suecia, e

**Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Venezuela.

Antecedentes

La biotecnología actual ha superado las etapas iniciales de los descubrimientos. Su utilización en diversas industrias se evidencia por un impresionante y creciente número de productos comerciales. Si bien, los avances en la biotecnología agrícola se han quedado atrás de las predicciones iniciales, los cultivos transgénicos están en el mercado, y es claro que su ritmo de desarrollo se incrementará en todo el mundo. Luego del final de siglo, se prevee que la alimentación y la agricultura, pasen de una participación del 21%, en un mercado mundial de productos derivados de la biotecnología de 20 a 40 millardos anuales, a una participación del 48% en un mercado de 45 a 200 millardos de dólares anuales (Sasson, 1993). La aceleración impulsa la urgencia de entender las consecuencias de estos desarrollos. Tan rápido ritmo de crecimiento sobrepasa nuestra capacidad para evaluar y ponderar los riesgos y beneficios de las nuevas tecnologías. Para los países en desarrollo, esta situación viene dada por el hecho de que las frutas, vegetales y granos transgénicos, creados y probados en cualquier lugar del mundo, ahora arriban a sus fronteras.

Estado de la tecnología y de su regulación

La adopción y expansión de biotecnologías en Latinoamérica se ha retrasado por diversas razones: económicas, políticas y sociales (Sasson, 1993). Desde el inicio ha existido un gran interés

en estas tecnologías, y hay indicios de un incremento en su utilización. Esto se pone en evidencia por el número de laboratorios de investigación involucrados en la investigación biotecnológica, y el interés demostrado en contar con mecanismos de revisión regulatoria vigentes.

Uno de los puntos de referencia, usado para medir los progresos de la agricultura biotecnológica, es el número de las pruebas de campo de cultivos transgénicos realizadas hasta la actualidad. Mientras que una mayoría abrumadora ha sido realizada en el Norte, también se han llevado a cabo un número significativo en el Sur. En América Central, América del Sur y en el Caribe se han reportado 76 pruebas hasta fines de 1994 (Krattiger, 1994). Sin embargo, con dos excepciones, los cultivos transgénicos destinados a los campos latinoamericanos han sido desarrollados en el Norte. Esta situación está cambiando. Los laboratorios internacionales y nacionales en Latinoamérica, han empezado a probar plantas transgénicas desarrolladas por sus propios científicos, y existen al menos 11 grupos latinoamericanos involucrados en investigación de papa transgénica, el cultivo más afectado por este tipo de manipulaciones. De hecho es una de las primeras plantas transgénicas desarrolladas por científicos latinoamericanos, que ha sido probada en el campo.

Mientras que muchos de los países latinoamericanos cuentan con mecanismos

reguladores vigentes, la mayoría no los tiene (Virgin, Frederick, 1995). Para junio de 1995 sólo cinco de dieciséis países latinoamericanos; (Brasil, Argentina, Chile, Costa Rica y México), y un país caribeño (Cuba) disponían de un mecanismo de revisión. Con la ayuda de la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas), del IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), el Centro Internacional de la Papa (CIP), y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), se está produciendo una mayor toma de conciencia sobre la necesidad de contar con regulaciones armonizadas. En Costa Rica, en 1992, el IICA patrocinó una reunión sobre bioseguridad. Esto condujo a la publicación del documento "Orientaciones en Bioseguridad para América Latina". En junio de 1994, una conferencia de la Región Andina, exploró las posibles modalidades de las orientaciones regionales. En marzo de 1995, se llevó a cabo otra reunión regional en Costa Rica. Estos esfuerzos destacan particularmente el interés, no sólo en el uso de la biotecnología, sino en su aplicación segura.

Ciencia y evaluación del riesgo

El uso del conocimiento científico y la comprensión en los procesos de evaluación para el análisis de los riesgos de la biotecnología, ha estado evolucionando desde fines de los años ochenta. A medida que nos encontramos más familiarizados con las respuestas a los «viejos» temas, se sigue incrementando el número de temas «nuevos». Uno de ellos emergió cuando convergió el interés en la biotecnología con el interés en la biodiversidad. La biotecnología ocupó un lugar prominente en la discusión que rodeó la Convención en Diversidad Biológica (CBD). James Mc Neely (1994) sucintamente resumió

esta conexión de la siguiente manera: *Las nuevas biotecnologías pueden aumentar el valor de la biodiversidad mundial, si permiten el uso incremental de la diversidad genética, tanto de especies silvestres como domesticadas, incrementando con ello su importancia económica. Pero también la biotecnología implica riesgos económicos y ecológicos significativos, que en última instancia pueden minar su contribución potencial a la conservación de la biodiversidad. La introducción de cualquier organismo nuevo representa un riesgo para el ambiente, y se sabe que la extinción de muchas de las especies en el mundo, se ha debido primordialmente a la introducción de especies exóticas. De allí que, la liberación de organismos genéticamente modificados al ambiente, requiere de una supervisión y de un seguimiento muy cuidadosos.*

La Convención en Diversidad Biológica une al acceso a fuentes genéticas, la cooperación científica y la transferencia de tecnología de países desarrollados hacia países en desarrollo. En los Artículos [8g] y 19, las preocupaciones de los países en desarrollo sobre la biotecnología fueron expresadas muy claramente. Se hizo un llamado para examinar la necesidad de introducir un protocolo internacional para protegerse contra la invasión de organismos transgénicos procedentes del Norte, en campos de pruebas del Sur.

Abordando este tema, los doctores Rissler y Mellon (1993) focalizaron las implicaciones internacionales de los cultivos transgénicos desarrollados en el Norte -donde son raras las especies relacionadas- y su comercialización en el Sur, donde están los centros de origen o de diversidad de esos cultivos. En

sus recomendaciones los autores hacen un llamado para establecer «un programa gubernamental fuerte que asegure la evaluación de los riesgos de todas las plantas transgénicas, y una consideración adecuada a los centros de diversidad de cultivos, aquí y en cualquier parte del mundo», antes que se permita a una compañía comercializar un cultivo.

Objetivo del Taller

En la actualidad, con la producción de tomates transgénicos como una realidad, es el momento apropiado para pasar revista a las preocupaciones ambientales desde la perspectiva de los científicos ubicados en los centros de origen o diversidad. Las evaluaciones en bioseguridad de las papas transgénicas representan un desafío especial a las autoridades reguladoras en Latinoamérica. Se han realizado pocas evaluaciones en la Región, donde por contraste con la mayoría de las solicitudes hechas en la actualidad de autorizaciones para pruebas de campo, la cuestión del «centro de origen» es pertinente. Por esta razón, las papas transgénicas en Latinoamérica fueron escogidas como el foco del Taller.

En el pasado se han realizado talleres relevantes en la materia. Uno de los más significativos fue el convocado en Saint Andrews, Escocia, en 1991 (USDA, 1991). Este Taller denominado «Medidas de Salvaguardia para la Introducción Planificada de Papas Transgénicas» sirvió de foro público para presentar y debatir estos temas preocupantes. Los participantes discutieron el potencial para transferir genes desde las papas transgénicas a otras especies o líneas, las consecuencias de la transferencia, y cómo eliminar o minimizar las consecuencias adversas debidas al flujo génico. La mayoría de los participan-

tes en el Taller concluyó, que las mejoras biomoleculares de la papa deben proseguir, que los experimentos deben ser diseñados de la manera más segura posible, y que existe la necesidad de una cuidadosa y racional evaluación de la seguridad de los experimentos y de una provisión de financiamiento adecuado para los mismos; y que existe la necesidad de «demostrar al público que los experimentos ...van a ser seguros». Muchos sintieron «que la única probabilidad... para limitar la dispersión de un gen se da en experimentos a pequeña escala». La discusión se focalizó en las liberaciones «experimentales» confinadas, desde la perspectiva del Norte. Es importante resaltar que las conclusiones de este Taller, en gran medida se basaron en la exclusión de la transferencia génica desde las plantas transgénicas hacia las especies interfértiles, debido a que no existen parientes silvestres en Estados Unidos o Europa. Para las introducciones en el centro de origen de un cultivo, el impacto potencial del flujo génico requiere ser considerado con mayor profundidad.

El Taller BAC/IICA en Puerto Iguazú, fue diseñado para aprovechar la información generada a partir de 1991, y para considerar la etapa de desarrollo del cultivo a gran escala (comercial). Los científicos latinoamericanos investigadores en papa y las personas invitadas discutieron conjuntamente los temas. Los 35 participantes provinieron de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, Estados Unidos, México, Perú, Uruguay, y Venezuela. Ellos trabajan en universidades, oficinas gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, laboratorios internacionales, y en el sector privado. En el Apéndice 1 se incluye una lista de los participantes. Se ofrecen estas memorias del Taller, con la esperanza de

que ayuden, no sólo a los participantes, sino a cualquier persona interesada en los problemas ambientales de las plantas transgénicas en los centros de origen.

Las memorias del Taller están resumidas en ocho capítulos. En el Capítulo 1 se da una visión global de la historia de la papa, así como de las tendencias actuales en el desarrollo de papas transgénicas. El Capítulo 2 muestra el estado actual de la investigación en plantas transgénicas en Latinoamérica, y en particular del desarrollo de papas transgénicas. En el Capítulo 3 se analiza el tema del potencial y las implicaciones ambientales del flujo génico, desde las papas transgénicas hacia sus parientes silvestres. En el Capítulo 4 se examinan de manera general las preocupaciones ambientales relacionadas con las papas transgénicas. En el Capítulo 5 se exploran las preocupaciones vis-à-vis la introducción de rasgos genéticos específicos, que confieren un incremento en la resistencia a los virus e insectos. El Capítulo 6 resume los puntos de vista de los participantes sobre las preocupaciones ambientales y los beneficios potenciales de las papas transgénicas, tal como fueron expresados en las reuniones de trabajo de los grupos. En el Capítulo 7 se presentan con propósitos comparativos, datos sobre pruebas de campo realizadas en Estados Unidos. Finalmente, en el Capítulo 8, se listan las recomendaciones de los participantes. Cada presentación fue seguida de

intensas discusiones, y hemos tratado de reflejar y capturar la esencia del debate en los recuadros de discusión, que están incluidos en cada capítulo del trabajo. Las preguntas (P) fueron todas de naturaleza espontánea y se editaron, cuando se produjeron redundancias, para minimizar las repeticiones y mejorar la calidad; por las mismas razones también fueron editadas las respuestas.¹

Limitaciones

A pesar que el Taller fue muy productivo, es importante reconocer que tuvo deficiencias, algunas advertidas y otras no. Por limitaciones de espacio y recursos financieros, fue necesario restringir la asistencia; consecuentemente no pudieron estar representadas todas las disciplinas y afiliaciones. Así por ejemplo, durante la reunión se elaboró una nota especial, sobre la necesidad de contar con los ecologistas, cuando se discuta el tema de impactos ambientales. Las implicaciones sociales de la expansión de la biotecnología no fueron discutidas. No debe sorprender, por lo tanto, que los organizadores y los participantes consideren esta reunión sólo como un punto de partida para explorar temas de importancia como: bioseguridad, conservación de la biodiversidad, y los impactos potenciales de la producción comercial de cultivos transgénicos en los centros de origen y/o diversidad. Está muy claro que son necesarias mayores reflexiones e investigaciones para solucionar muchas de las

¹ Se fomentó un intercambio franco y abierto de información durante el Taller. Los resultados son producto del esfuerzo combinado y de los comentarios de todos los participantes. Mientras que en algunas áreas se presentaron amplios puntos de vista, en otras se lograron acuerdos específicos, y también se incorporan en el informe, un variado rango de impresiones y opiniones particulares. Las opiniones y puntos de vista expresados en esta publicación, no reflejan necesariamente los de la Comisión Asesora en Biotecnología (BAC), ni los del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Mas aún, las opiniones expresadas en los recuadros de discusión, no reflejan necesariamente los puntos de vista del autor de ese capítulo.

cuestiones planteadas. Se espera que las memorias del Taller promuevan y alien-ten la discusión y el debate en la materia.

Reconocimientos

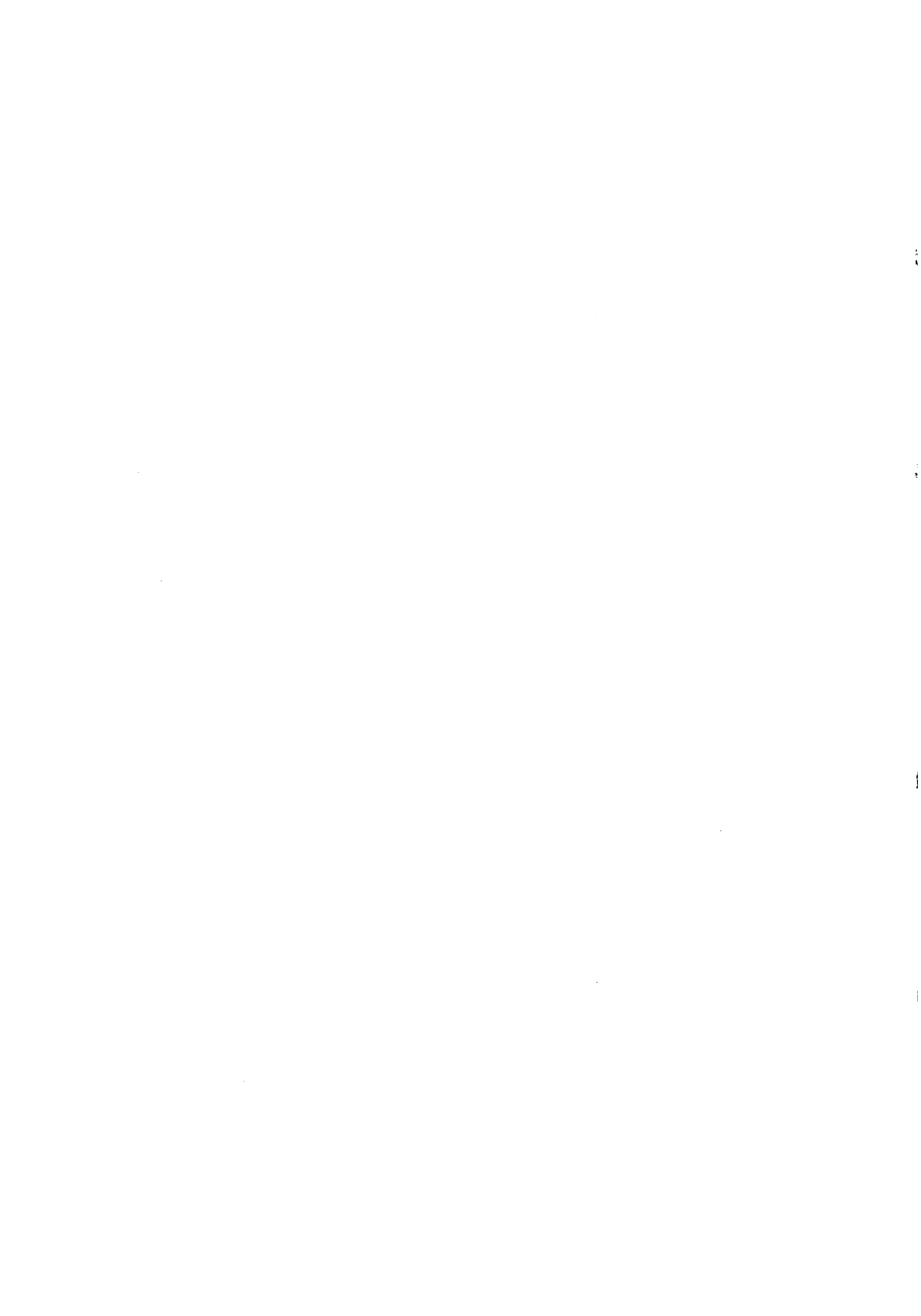
Los editores y organizadores agradecen la ayuda y asistencia recibida de muchas personas que hicieron posible la reunión y este documento. Especialmente agradecemos al Dr. Walter Jaffé, cuyas ideas y sugerencias en las etapas iniciales fueron muy valiosas. También expresamos nuestro reconocimiento por la ayuda recibida de los miembros de la Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología, en materia de sugerencias sobre personas claves y temas a considerar. Los Doctores Pagliano, Muñoz, Brown y Hope hicieron comentarios y recomendaciones al borrador inicial de las memorias. El financiamiento fue provisto por la Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología (BAC) y por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Por último le agradecemos a los participantes por el interés demostrado, y por su contribución a las discusiones abiertas.

Citas bibliográficas

- Krattiger, A.F. 1994. The field testing and commercialization of genetically modified plants. In A.F. Krattiger and A. Rosemarin (eds.) *Biosafety for Sustainable Agriculture - Sharing Biotechnology Regulatory Experiences of the Western Hemisphere*. ISAAA, Ithaca and SEI, Stockholm. pp. 247-266.
- McNeely, J.A. 1994. Critical issues in the implementation of the Convention on Biological Diversity. In Krattiger, A.F., et al. (eds.) *Widening Perspectives on Biodiversity*. pp. 7 - 10. IUCN,

Gland, Switzerland and International Academy of the Environment, Geneva, Switzerland.

- Rissler, J. and Mellon, M. 1993. *Perils amidst the promise: ecological risks of transgenic crops in a global market*. Union of Concerned Scientists, Cambridge, Massachusetts. 92 p.
- Sasson, A. 1993. *Biotechnologies in developing countries: present and future. Volume 1: Regional and national survey*. UNESCO Publishing, Paris. 764 p.
- USDA. 1991. *Workshop on safeguards for planned introduction of transgenic potatoes*. Helgeson, J.P. and Davies, H., (eds.). Animal and Plant Health Inspection Service, United States Department of Agriculture, Washington, DC.
- Virgin, I. and Frederick, R.J. 1995. The impact of international harmonization on adoption of biosafety regulations. *African Crop Science Journal*. 3:1-7.



Capítulo 1

Difusión del Germoplasma de Papa y la Propagación Moderna

C.R. Brown. Genetista Investigador, USDA-Agricultural Research Service, USA

Resumen

Este trabajo pasa revista a la historia de la papa y a las tendencias actuales del desarrollo de papas transgénicas. La papa inició el viaje desde su centro de origen como una planta despreciada y extranjera. Su aceptación ha sido lenta, y casi siempre basada en el cambio genético de la especie introducida inicialmente. La papa fue adoptada como alimento de las masas, al mostrarse como una fuente de alimentación confiable y generalmente productiva. La infusión de genes desde el centro de origen no fue común y resultó poco efectiva hasta el siglo XX. Aún después de varios siglos, nuestro conocimiento de la papa y de sus familiares en su habitat original, así como de su actual diversidad genética, sigue siendo pobre. Sólo en el último medio siglo se ha venido desarrollado un rico conocimiento de los cultivares nativos y de las especies silvestres, que abarcan miles de entidades genéticas únicas. Hoy en día, la papa continúa siendo mejorada, a través de introducciones intensivas en la propagación de nuevas variedades. La inserción de genes ofrece también la posibilidad de desarrollar variedades que calcen en un nicho de mercado específico. Está aún por verse si la inserción de genes será una gran revolución, o una valiosa ayuda a la reproducción tradicional. La experiencia nos enseña que aún tenemos mucho que aprender y que, esperanzadoramente en el futuro se podrán alcanzar muchos beneficios.

Contacto inicial

Cualquier enfoque sobre la historia genética de la papa debe comenzar con el hecho de que es originaria de Sudamérica. En 1532, los españoles que llegaron a lo que es el actual Perú, vieron a la papa como un cultivo significativo, y fundamental en la civilización incaica y otras civilizaciones de la Cordillera de los Andes centrales. A pesar de que no existe ningún documento específico de la ruta de introducción de la papa a Europa, al pare-

cer sucedió en 1570, pues hay registros de un hospital que adquirió papas para la alimentación en Sevilla, España, en 1573 (Hawkes, 1990).

Parece que la importancia de la papa, como alimento de la Región Andina, no fue conocida por los herbolarios y botánicos europeos. Desde España, fue llevada a Italia, luego a Inglaterra en 1586 y después a Alemania en 1601. Clusius, botánico belga, estando en Viena en 1588,

recibió dos tubérculos; al año siguiente recibió una acuarela, la primera representación pictórica de la planta en el viejo mundo. En Inglaterra, el herbolario John Gerard incluyó la papa en un catálogo en 1596 (Hawkes, 1990). Debido a su adaptación a períodos diurnos cortos, las papas introducidas se tuberizaban tardíamente y solo producían pequeños tubérculos en ambientes con períodos diurnos excepcionalmente largos, libres de heladas. Consecuentemente, por muchos años, el potencial de la papa como cultivo comestible no fue muy destacado, y fue vista más bien como una novedad botánica.

En ese mundo anterior a Linneo, los botánicos europeos del siglo XVI se esforzaron por ubicar a la papa en una categoría adecuada. Su similitud con la trufa llevó a que los herbolarios la llamaran por ese nombre durante un tiempo. No era claro si el pequeño fruto verde, el despreciable tubérculo, podría estar destinado a ser un producto comestible. Aquellos que observaban su similitud con las sombras nocturnas sospechaban que podía ser venenosa. Su parecido con el tomate, y la forma fállica del tubérculo, fueron razones suficientes para etiquetarla como afrodisíaco, avergonzando a cualquiera que mostrase interés en ella. Fue incluso, debido a la apariencia de su cáscara, acusada de causar la lepra.

Adopción como alimento

A lo largo de un siglo y medio, la ambivalencia inicial y la oposición frontal se fueron transformando lentamente, hasta llegar al uso intensivo de la papa como parte importante de la dieta en ciertas áreas geográficas. Cómo ocurrió esto, permanece todavía en el campo de la especulación, pero se sabe de la introduc-

ción inicial del fruto con semillas obtenidas por reproducción sexual. Estas deben haberse seleccionado por su mayor adaptación a días con largos períodos de luz, proceso que seguramente ocurrió inconscientemente en manos de los horticultores. En todo caso, el beneficio creciente dio lugar al reconocimiento de la papa como un posible rubro principal en la dieta. Hacia finales del siglo XVIII, la papa fue identificada en Francia como alimento contra la hambruna, que podía alimentar confiablemente a las masas cuando otros cultivos fallaban. Fue promocionada en alto grado por Antoine - Auguste Parmentier, que la comió por primera vez siendo prisionero de guerra en Alemania. Posteriormente escribió varios folletos (1773 a 1786) describiendo su composición química, métodos de preparación y prácticas hortícolas. Su ensayo "Investigación en Vegetales Nutritivos para Sustituir los Alimentos Tradicionales en Períodos de Hambruna", exaltaba la adopción de la papa como necesaria para mantener la estabilidad del suministro alimentario y el progreso cultural de Francia (Parmentier, 1781).

Existen numerosos atributos de la papa que le permitieron encontrar un nicho único en las prácticas agrícolas de Europa. La semilla del tubérculo era relativamente grande permitiendo una fase de crecimiento inicial vigorosa y, si se presentaba una adversidad severa, la abundante reemergencia desde nuevos vástagos. Su rendimiento en suelos marginales era sustancialmente mayor que los del trigo y la cebada; la papa arrojaba un medio o un tercio de cosecha, mientras que con los otros cultivos, por el pequeño tamaño de los granos, en buena parte se perdía la cosecha. El paso de un ejército, amigo o

enemigo, producía frecuentemente la confiscación o destrucción del alimento en cualquiera de sus formas, y era el precedente de una amenaza de hambruna. Naturalmente la localización subterránea de la papa la protegió frecuentemente del pillaje. Mientras que un campo de trigo, cercano a la cosecha, podía ser incendiado y el ganado robado, las papas permanecían fuera de la vista. Las papas no requieren otro procesamiento que la cocción, que puede ser hecha de manera muy simple poniéndolas en el rescoldo del fuego. La facilidad de preparación convierte al dueño de casa en un proveedor autosuficiente de su sustento, desde la preparación del cultivo hasta la ingestión de la cosecha; de este modo, y a pesar de su procedencia extranjera, la papa se convirtió en un importante cultivo de masas.

La papa en Irlanda

La papa adquirió suprema importancia en Irlanda. Durante los siglos XVIII y XIX este país constituía una colonia económica de Inglaterra. La mayoría de familias irlandesas vivía como inquilina en tierras de propietarios ingleses, en donde a cambio del alquiler de la tierra se les exigía producir carne y granos para la exportación y el ingreso del dueño de la tierra. La papa entró, en estas circunstancias, como proveedor de alimento para el consumo familiar; debido a que no era parte de la relación inquilinaria, fue sembrada en las tierras más pobres, dando buenos rendimientos cuando ello ocurría en fajas elevadas de terreno abonadas con estiércol animal (Salaman, 1985). La permanencia en la tierra de tubérculos no cosechados, hacía en general innecesaria la resiembra. Debido a que los irlandeses se encontraban atrapados en un servilismo económico

empobrecedor, la aparición de un alimento que podía ser sólo de ellos, y que no presentaba ningún interés para el propietario de la tierra, fue casi una bendición. Los méritos de la papa coincidieron con, y deben haber sido uno de los factores causantes de, la explosión poblacional irlandesa, que pasó de 1.5 a 9 millones de habitantes entre 1790 y 1845 (Hobhouse, 1986).

Primeros conceptos en propagación de la papa

A pesar de que los científicos de la época conocían el origen de la papa, se realizaron muy pocas introducciones nuevas, en los dos siglos y medio posteriores a la inicial. Los pocos tipos que iban apareciendo resultaron difíciles de mantener al producir sus tubérculos tardíamente en la estación, e infectarse de virus, con las pérdidas subsiguientes. El valor de la maduración temprana fue reconocido, y se experimentó con la selección sexual de la progenie. Cuando empezaron a declinar los rendimientos de todas las variedades, se reemplazaron los viejos cultivares clonales con nuevas semillas producidas sexualmente, como método para restaurar su vigor. Sin embargo, la reproducción de la papa se realizaba básicamente mediante el reciclaje de un inventario estático de genes (Glendinning, 1983).

La base genética estrecha demostró que la papa era vulnerable. En 1845, la epifitía del tizón tardío, producida por el hongo *Phytophthora infestans*, apareció en Irlanda. Las variedades allí existentes, principalmente la "Lumper", carecía de resistencia, tuvo fallas en el campo y se pudría cuando era almacenada. Habían pocas opciones, ya que los irlandeses vivían

a nivel de subsistencia y la economía estaba controlada por los dueños ingleses de tierras. Los irlandeses vivían virtualmente fuera de una economía monetaria, pues no recibían ingreso por lo que producían, ya que ello era más bien el pago por el alquiler de la tierra. Aún durante la hambruna, fueron exportados pequeños acopios de granos, porque los dueños de tierras podían obtener tremendos beneficios debido a un descenso mundial en el suministro de alimentos. Los irlandeses carecían de dinero para adquirir la comida que pertenecía a los dueños de las tierras. La dependencia manifiesta de su dieta provocó una hambruna masiva y la emigración. Se ha estimado que un millón de personas murió por la hambruna y dos millones emigraron.

"Rough Purple Chili" la introducción de Goodrich

La última epidemia de tizón tardío fue el primer ejemplo de una falla extendida en la cosecha debida a una base genética estrecha. La última epidemia de tizón incrementó la preocupación sobre la necesidad de desarrollar cultivares resistentes. El Reverendo Chauncey Goodrich, del Estado de Nueva York, obtuvo clones de papa de origen sudamericano a través del Consulado en Panamá en 1851. Retrospectivamente, se puede especular que las papas vinieron originalmente de Chile, donde el período de luz solar diario es similar al de Nueva York. El clon simple que él excluyó de estas introducciones se denominó "Rough Purple Chili". Semillas polinizadas a campo abierto dieron origen a plántulas, de las que se tomaron muestras de tallos, y luego de ciclos sexuales sucesivos se desarrollaron la "Garnet

Chili" y la "Early Rose". Goodrich vio en la papa un alimento nutritivo que podría mejorar la situación alimentaria de la humanidad, si fuese posible obtener variedades con capacidad de supervivencia. Para él, la propagación de la papa tenía más el carácter de una cruzada que el de un pasatiempo. Trabajar con germoplasma introducido desde el área de origen era difícil. Goodrich descartó la mayoría, salvo algunos clones, luego de una considerable labor de muchos años, dudando incluso si ello valía la pena. A pesar que el Reverendo Goodrich consideró que sus esfuerzos fracasaron, el impacto de su trabajo en propagación ha sido tremendo, debido al uso de la "Early Rose" como progenitor universal. "Russet Burbank", la variedad de papa más importante procesada en Norteamérica, es una mutante somática de la "Burbank", que desciende de la "Early Rose". De este modo, la "Rough Purple Chili" es la bisabuela de la "Russet Burbank" y ancestro de más de 100 variedades norteamericanas, y de más de 300 variedades europeas (Hawkes, 1979; y Plaisted y Hoopes, 1989). Al otro lado del Atlántico, un contraparte del estilo de Chauncey Goodrich, William Paterson, de Dundee, Escocia, inició sus esfuerzos en propagación en 1853, con el propósito expreso de obtener una mayor resistencia al tizón. A pesar de ser cuestionable si la obtuvo, una de sus variedades "Paterson's Victoria" tuvo gran éxito, y a través del tiempo se ha convertido en ancestro de las variedades más importantes de principios del siglo XX (Salaman, 1926).

El último cuarto del siglo XIX se caracterizó por un considerable interés privado en la reproducción de la papa. Generalmente los propagadores solo

hacían cruzamientos entre variedades conocidas. Como consecuencia de esto, la naturaleza del inventario génico cambió muy poco. Los propagadores no reprodujeron líneas que podrían haber tenido características importantes, porque no se orientaban al éxito comercial. El origen de las variedades era generalmente un secreto, y hubo casos de variedades que fueron reintroducidas bajo nuevos nombres por motivos comerciales. (Glendinning, 1983).

Uso de la *Solanum Demissum* por su resistencia al tizón tardío

Una importante hipótesis sobre la resistencia al tizón tardío fue elaborada en el Jardín Botánico de Edinburgo en 1910. La colección de tubérculos fue aniquilada por el tizón tardío, a excepción de un acceso procedente de México. Este acceso se denominó *S. x edinense*. Posteriormente se determinó que era un híbrido de papa cultivado con la especie silvestre mexicana *S. demissum*. En Alemania y Estados Unidos se desarrolló la propagación de líneas resistentes al tizón tardío, y constituyó el primer uso intensivo de especies silvestres en la historia de la propagación de la papa, para lograr el mejoramiento específico de un rasgo.

Recolección sistemática de germoplasma

En 1925 se iniciaron expediciones científicamente planificadas de recolección, conducidas inicialmente por científicos soviéticos, bajo la guía de N. I. Vavilov. Generalmente las recolecciones estaban restringidas a ciertas áreas geográficas. Fueron recolectadas especies silvestres y cultivares nativos. Se condujeron expediciones patrocinadas por

la Unión Soviética en 1925-6 y 1927, guiadas por S. Bukasov y S. Juzepczuk, respectivamente. En 1930, una expedición patrocinada por Alemania fue guiada por el equipo de Bauer y Schick, seguida de una expedición liderada por N. Vavilov de la Unión Soviética en 1932. Estas fueron seguidas por una expedición patrocinada por Suecia en 1933-34 guiada por C. Hammarlund, y dos expediciones en 1938 y 1939 patrocinadas por Gran Bretaña, llevadas adelante por Balls y Gourlay en el primer viaje, y por el equipo Balls, Gourlay y Hawkes en la segunda expedición. El Profesor Hawkes, a lo largo de más de medio siglo, literalmente desentrañó los secretos del tubérculo de la *Solanum*. Estas expediciones condujeron al establecimiento de bancos de germoplasma en Europa y en Estados Unidos, y a la realización de la síntesis de la primera taxonomía unitaria de los familiares silvestres de la papa. La evaluación de los ingresos a estos bancos, resistentes a las plagas y patógenos, condujo a la utilización intensiva de ciertas especies silvestres como fuentes de resistencia. Ya para mediados del siglo XX, este trabajo estaba bien encaminado en Europa, mientras que en Estados Unidos y Canadá esto solo se ha logrado hace poco tiempo. Para ese entonces se había llegado a establecer que la resistencia al tizón tardío de la *S. demissum* no es durable. Había una correspondencia gen a gen entre la resistencia de la papa huésped y la virulencia patógena del *Phytophthora*. Los cultivares inmunes al tizón, desarrollados a partir de la *S. demissum*, se vuelven completamente vulnerables cuando aparece un nuevo genotipo virulento del hongo. Desde 1950 ha habido una búsqueda generalizada de fuentes durables de resistencia al *Phytophthora*. Esto implica

que la resistencia se debe basar en un obstáculo multigenético a la infección y a la progresión de la enfermedad, en varias etapas del proceso patogénico. (Toxopeus, 1964).

Las extensas recolecciones de los últimos cincuenta años han permitido la elaboración de un cuerpo considerable de conocimiento biosistémico. Ultimamente se ha expandido el conocimiento sobre la diversidad de los cultivares nativos. Es sabido, por ejemplo, que ocho especies de papa son cultivadas. Existen alrededor de 5000 cultivares en el Centro Internacional de la Papa (Centro Internacional de la Papa, 1988). La gran mayoría de los cultivares se clasifican como *Solanum tuberosum* ssp andígena, un tetraploide. El segundo grupo más grande es el de los diploides. Son mucho menos numerosos los triploides y pentaploides, y dos de ellos *S. x juzepczukii* y *S. x curtilobum* son cultivares especializados en resistencia a las heladas por su virtud de ser híbridos con las especies silvestres *S. acaule*. Estos cultivares se encuentran en las elevaciones más altas de la cultura de la papa. Poseen un alto contenido de glicoalcaloide, requiriendo de procesamiento para extraer este compuesto amargo, y hacer un producto comestible deshidratado deno-

minado chuño. Aún hoy en día se cultivan papas amargas, pero carecen de alto valor en el mercado, y por esto están limitadas a ambientes donde se producen heladas. El chuño capturó la atención de los escritores que vinieron con los conquistadores españoles, por su capacidad de almacenamiento, transportabilidad, valor nutritivo y disponibilidad durante las hambrunas, producidas por la pérdida de las cosechas.

Cultivares nativos en la actualidad

En la actualidad los cultivares nativos se encuentran en localidades rurales. Solo hasta cierto punto ellos compiten con las variedades propagadas en la actualidad, y su producción se mantiene, porque son demandadas por sus rasgos culinarios. Por ello, una familia rural puede cultivar una variedad reproducida, papa aguanosa o papa blanca, para la venta en los mercados de la ciudad, porque sus rendimientos son mayores a los de las viejas variedades tradicionales, y la papa regalo o papa color, para ser conservadas para el autoconsumo, o para la venta de la sobreproducción en los mercados locales a precios premium.

En un examen detallado de dos campos mixtos en el sur del Perú se identificaron 26 variedades distintas: cinco eran diploides, tres triploides (no del tipo amargo) y las restantes tetraploides (*Solanum tuberosum* ssp andígena) (Jackson, Hawkswes, and Rowe, 1980; Quirós, et al., 1990). En otro estudio realizado cerca del Cuzco al sur del Perú, se encontró que un campo con cultivares nativos tradicionales podía tener entre 10 y 30 variedades, promediando 20. En 28 campos mixtos de papa muestreados, se encontraron 79 cultivares, que podían ser separados en 164

Discusión:

P: ¿Debe la existencia de grandes colecciones ex situ de las especies *Solanum* disminuir las preocupaciones por la pérdida de la diversidad?

R: Solo cincuenta por ciento de las especies silvestres de la *Solanum* son colecciones ex situ. La evolución continua de las colecciones de las especies *Solanum* silvestres in situ puede ser más valiosa que la conservación ex situ.

Difusión del Germoplasma de Papa y la Propagación Moderna

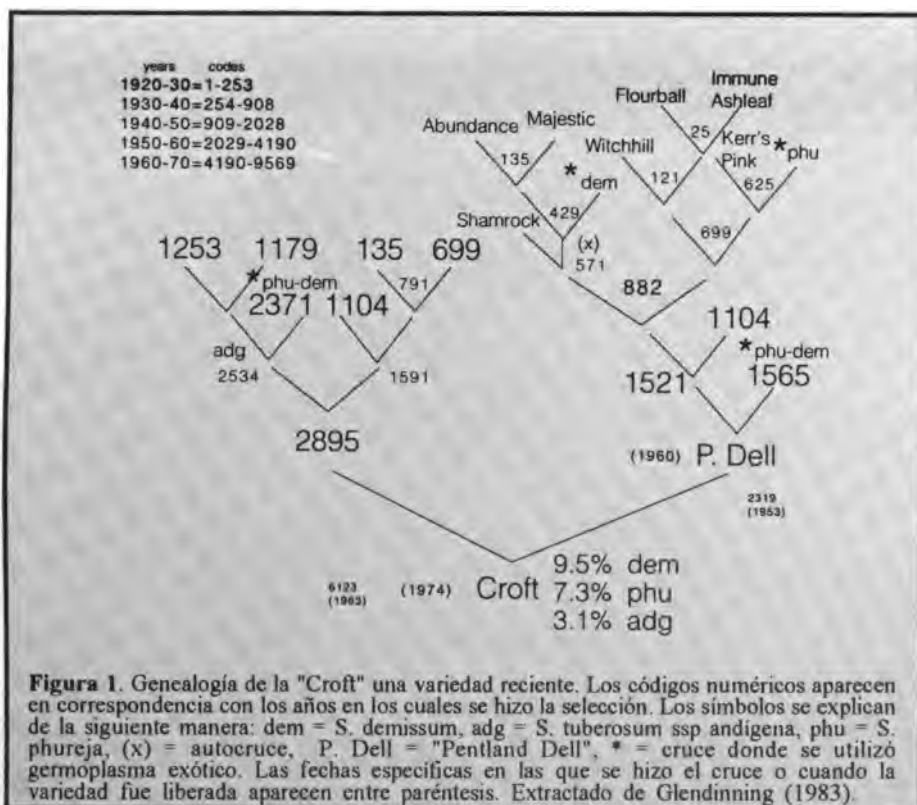
subcultivares. De los 79 cultivares, un tercio eran cosmopolitas, encontrándose en tres regiones distintas, mientras que el resto acusaba una distribución restringida, en ciertos casos limitada a solo uno o dos campos de toda el área muestreada. (Zimmerer, 1991).

La nomenclatura autóctona de la papa refleja una sofisticación y diferenciación considerables, y concuerda con su morfología y uso en la economía familiar. La comparación de los marcadores biogénéticos y de los nombres locales, acusa un alto grado de correspondencia entre la identificación del agricultor y el genotipo, a pesar de que ocasionalmente variedades similares en apariencia pero genéticamente diferentes, son clasificadas como de una misma variedad por los agricultores.

(Quirós et al, 1990). Las variedades de papas se clasifican de acuerdo con su método de preparación, ya sea por ser más adecuadas para hervirlas, para sopa, para puré o para otro tipo de platos, o papas amargas, para su procesamiento en chuño, hecho de cultivares resistentes a las heladas. Los nombres de los cultivares en las lenguas Quechua o Aymara, a menudo, son descriptivos de apariencia -cara de gato, niña negra, lengua de llama, garras de puma-, o de su función, "papa para la fiebre", "papa para destetar al niño de la leche materna" (Brush, 1980; y Christiansen, 1967).

Especies silvestres

Mientras que 8 especies son cultivadas, existen aproximadamente 200 especies



silvestres, distribuidas desde el suroeste de Estados Unidos hasta Chile y Argentina en Sudamérica. Las colecciones llevadas por los expedicionarios en la forma de tubérculos vivos o semillas botánicas, le han dado a los patólogos, nematólogos y entomólogos, la oportunidad de buscar fuentes de resistencia. Se ha descubierto que muchas de estas especies presentan una alta resistencia a las plagas y patógenos. Esto ha llevado en los últimos tiempos a la incorporación de genes silvestres en numerosas variedades. Ejemplo de esto es la resistencia al nemátodo *Globodera* (potatoe cyst), derivada de la *S. vernei* y de otras especies (Ellenby, 1948; Ellenby, 1954; Mai y Paterson, 1952), la resistencia de la papa al virus X

de la *S. acaule* (Ross, 1954), y la resistencia al virus Y de la *S. stoloniferum* (Ross, 1958). La resistencia al tizón tardío se ha derivado de la *S. demissum* como ya se describió. Se suman a esto, prometedores programas de investigación donde la resistencia a otros patógenos y plagas podrá ser incorporada a las papas en el futuro.

Utilización del germoplasma exótico

También ha habido interés, e intensa actividad para lograr a la brevedad, germoplasma adaptado a cultivares nativos, para enriquecer la diversidad del inventario genético adaptado a días con largos períodos de luz en latitudes altas.

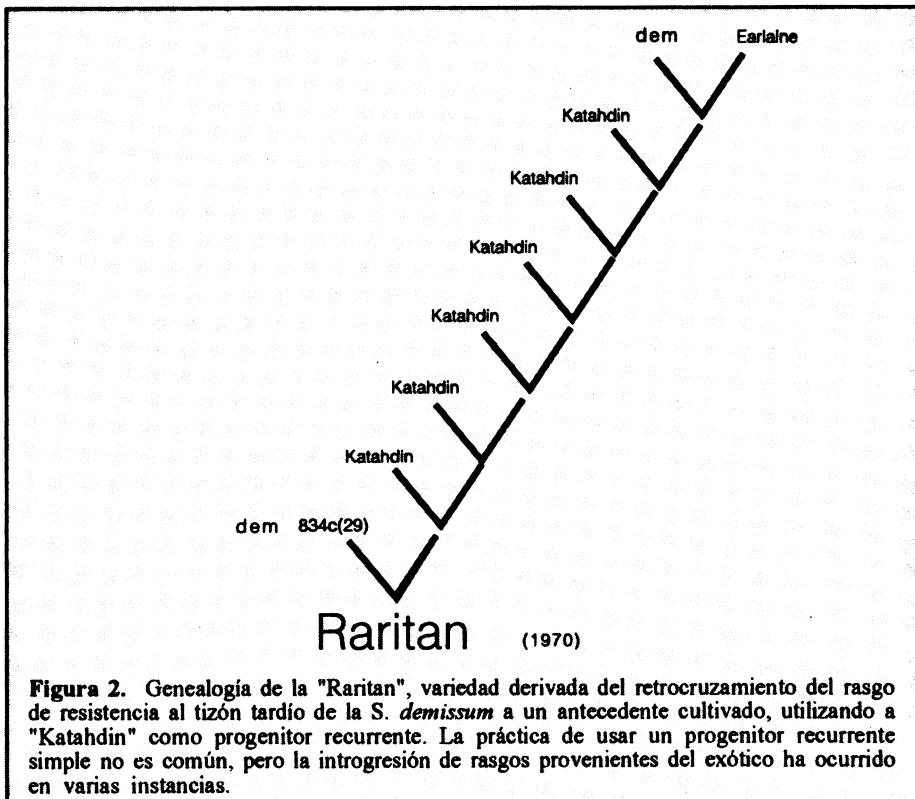


Figura 2. Genealogía de la "Raritan", variedad derivada del retrocruzamiento del rasgo de resistencia al tizón tardío de la *S. demissum* a un antecedente cultivado, utilizando a "Katahdin" como progenitor recurrente. La práctica de usar un progenitor recurrente simple no es común, pero la introgresión de rasgos provenientes del exótico ha ocurrido en varias instancias.

Difusión del Germoplasma de Papa y la Propagación Moderna

Esto ha involucrado el uso de material diploide cultivado y silvestre, mediante la utilización de cruces interploides (De Jong, et al., 1981; Hougas y Peloquin, 1958; Iwanaga, 1984; y Peloquin, 1982) y el uso directo de spp. andígena en los programas de propagación (Glendinning, 1975; Rasco, et al., 1980; y Tarn y Tai, 1977).

La propagación actual está tomando ventaja de las fuentes de germoplasma disponibles en el centro de origen de la papa. Una genealogía detallada de la variedad "Croft" se muestra en la Figura 1. El uso exclusivo de variedades conocidas con los nombres de los ancestros primitivos de la "Pentland Dell" refleja las prácticas de propagación de fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX. Los culti-

vares nativos *S. phureja* y *S. tuberosum* ssp andígena fueron usados, al igual que las especies silvestres *S. demissum*. En la composición genética de la "Croft" existe un 20% de germoplasma exótico. En la Figura 2 se muestra el origen de la variedad "Raritan". La genealogía revela el uso de una única variedad, la "Katahdin", como ancestro recurrente, donde se retrocruzó la resistencia al tizón tardío, derivada de la *S. demissum*. No era común el uso de un único ancestro en el retrocruzamiento, porque esto induce la endogamia en la población propagada. El objetivo buscado, de introducir un rasgo simple desde una fuente exótica, ha sido llevado a cabo innumerables veces en la historia de propagación de la papa.

TABLA 1: OBJETIVOS DE LA INSERCIÓN DE GENES EN LA PAPA

Rasgos	Genes
1. Resistencia a los hongos	a. gen de la glucanasa b. gen de la quitinasa c. gen de la osmitina
2. Resistencia a las bacterias	a. gen de la cecropina b. gen lisozima
3. Resistencia a los insectos	a. genes de la toxina Bt i. Cry III para la resistencia a coleópteros ii. Cry I para la resistencia a lepidópteros
4. Resistencia a herbicidas	
5. Resistencia a virus	a. genes de la proteína de la cubierta viral b. genes de la replicasa c. genes de la proteína de la cubierta viral de versiones modificadas no traducibles
6. Alteración del contenido de almidón	a. genes de alto contenido de almidón
7. Resistencia a las tensiones	a. gen para conferir tolerancia a la sequía b. gen para conferir tolerancia al congelamiento
8. Genes anti maltratos	a. supresión de la polifenol oxidasa b. remoción de tirosina

Tecnología génica

El advenimiento de la disponibilidad de medios tecnológicos para la inserción de genes foráneos, ha incrementado el desarrollo de variedades de papa. Se han logrado dos ventajas. Primero, se han podido añadir rasgos a las variedades populares. El hecho de que es virtualmente imposible recobrar el fenotipo de los progenitores en la propagación sexual de la papa da lugar a tener que apelar mayormente a este mecanismo de la inserción genética. Un segundo beneficio es el incremento de la variación genética más allá de la que está disponible con la *Solanum spp.*

El bosquejo en la Tabla 1, busca inventariar de manera parcial los tipos de genes que han sido introducidos en la papa.

Un comentario adicional define una diferencia esencial que la inserción genética ha introducido en la propagación de la papa. Mientras la propagación tradicional se basó en el cruzamiento y retrocruzamiento, para introducir nuevos rasgos en el inventario reproductivo, la tecnología genética introduce uno o unos pocos genes, que permiten la expresión dominante para lograr un fenotipo.

Al tomar en cuenta el efecto que podría tener la migración génica de las poblaciones cultivadas a las silvestres, es claro que el fenotipo se transfiere con mayor eficiencia cuando su expresión es controlada por genes dominantes simples. Los rasgos multigénicos requieren la transferencia de múltiples genes y, como lo indica la terminología, el fenotipo se recuperará menos frecuentemente en los híbridos sexuales de la población receptora. Debido a que los transgenes son siempre simples y dominantes en su expresión, la

transferencia de un fenotipo de esta categoría se realizará con la máxima eficiencia. Con pocas excepciones las características de la papa cultivada no transgénica, son controladas multigénicamente y muy deficientemente transferidas por la vía sexual. Por ello los transgenes son la categoría genética más potente y, como cualquier gen simple dominante, tienden a expresarse en una forma completa si se transfieren a poblaciones silvestres de papas.

Discusión:

P: ¿Existe alguna evaluación definitiva sobre la pérdida potencial de la diversidad versus un incremento en la diversidad, basada en la habilidad para trabajar con nuevos genes? ¿Podemos determinar el impacto de este esfuerzo en los propagadores?

R: Debe reconocerse a la biotecnología como una herramienta. A medida que la propagación se haga más precisa, no será reemplazada. Ciertamente, lo económico debe ser considerado aquí. En lo relativo a todo el inventario genético, sólo se han trabajado unos pocos genes para lograr rasgos atractivos en los cultivos transgénicos.

*P: ¿ Si vectores con contenidos genéticos específicos se propagan externamente, hacia las poblaciones silvestres de *Solanum*, y son recobrados en los programas de propagación, puede ser el gen usado posteriormente para fines comerciales?*

R: Esta situación no causa gran preocupación en Estados Unidos donde las restricciones a los derechos de propiedad protegen a las compañías del uso de vectores conteniendo el gen desarrollado por otros. (No se hicieron comentarios sobre la situación en Latinoamérica).

Citas Bibliográficas

- Brush, S.B. 1980. Potato taxonomies in Andean agriculture. In D. W. Brokensha, D.M. Warren and O. Werner (eds.) *Indigenous knowledge systems and development*. University Press of America, New York. pp. 37-47.
- Christiansen, J. 1967. El cultivo de la papa en el Perú. Published privately. 351 p. *Talleres de Artes Gráficas de Editorial Jurídica*, Lima, Perú.
- De Jong, H., Tai, G.C.C., Russell, W.A., Johnston, G.R. and Proudfoot, K.G. 1981. Yield potential and genotype-environment interactions of tetraploid-diploid (4x-2x) potato hybrids. *Am. Potato J.* 58:191-199.
- Ellenby, C. 1948. Resistance to the potato eelworm. *Nature* (Ldn) 162:704.
- Ellenby, C. 1954. Tuber forming species and varieties of the genus *Solanum* tested for resistance to the potato root eelworm *Heterodera rostochiensis*. *Euphytica* 3:195-202.
- Glendinning, D.R. 1975. Neo-tuberosum: a new potato breeding material. 1. The origin, composition and development of the Tuberosum and Neo-Tuberosum gene pools. *Potato Res.* 18:256-261.
- Glendinning, D.R. 1983. Potato introductions and breeding up to the early 20th century. *New Phytol.* 94:479-505.
- Hawkes, J.G. 1979. Genetic poverty of potato in Europe. *Proc. Conf. Genet. Base Crops*, Pudoc, Wageningen. pp. 19-27.
- Hawkes, J.G. 1990. *The Potato: Evolution, Biodiversity, and Genetic Resources*. Belhaven Press, London and Smithsonian Institute Press, Washington, D.C. 259 p.
- Hobhouse, H. 1986. *Seeds of change*. Harper Row and Associates. New York. 237 p.
- Hougas, R.W. and Peloquin, S.J. 1958. The potential of potato haploids in breeding and genetic research. *Am. Potato J.* 35:701-707.
- International Potato Center. 1988. *Annual Report CIP 1988*. Lima, Perú. 210 p.
- Iwanaga, M. 1984. Discovery of a synaptic mutant in potato haploids and its usefulness for potato breeding. *Theor. Appl. Gen.* 68:87-94.
- Jackson, M.T., Hawkes, J.G. and Rowe, P.R. 1980. An ethnobotanical field study of primitive potato varieties in Perú. *Euphytica* 29:107-113.
- Mai, W.F. and Petersen, L.C. 1952. Resistance of *Solanum ballsii* and *Solanum sucrense* to the golden nematode, *Heterodera rostochiensis*. *Science* 116:224-225.
- Parmentier, A.A. 1781. Recherches sur les vegetaux nourrissants, qui, dans les temps de disette, peuvent remplacer les alimens ordinaires. Paris.
- Peloquin, S.J. 1982. Meiotic mutants in potato breeding. *Stadler Symposium, University of Missouri, Columbia*. Vol. 14, pp. 99-109.
- Plaisted, R.L. and Hoopes, R.W. 1989. The past record and future prospects for the use of exotic potato germplasm. *Am. Potato J.* 64:603-627.
- Quiros, C.F., Brush, S.B., Douches, D.S., Zimmerer, K.S. and Huestis, G. 1990. Biochemical and folk assessment of variability of Andean cultivated potatoes. *Econ. Bot.* 44:254-266.

- Rasco, E.T., Plaisted, R.L. Jr. and Ewing, E.E. 1980. Photoperiod response and earliness of *S. tuberosum* ssp. *andigena* after six cycles of recurrent selection for adaptation to long days. *Am. Potato J.* 57:435-447.
- Ross, H. 1954. Die Verebungen der "Immunität" gegen das X-Virus in tetraploidem *Solanum acaule*. *Proceedings of the Ninth International Congress of Genetics*, Bellagio, II. pp. 1128-1132.
- Ross, H. 1958. Inheritance of extreme resistance to virus Y in *Solanum stoloniferum* and its hybrids with *Solanum tuberosum*. *Proceedings of the Third Conference on Potato Virus Disease*, Lisse-Wageningen, 1957. pp. 204-211.

Capítulo 2

El Estado Actual en América Latina

Nota de los editores: El estado actual de desarrollo de la biotecnología fue muy relevante para las discusiones y perspectivas consideradas en el Taller. Se les pidió a científicos de reconocido prestigio que describieran sucintamente los programas de investigación actuales y los procedimientos regulatorios que se llevan a cabo en sus países. Las siguientes, creemos nosotros, representan las descripciones más precisas y actualizadas disponibles.

Argentina

(Esteban Hopp, Comisión Nacional Asesora en Biotecnología Agropecuaria)

Argentina cuenta con una comisión nacional de bioseguridad denominada CONABIA (Comisión Nacional Asesora en Biotecnología Agropecuaria). Fue creada para diseñar una infraestructura regulatoria basada en los lineamientos del IICA, y en las experiencias previas de Estados Unidos, Canadá y Europa. CONABIA está conectada con la Secretaría Estatal de Agricultura y cuenta con una participación multidisciplinaria de científicos (por ejemplo, de universidades, institutos agrícolas de investigación, servicios de cuarentena, y empresas productoras de semillas). En lugar de crear nuevas regulaciones, Argentina armonizó las leyes existentes en materia de protección de plantas y manejo de semillas (desarrolladas con anterioridad para plantas no transgénicas) con las regulaciones

sobre bioseguridad de otros países. Las regulaciones actuales son lo suficientemente flexibles para permitir los cambios pertinentes, en este campo en rápida evolución, derivados de las experiencias de otros países. En lo que se refiere a las pruebas de campo realizadas en Suramérica, Argentina tiene el número más alto de ellas y la mayor diversidad. Entre las especies cultivadas probadas aparecen las siguientes: maíz, algodón, semilla de colza (canola), soya, tomate, remolacha azucarera, girasol y trigo. Los rasgos incluyen: resistencia a virus e insectos, tolerancia a herbicidas, esterilidad masculina, calidad del aceite, maduración retardada y genes marcadores. La mayoría de estas pruebas han sido llevadas a cabo por compañías

Discusión:

Nota: Argentina tiene un sistema revisado similar al del USDA, al menos en términos del tipo de interrogantes que se hacen en los procesos de evaluación. En algunas de las pruebas que se han realizado en Argentina, se ha pedido al USDA-APHIS que provea información detallada de las solicitudes provenientes de los Estados Unidos. De este modo, han sido aprobados cuarenta permisos, y el país está cerca de tener desarrollados varios cultivos transgénicos desregulados (soya, maíz, tomate). Con el fin de llevar el alimento a la etapa de comercialización, en Argentina debe hacerse una revisión en materia de salud y seguridad. No existen regulaciones especiales para productos en la etapa de laboratorio. Todos los productos originados en los laboratorios deben estar disponibles al público.

extranjeras del hemisferio norte, que están tomando ventaja de la posibilidad de realizar evaluaciones fuera de estación y producción de semillas en el hemisferio sur. Actualmente existen en Argentina seis laboratorios que trabajan con cultivos transgénicos, dos de ellos con papas transgénicas. La mayor parte del trabajo se realiza sobre resistencia a los virus. No se ha realizado ningún experimento de campo con papas transgénicas.

Bolivia

(Miguel Angel Silva Ramos, Departamento de Investigación y Extensión de la Secretaría de Agricultura y Ganadería)

En materia de regulaciones de bioseguridad el taller sobre armonización de la bioseguridad en el Cono Sur (Buenos Aires, 1992) organizado por el IICA, contribuyó a la realización de un seminario en bioseguridad e introducción de plantas transgénicas. Esto a su vez llevó a la formación del Comité Nacional de Bioseguridad, creado en Santa Cruz, Bolivia, en julio de 1993. Las regulaciones y lineamientos en bioseguridad han sido formulados, y serán aprobados por las autoridades nacionales en 1995. Bolivia también tomó parte en la reunión de Cartagena¹ y adoptó sus recomendaciones, que se orientaban a lograr una armonización de los lineamientos de bioseguridad en la Región Andina. En materia de investigación sobre plantas transgénicas, el IBTA (Instituto Boliviano de Tecnología Agrícola) tiene un proyecto en papas transgénicas resistentes a las heladas.

El proyecto de investigación se lleva a cabo por un esfuerzo conjunto con la Universidad Central de Venezuela (UCV), la Universidad de Louisiana y el Centro Internacional de la Papa (CIP). En noviembre de 1993, se evaluaron en pruebas de campo realizadas en Bolivia, papas transgénicas que expresaban proteínas antiheladas, provenientes de la UCV. Las pruebas se realizaron siguiendo las regulaciones aplicadas y producidas en el CIP, y las recomendaciones del Comité Nacional de Bioseguridad y las del ISNAR. En Bolivia, no se han realizado otras pruebas de campo con plantas modificadas genéticamente.

Discusión

P: ¿Existe presión desde el exterior hacia los países de América Latina para utilizar vectores con contenidos genéticos determinados?

R: Actualmente no existe ninguna presión para utilizar vectores específicos. Al reconocer que la primera generación de vectores con contenidos genéticos provino del Norte, no hay que dejar de considerar que esto ha sido útil, porque permitió aprender las técnicas de transferencia y posibilitó la construcción de una capacidad propia en el país. Varios países en Latinoamérica desarrollan ahora sus propios vectores, los cuales reflejan mejor las verdaderas necesidades de la Región.

P: ¿En qué países en Suramérica se han realizado pruebas de campo con cultivos transgénicos?

R: Se han realizado pruebas de campo de cultivos transgénicos en Argentina, Chile, Perú, Bolivia, México y Cuba. En todos estos países las pruebas han estado sujetas a supervisión regulatoria.

¹ Seminario en Armonización de la Bioseguridad en las Américas. Del 7 al 10 de junio de 1994. Cartagena de Indias, Colombia.

Brasil

(Luiz Barreto de Castro, Ministerio de Ciencia y Tecnología)

El Congreso brasileño aprobó, y el Presidente sancionó la Ley N° 8974, el 5 de enero de 1995, la cual establece normas para el uso de técnicas de ingeniería genética y liberación de organismos transgénicos en el ambiente. La Ley también otorga poder ejecutivo para crear la Comisión Técnica Nacional en Bioseguridad, adscrita a la estructura administrativa del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Por Decreto Presidencial N° 1520, del 12 de junio de 1995, fueron establecidos el nivel de competencia, los vínculos administrativos y la composición de la Comisión. La Comisión cuenta con representantes de los Ministerios de Agricultura, Ambiente, Salud, Educación, Ciencia y Tecnología y Relaciones Exteriores, más representantes de la comunidad científica, de la industria y de la colectividad. Estará operando para el segundo semestre de 1995, tan pronto como la Ley se implante, y se constituya la Comisión. Las plantas transgénicas producidas en Brasil, y en cualquier otra parte, están en espera de ser sometidas a pruebas de campo en 1995.

Chile

(Carlos Muñoz y Loreto Holuigue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, y Carmen Cabrera, Servicio Agrícola y Ganadero)

Chile es utilizado como vivero de invierno por varias compañías internacionales del hemisferio norte, productoras de semillas. En años recientes, algunas de estas compañías han demostrado interés en producir semillas de plantas transgénicas.

Frente a estos requerimientos, y siguiendo los lineamientos de un Acuerdo realizado entre países del Cono Sur (Buenos Aires, noviembre de 1992), el Ministerio de Agricultura decidió regular las pruebas con plantas transgénicas, utilizando las regulaciones fitosanitarias para producción de semillas, actualmente disponibles en la legislación chilena. En 1993 fue formado un Comité Asesor al Servicio Agrícola y Ganadero, organismo de regulación fitosanitaria de Chile. Los miembros de este Comité son científicos y personal técnico del Ministerio de Salud y personal de los institutos de investigación y de las universidades. También se publicó la Resolución N° 1927/93, en la que se establecen las condiciones para la introducción al país de semillas de plantas transgénicas. Desde el establecimiento de estas medidas, varias especies transgénicas han sido introducidas y propagadas en Chile, con fines de reexportación. A pesar de que las actividades relativas al desarrollo de plantas transgénicas empezaron desde hace varios años atrás, no se han realizado pruebas de campo con plantas transgénicas desarrolladas en Chile.

La papa ha sido usada como especie modelo para la introducción y desarrollo de la tecnología transgénica en el país. Los primeros experimentos se hicieron en la Universidad Católica de Chile (UCC), y se está realizando una investigación mas aplicada, tanto en esta universidad como en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). En el INIA el trabajo tiene como objetivo introducir en la papa resistencia a los virus, particularmente al VXP, VYP y al VEHP. Este es un proyecto conjunto con el Instituto Nacional de Tecnología Agrícola (INTA),

institución que desarrolló los transgenes. La idea de este proyecto es la de evaluar las técnicas de transformación disponibles, para incorporar la resistencia a los virus, en los cultivares liberados por el programa de propagación de la papa del INIA. Se ha iniciado recientemente la evaluación de la resistencia en invernaderos, aplicando estrictas regulaciones de bioseguridad. Se está ejecutando otro proyecto conjunto con el INIA y la UCC, donde la universidad está desarrollando una papa transgénica y el INIA es el responsable de su evaluación. El objetivo es el de encontrar resistencia a una serie de enfermedades, que a nivel mundial produce la bacteria spp *Erwina*. El Centro Internacional de la Papa (CIP) provee los transgenes que codifican para varias lisozimas. Estos vectores genéticos fueron mejorados y utilizados para transformar el cultivar *Desireé*. En la actualidad los experimentos evalúan la resistencia en condiciones de invernadero.

Discusión:

P: ¿Existe presión desde Norteamérica para implantar las regulaciones, o la motivación se debe al interés nacional?

R: Chile es una localidad de cultivo de invierno para muchas empresas, no sólo de Norteamérica, sino también de Europa. Si bien no existen regulaciones específicas para los trabajos experimentales más allá del nivel de invernadero, existe un Comité Asesor que, sobre la base de caso por caso, evalúa estos experimentos de contraestación. El desarrollo de la tecnología y la construcción de una capacidad nacional, se beneficiarán con la colaboración extranjera y con las empresas norteamericanas. No es solamente un asunto de presión del Norte. Existe un interés nacional en contar con regulaciones en bioseguridad en funcionamiento.

También se está iniciando el trabajo en el INIA para obtener melones transgénicos resistentes al virus Mosaico II de la sandía (patilla). El trabajo futuro en Chile incluye el uso de otros transgenes, en particular de aquellos que codifican para la maduración tardía, resistencia a insectos y otras enfermedades fungosas.

Colombia

(Rodrigo Artunduaga Sala, Instituto Colombiano Agropecuario)

En Colombia se ha preparado una propuesta de Ley con la participación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, del Ministerio del Ambiente y del Instituto Colombiano Agropecuario. En esta propuesta de Ley se recomienda el establecimiento de un Sistema Nacional de Bioseguridad en Colombia, con el mandato de establecer políticas y procedimientos para regir el uso de la biotecnología actual. Esto incluye la formulación de los Lineamientos Nacionales en Bioseguridad. En Colombia las responsabilidades de la regulación de las pruebas de campo con organismos genéticamente modificados recaerán probablemente en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), cuando la propuesta sea aprobada por el Congreso. Actualmente en Colombia, la investigación en biotecnología se realiza en varias instituciones públicas y privadas, principalmente en cultivo de tejidos, caracterización molecular, aislamiento de protoplastos y campos relacionados.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha desarrollado frijoles transgénicos que están en la etapa de

invernadero. Todavía no se han realizado pruebas de campo. En el CIAT se ha conformado una Comisión Institucional en Bioseguridad. En el ICA se ha realizado un trabajo limitado con plantas transgénicas; la mayor parte del trabajo se basa en las técnicas convencionales de propagación. En el caso de las papas transgénicas hay un importante proyecto de investigación, que está en su etapa inicial, realizado en cooperación entre la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Florida (USA) y el ICA. El objetivo es transformar un cultivar comercial de papa ("Pardo Pastuza") con proteínas de la cápsida viral, para inducir la resistencia a los virus X, Y y al Virus de Enrollamiento de la Hoja de la Papa. Este proyecto iniciado en enero de este año, está actualmente en la etapa de cultivo de tejidos. Hasta la fecha, no se han realizado pruebas de campo con papas modificadas genéticamente.

Cuba

(Pedro Oramas, División de Biotecnología Vegetal, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología)

Una de las tareas principales de la División de Plantas Biotecnológicas del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) de La Habana, ha sido la producción de plantas transgénicas con resistencia mejorada a las plagas y enfermedades. Desde 1990, el CIGB ha realizado trece pruebas de campo, con cinco plantas transgénicas diferentes (tabaco, caña de azúcar, batata, repollo, y papa) en diez regiones distintas de Cuba. Los rasgos incluyen resistencia a los insectos (lepidópteros y coleópteros)

mediante la expresión constitutiva de los genes de la endotoxina del *Bacilo thuringiensis*; resistencia a los virus X y Y, y al virus de Enrollamiento de la Hoja de la Papa, mediante la expresión del gene de la proteína de la cápsida viral; y resistencia a los hongos (contra el *Alternara solani*) mediante la expresión de los genes AP-24 y b-glucanasa básica. La papa transgénica ha sido sistemáticamente probada en condiciones de campo en Cuba. Esto ha servido de modelo para establecer las regulaciones para la liberación de plantas genéticamente modificadas al ambiente, bajo condiciones controladas. La regulaciones ambientales nacionales para la liberación en el ambiente de organismos genéticamente modificados (OGM) han estado bajo revisión de las autoridades gubernamentales, en el Congreso Nacional desde 1993, cuando se estableció la Comisión Nacional de Bioseguridad, para diseñar una infraestructura regulatoria, en donde se establezcan las condiciones para la liberación de los OGM. La Comisión está integrada por las universidades, los institutos de investigación, así como por científicos y autoridades de los Ministerios de Ciencia, Ambiente y Agricultura, y de la Academia Nacional de Ciencias. Se espera que la Ley Nacional para la Liberación al Ambiente de los OGM sea aprobada en 1996. En todo caso, las liberaciones efectuadas por el CIGB se han realizado tomando en cuenta todas las medidas de seguridad apropiadas para asegurar la protección del ambiente, siguiendo las normas de APHIS/USDA, NRC (USA), OECD, Agriculture and Agri-Food Canadá y del IICA.

México

(Ariel Alvarez Morales, Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional)

En 1989 se formó en México el Comité Nacional para la Bioseguridad Agrícola (CNBA). El CNBA está bajo la dirección del Departamento de Sanidad Vegetal del Ministerio de Agricultura. Está compuesto por siete miembros provenientes de diversas instituciones gubernamentales y académicas. El Comité analiza todas las solicitudes relativas a la importación, transporte interestatal, liberación controlada y desregulación de variedades de plantas o productos transgénicos. Varios permisos para importantes pruebas de campo han sido emitidos para material vegetal con genes foráneos, introducidos mediante técnicas de ingeniería genética. El tomate con vida útil de almacenaje más larga (FLAVR SAVR) ha sido desregulado. En el caso de la papa, la Unidad del CINVESTAV en Irapuato, ha realizado dos pruebas de campo con líneas transgénicas con resistencia incrementada a los virus X y Y (VXP y VYP). Este año se efectuará una tercera prueba, multilocalizada, y se han programado dos pruebas más para 1996. Estas pruebas de campo están siendo realizadas con la ayuda de los agricultores locales y de los investigadores del Instituto Nacional de Investigación Forestal y Agrícola. Se espera que para fines de 1996 el CINVESTAV posea información suficiente para solicitar a la CNBA la desregulación de esas papas. Si esto se aprueba, significará que esas líneas de papa pueden ser usadas tan libremente como lo son las variedades de papa no transgénicas. Simultáneamente, se elevará una solicitud al Ministerio de Salud para

obtener un permiso de comercialización y distribución de estos productos para el consumo humano.

Discusión

P: *¿Existe acaso una visión propiamente mexicana para la evaluación de cultivos transgénicos, basado en el hecho de que muchos de ellos están muy cerca de ser comercializados?*

R: En México, ha habido una reflexión limitada en el tema de la contención, debido a que las solicitudes de permisos para efectuar pruebas de campo, realizadas por las empresas privadas, han sido hechas en períodos muy cercanos al momento de su comercialización en otros países. En este punto del desarrollo del producto no habrá contención. Consecuentemente, en México existe una mayor énfasis en la evaluación del efecto potencial de los genes. Las autoridades mexicanas han estado solicitado la información producida en los Estados Unidos, que ha sido usada subsecuentemente en el proceso de evaluación que ellas están realizando.

Perú

(Alí Golmirzaie, Luis Ñopo y Marc Ghislain, Centro Internacional de la Papa (CIP), Departamento de Recursos Genéticos)

La producción de papa requiere una gran cantidad de pesticidas para asegurar altos rendimientos. Los agricultores y el ambiente están en contacto con estos productos químicos tóxicos. En el CIP la producción de plantas transgénicas está orientada a incrementar la resistencia a las plagas y enfermedades, con el objeto de reducir el uso de pesticidas en el manejo del cultivo de papas. La resistencia a la Polilla del Tubérculo de la Papa, ha sido modifi-

cada genéticamente con éxito, utilizando para ello toxinas específicas producidas por el gene del *Bacillus thuringiensis*. También se está intentando usar inhibidores de la proteasa.

La resistencia de las papas transgénicas a enfermedades bacteriológicas, como por ejemplo la pudrición blanda y el marchitamiento bacteriano, está siendo modificada utilizando las proteínas responsables de la lisis de la membrana bacterial. Estos péptidos líticos de la Polilla Gigante de la Seda (cecropina B y atacina E) y de los pollos o fago han sido utilizados, pero no se ha observado una resistencia significativa en las pruebas de campo. La resistencia a los virus se modifica utilizando la proteína de la cápside viral del VXP, VYP y VEHP. Para el VEHP, los primeros resultados revelan una resistencia parcial en ciertas líneas de papa. La resistencia a virus se ha desarrollado usando técnicas de pseudo antisentido. Se ha observado un retardo en la aparición de la enfermedad en algunas líneas de papa. Las proteínas anticongelamiento, derivadas de los genes de un pez de la región polar, han sido utilizadas para inducir la resistencia a las heladas en los Andes. El CIP opera mediante contratos de investigación con científicos de los sectores público y privado que son propietarios de estos valiosos genes. Los vectores genéticos listos para usar están a menudo disponibles para el Centro. El CIP produce papas transgénicas seleccionando genotipos relevantes para los países en desarrollo. Las evaluaciones de plantas transgénicas (evaluaciones en bioseguridad) se realizan continuamente durante el trabajo en las etapas de laboratorio e invernadero, y eventualmente en pruebas de campo, en determinadas estaciones experimentales del CIP.

Este proceso se lleva a cabo de acuerdo con las regulaciones en bioseguridad existentes en el CIP y en los países en que se llevarán a cabo las pruebas de campo. Hasta julio de 1995, el CIP había efectuado tres pruebas de campo en el Perú, o en países vecinos de la Región Andina. Los lineamientos del CIP han sido adoptados por las autoridades peruanas como la norma nacional de bioseguridad para la introducción en el ambiente de organismos genéticamente modificados.

Discusión

P: ¿Cómo han evolucionado en el Perú las evaluaciones de las pruebas, antes de ser realizadas en el campo?

R: El proceso se inició con el desarrollo e institucionalización de los Lineamientos sobre Bioseguridad del CIP. Estos fueron sometidos en la Institución a un proceso de revisión interna, con la colaboración de las autoridades nacionales. Las autoridades peruanas dieron su aprobación previa a las pruebas de campo.

P: ¿Cómo ha tratado el CIP las parcelas experimentales después de las pruebas de campo?

R: Todos los tubérculos fueron recolectados en aproximadamente media hectárea, área que fue dejada en barbecho por un año. Todo el material vegetal fue destruido quemándolo.

P: ¿En la planificación de los programas de seguimiento de pruebas de campo se le dio alguna consideración a las observaciones posteriores a las pruebas, para validar o refinar las decisiones a priori derivadas de la información de laboratorio e invernadero?

R: Los científicos del CIP están interesados en hacer esto, pero no ha sido investigado intensivamente. Existen algunos trabajos publicados (Ver el Capítulo 3 de este libro) sobre encuestas para cuantificar la transferencia de polen alrededor de las parcelas de prueba y hacer el seguimiento de la subsecuente dispersión de genes.

Uruguay

(Daniel Pagliano, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria)

En materia de regulaciones sobre bioseguridad, se ha reconocido oficialmente la importancia de la armonización de las regulaciones sobre bioseguridad a nivel regional. Al respecto, el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) mantiene una vigilancia en el campo de la bioseguridad, y está coordinando actividades e intercambio de información con otras instituciones en Uruguay. En este momento no existen regulaciones específicas sobre bioseguridad para Uruguay. La investigación en mejoramiento genético en Uruguay se enfocó originalmente al desarrollo de papas transgénicas y de forraje vegetal. En el caso de la papa, la investigación a nivel de laboratorio ha sido realizada en el INIA, utilizando genes que codifican para la resistencia a virus. A través de la colaboración internacional se están produciendo papas transgénicas resistentes a los virus VXP, VYP y VEHP.

Discusión

P: ¿Se han evaluado plantas transgénicas en Uruguay?

R: El Ministerio de Agricultura no ha recibido ninguna solicitud formal, para introducir o probar a nivel de campo plantas transgénicas en el país. En un debate público sobre cultivos transgénicos y temas de bioseguridad, los agricultores estuvieron más preocupados en saber cuando podrían adquirirlos, que acerca de la naturaleza misma del cultivo transgénico.

En el caso del forraje de origen vegetal, se ha realizado investigación en la leguminosa *Lotus Corniculatus* cv. *San Gabriel*, una especie forrajera de importancia re-

gional. Como resultado, se han realizado y evaluado pruebas en invernadero con legumbres transgénicas resistentes a herbicidas. No se han realizado pruebas de campo con organismos transgénicos en Uruguay.

Venezuela

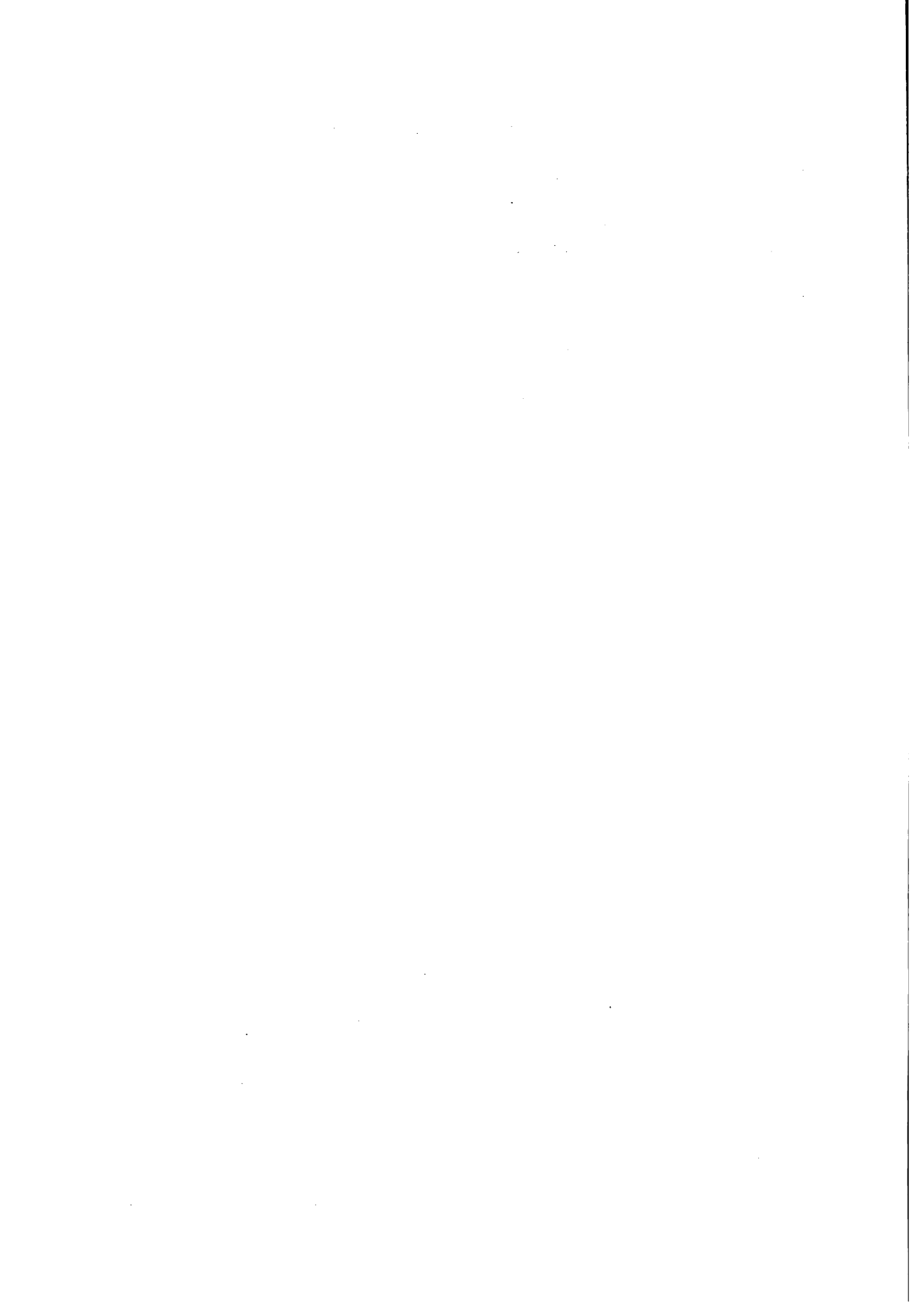
(Eva de García, Laboratorio de Biotecnología Vegetal, Centro de Botánica Tropical, Universidad Central de Venezuela; y Eduardo Lindarte, IICA, Venezuela)

En general el país ha tenido poca experiencia en investigaciones relativas a organismos transgénicos. El proyecto más conocido es el del Laboratorio de Biotecnología Vegetal del Centro de Botánica Tropical de la Universidad Central de Venezuela, donde clones de la papa cv. *Desireé*, obtenidos del Centro Internacional de la Papa (CIP) han sido modificados con el gene que codifica para una proteína anticongelamiento, proveniente de un pez de la región polar. En 1991, se enviaron microtubos transgénicos al IBTA-PROINPA de Bolivia, donde se probaron los clones transgénicos para determinar su resistencia a las heladas. Siete clones fueron tolerantes a las heladas y por su alto rendimiento fueron seleccionados para estudios posteriores en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal. También se realizan investigaciones en la Universidad de Mérida, en papaya transgénica (*Carica papaya*) para conferirle una resistencia incrementada a los virus. No existen normas específicas sobre bioseguridad que sustenten la materia legalmente, diferentes a las existentes en la Ley de Sanidad Vegetal y en la Resolución Ministerial sobre Propagación in vitro de Bananas. En 1995,

El Estado Actual en América Latina

una nueva Ley sobre Semillas y Propagación de Vegetales, supuesta a abarcar cualquier estructura vegetal de especies botánicas utilizadas para reproducción sexual o asexual, fue aprobada, pero su objetivo principal es el de asegurar los derechos de propiedad intelectual. Venezuela tomó parte en la Reunión de la Junta del Acuerdo de Cartagena del Pacto Andino², y aprobó una armonización de los lineamientos de bioseguridad en la Región Andina.

² Seminario sobre Armonización de la Bioseguridad en las Américas. Del 7 al 10 de junio de 1994, Cartagena de Indias, Colombia



Capítulo 3

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa: Las Implicaciones Ambientales de la Dispersión Génica y su Potencial¹

Robert E. Hanneman, Jr. USDA, Agriculture Research Service, Vegetable Crops Research Unit, Department of Horticulture, University of Wisconsin, USA

Resumen

El uso de plantas transgénicas en la agricultura comercial es una realidad. En este sentido los rasgos más interesantes que poseen son la resistencia a los insectos, virus y herbicidas, la firmeza de los frutos, la composición proteica y de aceites y la alteración del color de las flores. Los ensayos de campo en plantas transgénicas se han intensificado alrededor del mundo, siendo la papa el cultivo más frecuentemente empleado para este fin. La mayor inquietud radica en el potencial de los transgenes para escapar a poblaciones naturales y contribuir a, ó convertirse en una nueva maleza. En el caso de la papa, con sus más de 200 especies como series poliploides, que van desde diploides a hexaploides, la posibilidad para la introgresión de los transgenes es grande. De hecho, es casi seguro que ocurrirá. Entonces, la cuestión no es su ocurrencia, sino decidir qué medidas de contención deberán ser utilizadas. Las medidas de contención dependen de las especies y de los polinizadores utilizados para promover la salida del gen, en las áreas de introducción propuestas. Esto es esencial para considerar completamente el papel de los gametos $2n$, del número de balance del endosperma, y de las barreras a nivel del estilo, para la transferencia de genes interespecíficos. Pueden usarse barreras físicas tales como la distancia y los cultivos trampas, así como también puede ser usada la androesterilidad como barrera genética. En última instancia esta decisión será influenciada por las preocupaciones y por las presiones políticas y económicas, que podrían sobreponerse a las consideraciones científicas y de preservación de las fuentes naturales de genes.

Introducción

El uso de plantas transgénicas en la agricultura es una realidad y apenas estamos comenzando a ver su uso comercial en los Estados Unidos. Ya no se pregunta si ellas

formarán parte de nuestra agricultura, sino cuán importantes llegarán a ser y, más aún, si serán aceptadas por el público. El debate sobre bioseguridad se irá intensificando a medida que nos mova-

¹Investigación cooperativa entre el U.S. Department of Agriculture, el Agriculture Research Service y la Wisconsin Experiment Station.

mos en el tiempo, y las plantas transgénicas vayan formando parte de la agricultura comercial. Podría llegar a darse que el debate fuera intenso previo a la introducción, y que a consecuencia de ello el público se acostumbre a la idea y se reduzca el interés en el tema. Esto no significa que debamos dejar de preocuparnos.

Los genes que han sido de interés en plantas transgénicas son aquellos que codifican las endotoxinas de *Bacillus thuringiensis*, genes de las proteínas de la cubierta viral, genes de resistencia a los herbicidas, y aquellos que afectan alterando el color de las flores, la firmeza de los frutos y la composición proteica y de aceites (NRC, 1989). En los Estados Unidos, los ensayos de campo en plantas transgénicas han llegado a etapas avanzadas, aunque no se han extendido al campo de la producción comercial, excepto en el caso de los tomates (Ahl-Goy y Duesing, 1995). Hasta la fecha, han sido utilizadas treinta y ocho especies diferentes de plantas para realizar pruebas de campo. El sesenta por ciento de todas las plantas modificadas genéticamente, probadas en el mundo, corresponden a papas, semillas de colza, maíz y tomate. Entre 1986 y 1993 fueron llevados a cabo, en 32 países, más de 1025 experimentos de campo con plantas modificadas genéticamente. A Centro y Sur América le corresponde el 6 por ciento de todos los experimentos desde 1991. Estas regiones son vistas, principalmente, como localidades estacionales alternativas para materiales que han sido probados en el hemisferio norte. Desde 1992, Norteamérica ocupa el primer lugar en cuanto al número de experimentos de campo, con más de la mitad del total mundial. El número de experimentos de plantas modificadas genéticamente se ha

incrementado cada año desde 1986. Los Estados Unidos tuvieron el mayor número de experimentos durante este período con 385, seguidos por Francia con 138 y Canadá con 119. Argentina y Chile llevan la delantera entre los países sudamericanos, durante este período, con 21 y 18, respectivamente. Los cultivos más frecuentemente probados son maíz, algodón, papa y granos de soya en los Estados Unidos y en América Central; lino y semillas de colza en Canadá; remolacha dulce y semillas de colza en Europa del Norte. La característica más comúnmente evaluada es la resistencia a los herbicidas (un 34% de todos los experimentos de campo). Al menos hasta finales de 1993, la papa fue el cultivo más frecuentemente probado, y tiene el número más alto de propiedades modificadas (36), incluyendo la modificación del contenido de almidón, y la adición de capas proteicas para resistencia a varios insecticidas y virus. Los experimentos con la papa representan el 38% de los experimentos realizados en Norteamérica, 51% de los experimentos en Europa, y 2% de los experimentos en Centro y Sur América. Los cinco cultivos principales son: papa (19%), semillas de colza (18%), tabaco (13%), maíz (12%), y tomate (10%). Al sector privado le corresponde el 71% de todos los experimentos a nivel mundial, y dirige más experimentos e involucra más localidades que el sector público. Ochenta y tres por ciento de los experimentos en Centro y Sur América pertenecen al sector privado. Siete plantas modificadas genéticamente han sido aprobadas para pruebas no restringidas a escala mundial: un tabaco tolerante a herbicidas en Europa, un lino tolerante a herbicidas en Canadá, y en los Estados Unidos tomates con maduración retardada, semillas de colza con aceite modificado, cala-

bazas resistentes a virus y algodón y granos de soya tolerantes a herbicidas (Ahl-Goy y Duesing, 1995).

Perspectiva de la evaluación del riesgo y complejidad biológica

Dale et al. (1993) describen los avances en los métodos de recombinación del ADN y en los procedimientos de transformación. Ellos discuten la importancia del número de copias transgénicas, posición, expresión, estabilidad, pleiotropismo, genes marcadores seleccionables y variación somaclonal. También plantean la necesidad de considerar estrategias para balancear el efecto de la introducción de un transgen. Si este llegara a entrar a las comunidades naturales, podría perturbarlas. Podríamos tener que lidiar con maleza resistente a herbicidas por lo que se necesitarían otras formas de control, o bien, contra insectos con resistencia múltiple, debido a genes que han sido introducidos, por lo que necesitaríamos otras herramientas de control. Ellos discuten la necesidad de evaluar completamente el riesgo antes que la liberación efectiva ocurra. La introducción de plantas transgénicas puede requerir una inversión de tiempo y fondos significativa a fin de resolver los problemas que pudieran plantearse. En consecuencia, la necesidad de una estructura clara de evaluación de riesgos pareciera justificarse, tanto desde una posición regulatoria como de la de los científicos que realizan el trabajo.

Si bien es posible introducir transgenes a un organismo, esto no significa que ellos tendrán expresión, o aún que retengan dicha expresión. Es claro que los transgenes están expuestos a permanecer silentes en el genoma (Finnegan y

McElroy, 1994). El genoma anfitrión parece tener una vía de verificación propia, y de reconocimiento de la presencia de un gen foráneo, y silenciarlo más comúnmente por metilación. Una cantidad tan pequeña como "...90 pares de bases de homología dentro de la región promotora son suficientes para causar transinactivación". La inactivación del transgen "...ocurre con una altísima frecuencia cuando múltiples copias de un gen están integradas, tanto a un sitio de inserción simple, o cuando están dispersas a lo largo de todo el genoma" (Finnegan y McElroy, 1994). También se sabe que la cosupresión ocurre en plantas transgénicas. Es acá donde la introducción de copias extras de un gen foráneo para aumentar la expresión, podría resultar en el silenciamiento coordinado del transgen y del gen endógeno. Este fenómeno no está asociado con la metilación y es reversible. Mientras que estos problemas pueden no ser aquí de un interés directo, forman parte de la expresión de los transgenes, si llegaran a integrarse dentro de las poblaciones naturales.

Interrogantes ecológicas

El Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (1989) declaró que dos interrogantes ecológicas estrechamente ligadas, para la introducción de plantas genéticamente modificadas, son las siguientes: (1) *¿Puede la hibridación entre cultivos y sus parientes silvestres originar la transferencia de rasgos de la forma cultivada hacia el pariente silvestre?* y (2) *¿Puede tal flujo génico incrementar la transformación en maleza de los parientes silvestres? Si se da la oportunidad de transferir los rasgos génicos desde un organismo genéticamente modificado ha-*

cia un pariente silvestre (y con potencial para transformarse en maleza) entonces existe un problema en potencia. El problema plantea tres interrogantes (1) ¿Tiene el cultivo modificado genéticamente parientes vivos? (2) ¿Cuál es el grado de hibridación natural entre el cultivo y su pariente? y (3) ¿Cuál es el papel ecológico normal del pariente en los ecosistemas naturales?

Una de las principales preocupaciones en la introducción de plantas transgénicas es su potencial para el desarrollo de una maleza nueva o de nuevas formas de una maleza ya existente (Tiedje et al., 1989; Keeler, 1989). La transformación en maleza está relacionada con diez o doce rasgos (Keeler, 1989). Las plantas transgénicas con mayor factibilidad de ser introducidas en un futuro cercano poseen uno o más cambios de sus rasgos para lograr la resistencia a plagas, a tensiones ambientales, o para modificar sus cualidades de procesamiento. Esto significa que será más fácil hacerles seguimiento, y habrá una menor probabilidad de que se transformen en maleza. No obstante existe evidencia de que un cambio en unas pocas características puede convertir a una planta en maleza, particularmente cuando estos cambios involucran resistencia a las plagas o fecundidad en un medio ambiente nuevo.

El ingreso de transgenes en poblaciones naturales, y su impacto en el medio ambiente, así como la transformación de poblaciones naturales en maleza, ha provocado gran preocupación. Se requiere considerar la posibilidad de transferencia de genes a los parientes, particularmente cuando existen especies compatibles en áreas donde se propone cultivar plantas transgénicas. Dale (1992) ha proporcionado una lista parcial de cultivos que han

sido genéticamente modificados y de sus parientes sexualmente compatibles. Este es un punto de partida, Ellstrand y Hoffman (1990) ofrecen una discusión más detallada sobre este tema. Ellos han notado que varios centros de diversidad de cultivos están en las zonas tropicales, por lo tanto es en estas áreas donde los parientes compatibles se encuentran y puede producirse esta situación. Ellos establecen un número de vías, por medio de las cuales se pueden reducir los riesgos, como por ejemplo, con distancia de aislamiento; métodos culturales como evitar la floración simultánea, y el aislamiento por métodos genéticos como la introducción de la esterilidad masculina. Es decir ciertas cosas pueden hacerse para reducir o retardar la introgresión genética, aún cuando estos introduciendo material genético en áreas donde existen especies compatibles.

También debe ser considerado el riesgo de una transferencia génica horizontal. La transferencia horizontal de genes se produce cuando éstos se transfieren entre especies vegetales o entre especies vegetales y no vegetales sin transmisión sexual. Con vectores que se dan naturalmente como la *Agrobacteria* y elementos transpuestos, y el grado de homologación de genes entre diferentes organismos, este luce como una posibilidad genuina. Si la probabilidad de su existencia como factor significativo es mínima, entonces el riesgo de catástrofe o amenaza biológica también va a ser mínimo (Prins y Zadoks, 1994; y Schlüter et al., 1995).

Flujo Génico

El flujo génico entre especies ha sido estudiado en relación al potencial de transferir los transgenes a los parientes silvestres. En general ha sido difícil diferenciar

entre el flujo génico debido a la hibridación o a la introgresión, a la evolución convergente, o a la plasticidad. Doebley (1990) realizó un estudio extensivo de la transferencia de genes del maíz a los teosintes. Los datos morfológicos y moleculares sugieren que la introgresión se realiza en ambas direcciones en niveles bajos. Debido a la limitada distribución de los teosintes, su potencial de transferencia puede ser fácilmente limitado.

El flujo génico entre formas cultivadas y libres ha sido demostrado para otras plantas cultivadas. Existe alguna evidencia indicativa de una relación estrecha entre poblaciones cultivo/maleza, donde esas malezas acompañantes son parte de un sistema de población cultivo/maleza genéticamente interactivo, en el cual la coevolución ocurre por vía de ciclos de hibridación/diferenciación (Wilson, 1990). En el caso de los girasoles, la hibridación entre especies cultivadas y silvestres, se sabe que ocurre debido a su coexistencia en los campos sembrados. Se encontró que el flujo génico decrece con la distancia, de 27% a 2% a 3 metros y 1000 metros de la fuente, respectivamente (Arias y Rieseberg, 1994). La distancia física no previno el flujo génico en el caso de los girasoles. Los autores sugieren que puede ser necesario usar tanto la distancia física como la incompatibilidad cromosómica para una barrera efectiva, aún cuando no impermeable, al intercambio génico. En estudios de semillas de colza se ha reportado que no existen indicios de que la kanamicina, o la tolerancia a herbicidas haya incrementado el potencial invasivo de ese cultivo, y que las líneas transgénicas eran menos invasivas y menos persistentes que sus contrapartes naturales (Crawley et al., 1993). La transferencia

génica se ha documentado para varios cultivos, tales como el amaranto (Sauer, 1967; Tucker y Sauer, 1958), del centeno a sus parientes silvestres (Jain, 1977; Suneson et al., 1969), y arroz africano (Second, 1982). Ninguno de los híbridos fue más agresivo, ni tuvo un rango mejorado, pero fueron más parecidos al cultivo. Los híbridos de pasto Johnson por otra parte, proveen un ejemplo del tipo de riesgo asociado al flujo génico de cultivos a parientes silvestres (Warwick et al., 1984). Podemos concluir de este y otros

Discusión

P: ¿Cuál debe ser la distancia de aislamiento entre las papas transgénicas y cualquier especie en la propagación cruzada?

R: La distancia empleada en los países del Norte se deriva del trabajo experimental realizado sobre las distancias de transferencia mediante el polen. Por ejemplo, un estudio reciente demostró que no hubo transferencia de polen desde las papas transgénicas, más allá de 20 metros de la parcela de prueba*. En los Estados Unidos, por ejemplo, una distancia de aislamiento aceptable es un cuarto de milla, si no se efectúan controles de dispersión del polen. Mientras que existe acuerdo al respecto de que la investigación llevada a cabo en Estados Unidos y Europa puede proporcionar a los investigadores/reguladores latinoamericanos sugerencias útiles, todos sus resultados no son necesariamente válidos para Latinoamérica. Por ejemplo, las distancias de hibridación pueden ser diferentes en la Región a causa de las diferencias en los polinizadores y en las especies introcruzables. Consecuentemente, se requieren investigaciones adicionales en Latinoamérica, para ayudar en el análisis genético de las variedades para propagación cruzada. Se recomendó la realización de estudios específicos en localidades específicas y la investigación del impacto ecológico de ciertos rasgos en la Región.

*Mcpartlan, H. C. y Dale, P. J. 1994. Una evaluación de la transferencia génica mediante el polen desde un campo cultivado con papas transgénicas hacia las papas no transgénicas y especies relacionadas. *Transgenic Res.* 3:216-225.

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa

estudios, que la hibridación puede darse entre especies cultivadas y, entonces, el flujo génico de transgenes ocurrirá a menos que se den pasos para evitarlo a través de barreras físicas, esterilidad masculina y modificación genética.

Kaptejins (1993) realizó estudios de casos sobre el riesgo de la introducción de transgenes en la papa, remolacha, semilla de colza y maíz, para Holanda. Las papas y el maíz están genéticamente aislados de las especies silvestres que se puedan cruzar con ellos, pero la remolacha y la semilla de colza tienen parientes silvestres en Holanda, con los cuales se pueden hibridar. Uno puede concluir de este estudio, que el riesgo de los cultivos transgénicos para el medio ambiente, derivado de la transferencia de genes, depende de las características de las especies huéspedes.

El potencial de los transgenes de papa, para introgresar en poblaciones naturales, ha sido evaluado para Estados Unidos y Canadá (Love, 1994). Love concluye que no hay amenaza, porque las especies nativas del suroeste de los Estados Unidos son muy poco hibridables con los cultivares tetraploides, y por tanto la introgresión génica es poco factible. En una evaluación del potencial para la introgresión transgénica en centros de diversidad en México y Costa Rica, se identificaron especies que se pueden hibridar con cultivares transgénicos tetraploides. En tales casos se debe tomar precauciones en las áreas donde crecen estas especies para evitar la introgresión de transgenes en poblaciones nativas (Hanneman, 1993). Las tasas de cruzamiento hacia el exterior parecen ser significativas en los contextos naturales. Brown (1993) reportó tasas de

crecimiento de 0,10 - 1,0 para cultivares tetraploides de *S. tuberosum* ssp *andigena* y ssp *tuberosum* cultivadas en el Perú, a la vez que Rabinowitz et al. (1990) observó que el 95% de la semilla obtenida de un sembradío mixto en el altiplano peruano, del diploide cultivado *S. stenototum* y las especies diploides silvestres *S. sparsipilum* eran de origen híbrido. Es evidente que la hibridación natural debe ser considerada.

Vayda y Belknap (1992) en una revisión del potencial en las papas transgénicas, notaron que no existe evidencia de una dispersión extendida de la papa transgénica, y que una frontera de 6 m puede asegurar la contención. Los voluntarios transgénicos fueron detectados en parcelas de prueba, pero pueden ser removidos con prácticas estandarizadas y tratamiento herbicida. Mc Partlan y Dale (1994) encontraron que la transferencia génica ocurre a una tasa de 24% en filas adyacentes, de 2% a 3 metros, y de 0,02% a 10 metros; a 20 metros no se detectó transferencia. No se observó transferencia génica entre papas transgénicas *Solanum dulcamara* y *S. nigrum*. El principal vector de polen, en este estudio, se presume que fue un abejorro. En otro estudio, Skogsmyr (1994) reportó un flujo génico con valores altos, de 72% de 0 a 1 metros, y con un rango de 30-34% a 10 metros, de 23-46% a 100 metros, y de 20-31% a 1000 metros. Esta tasa parece ser extremadamente alta, comparada con otros reportes, pero el vector principal en el estudio fue un pequeño escarabajo, capaz de volar largas distancias. Vale tomar en cuenta la diferencia en la dispersión de los resultados entre estos dos últimos estudios, que se asume se deben principalmente a los vectores del polen involucrados. Eijlander y

Stikema (1994) en estudios con *S. nigrum* y *S. dulcamara*, notaron que esta última era incongruente con la papa transgénica en todos los niveles ploidaes, pero la *S. nigrum* desplegó una incompatibilidad unilateral. La *S. nigrum* tiene que ser infertilizada para formar bayas y promover el desarrollo de semillas de su propio polen, dejando fuera de competencia el polen de la papa. La recuperación de embriones tiene que ser usada para obtener híbridos. Se concluyó que el flujo de genes entre la papa y sus parientes más comunes en Europa Occidental es altamente improbable. Nuevamente, es importante determinar el(los) vector(es) en un área en donde los transgenes hayan de ser introducidos, con el fin de diseñar medidas apropiadas de contención.

Papa: intercambio de genes en los centros de diversidad

Permítanos ahora cambiar nuestra atención hacia la papa, y a la introducción de la papa transgénica en áreas donde las especies mencionadas se encuentran presentes. Existen dos centros principales de diversidad para la papa, uno en México y otro en Perú, Bolivia y el noroeste de Argentina. Las especies tuberosas mencionadas aparecen desde el suroeste de los Estados Unidos hasta el sur de Chile y Argentina, a lo largo de todas las cadenas montañosas (Hawkes, 1990). Más de 500 especies han sido descritas, y representan una serie de poliploides que van de diploides a hexaploides. Las Figuras 1a y 1b indican su distribución por series (Hawkes, 1990).

Taxonómicamente las especies tuberosas han sido clasificadas por su morfología, ploidía y localización geográfica. Estas se encuentran clasificadas dentro de la fami-

lia de las Solanáceas, El género *Solanum* L., el subgénero *Potatoe* (G. Don) D'Arcy, Sección *Petota* Dumortier, Subsección

Discusión

P: ¿Es necesario realizar más estudios sobre flujo génico en Suramérica?

R: Se han realizado muchos experimentos en los países del Norte*, y esta experiencia puede ser útil en Suramérica. La información del trabajo realizado en cualquier parte debe usarse con referencia especial a la prueba en cuestión y a las condiciones en las cuales se realiza. Nos tenemos que preguntar acerca de la confiabilidad de la información, y quizás proceder sobre la base de caso por caso. Sería muy útil que los reguladores en América Latina discutan con las autoridades experimentadas de otros países que han tomado en cuenta las distancias de aislamiento, las prácticas agronómicas y otros detalles de las pruebas de campo. Su experiencia puede ser incorporada a las evaluaciones realizadas en América Latina para asegurar la bioseguridad. Los procedimientos de evaluación y las prácticas de seguimiento que han sido utilizadas hasta la fecha han sido aceptadas por los reguladores y se pueden ejecutar a bajo costo. Los cultivos transgénicos en su estado de comercialización pueden presentar varios problemas o varios niveles de problemas. Esto debe ser considerado en más detalle.

P: ¿Se debe asumir que en Latinoamérica habrá flujo génico desde los cultivos trans-génicos hacia las especies silvestres inter-cruzables?

R: El aislamiento puede ser efectivo en la etapa de pruebas de campo, pero ninguna distancia específica debiera considerarse absoluta. Podría suponerse que si ocurre la liberación comercial de papas transgénicas donde existen especies interfértiles se dará un flujo génico. Cuando se habla de aislamiento es importante no generalizar ni considerar que toda Suramérica es esencialmente igual. Existen amplias variaciones en el clima de país a país, y diferencias regionales en las prácticas agronómicas (por ejemplo, tamaño de las fincas, uso de químicos, rotación de cosechas, etc.), que tendrán impacto en el flujo génico. Existe una amplia diversidad en la abundancia de especies silvestres de la *Solanum* en las diferentes áreas geográficas (por ejemplo en dos tercios de Argentina no existen especies silvestres de *Solanum*).

*Los Estados Unidos fueron mencionados específicamente, pero también se dio reconocimiento al trabajo realizado en Europa.

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa

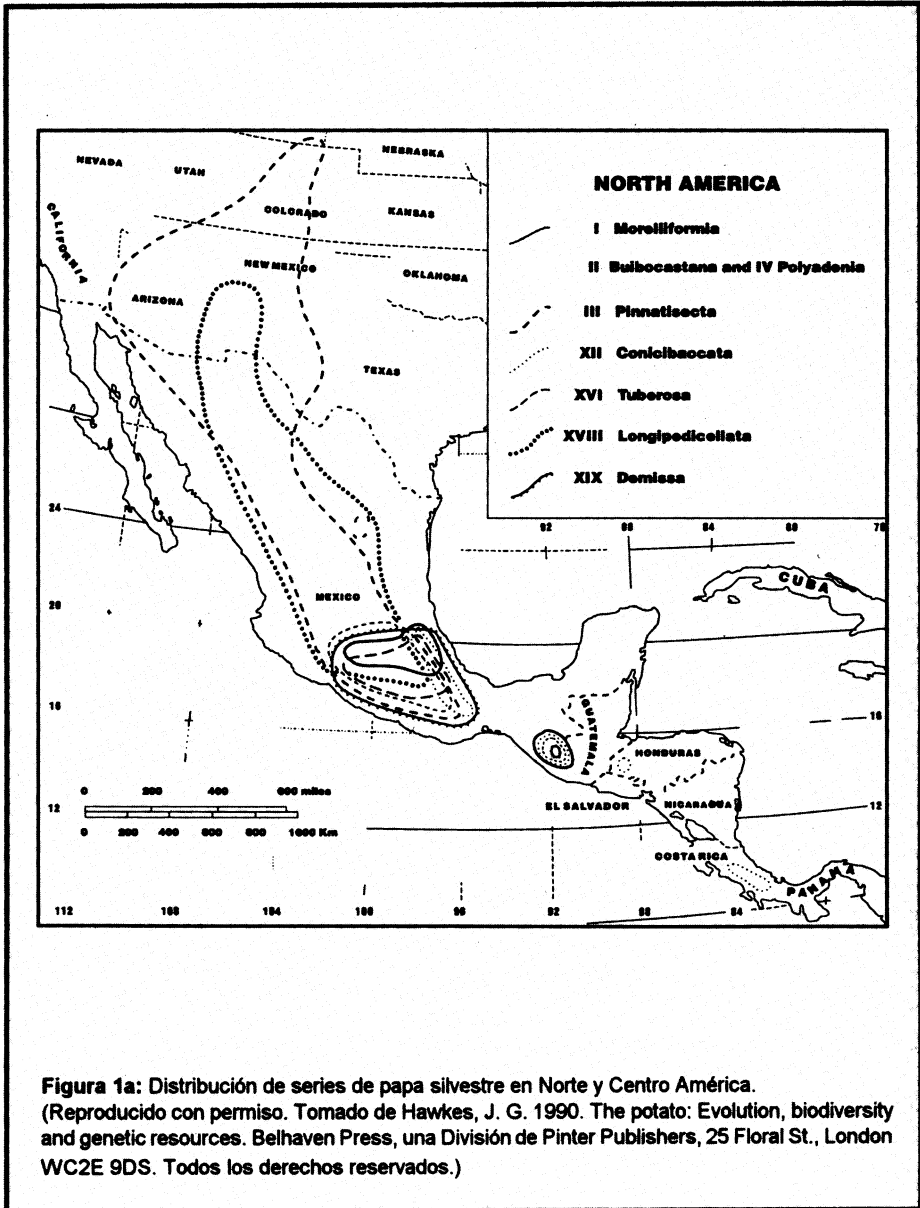


Figura 1a: Distribución de series de papa silvestre en Norte y Centro América.
 (Reproducido con permiso. Tomado de Hawkes, J. G. 1990. The potato: Evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven Press, una División de Pinter Publishers, 25 Floral St., London WC2E 9DS. Todos los derechos reservados.)

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa

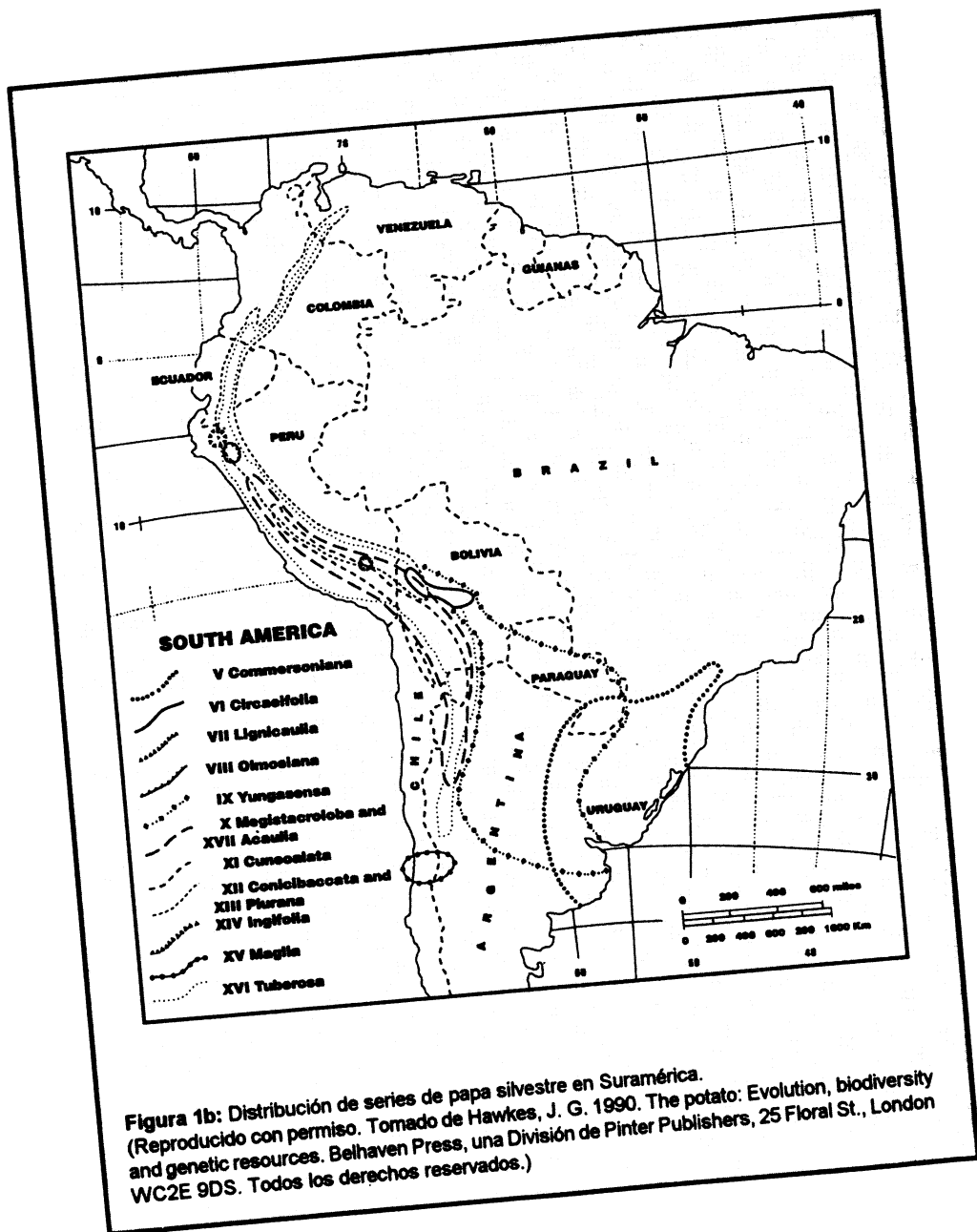


Figura 1b: Distribución de series de papa silvestre en Suramérica. (Reproducido con permiso. Tomado de Hawkes, J. G. 1990. The potato: Evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven Press, una División de Pinter Publishers, 25 Floral St., London WC2E 9DS. Todos los derechos reservados.)

Potatoe G. Don., los cuales son luego subdivididas en series y finalmente en especies.

Para entender el potencial de hibridación uno necesita considerar los gametos $2n$, las barreras a nivel del estilo y el número de balance del endosperma (NBE). La mayoría de las especies presentan algún nivel de producción de gametos $2n$ (den Nijs y Peloquin, 1977; Novy y Hanneman, 1991; Watanabe, 1988). La presencia de gametos $2n$ ofrece la posibilidad para las especies no solo de hibridar con aquellas que poseen el mismo nivel de ploidía, sino también con aquellas con niveles de ploidía mayores. Este fenómeno da sentido a los intercambios génicos entre miembros de especies con diferentes niveles de ploidía (den Nijs y Peloquin, 1977).

Las barreras a nivel del estilo son un factor tanto en la hibridación intraespecífica como en la interespecífica (Fritz y Hanneman, 1989). Esta interacción puede ser ocasionada por los alelos S, por incongruencia, o por sistemas interespecíficos de barrera/aislamiento no descubiertos (Abdalla y Hermsen, 1972; Camadro y Peloquin, 1981; Dionne, 1961; Grun y Aubertin, 1966; Hermsen, 1978 y Pandey, 1962). Estos mecanismos de incompatibilidad interespecífica conducen a la detención del crecimiento de los tubos polínicos, evitando la fertilización del óvulo.

Un endosperma desarrollado es esencial para la nutrición del embrión y es otra forma de controlar el desarrollo de la semilla. La hipótesis del equilibrio del número de balance del endosperma ha sido descrita en papa, y plantea que los números de balance del endosperma (NBE)

materno y paterno deben estar en una proporción de 2:1 en el endosperma, para que las semillas se desarrollen normalmente (Johnston et al., 1980). Los NBE son independientes de la ploidía, pero han sido descritos como "ploidía efectiva" de los padres. Los NBE han sido asignados a casi todas las especies, y pueden ser usados para grupos de especies dentro de especies de cruzamiento $2x(1NBE)$, $2x(2NBE)$, $4x(4NBE)$, $6x(4NBE)$ (Hanneman, 1994; Hawkes y Jackson, 1992; Johnston y Hanneman, 1980; Johnston y Hanneman, 1982). Para simplificar este concepto, mientras los NBE de los padres se aparean, esas especies son parejas potenciales, excepto en la ocurrencia de barreras a nivel del estilo (Figura 2). Esto también significa que si están presentes gametos $2n$, las especies pueden también aparearse con una de más alto nivel de ploidía, porque los NBE son aditivos. Por ejemplo, una especie $2x(2NBE)$ puede solamente cruzarse con otra especie designada como $2NBE$ [por ejemplo, $2x(2NBE)$ o $4x(2NBE)$], pero los gametos $2n$, pueden también comportarse como si fueran $4NBE$ y así cruzarse con especies $4x(4NBE)$ o $6x(4NBE)$, ampliando así por lo tanto, las posibilidades para la transferencia de genes. La comprensión de las relaciones de cruzamiento y los principios que las rigen, son esenciales para la discusión del potencial para la introgresión de transgenes, dentro de poblaciones de especies nativas silvestres.

Al considerar el intercambio de genes en los centros de diversidad, o donde especies relacionadas son comunes en un área silvestre, en los límites del campo o en los campos mismos, la situación es muy diferente a la de los Estados Unidos o Canadá, donde existen pocas especies, salvo en la parte suroeste de los Estados Unidos, y

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa

donde están esencialmente aisladas de las áreas geográficas de producción y por barreras de cruzamiento. El riesgo de escape de transgenes hacia las poblaciones nativas aquí es extremadamente improbable (Love, 1994). ¿Cuál es la posibilidad para intercambiar genes donde el cultivar transgénico más probable es el $4x(4NBE)$, la ploidía y el NBE de la papa común *Solanum tuberosum*? Sabemos que las papas $4x(4NBE)$ pueden cruzarse directamente con otras especies $4x(4NBE)$ y también con especies $6x(4NBE)$. Esto significa que ellas pueden cruzarse con todas las especies listadas en las Tablas 1 y 2, y con otras que no están listadas, pero que son también $4x(4NBE)$ o $6x(4NBE)$. También pueden cruzarse con especies $4x(2NBE)$ (Tabla 3) y $2x(2NBE)$ (Tabla 4), si producen óvulos $2n$ o polen $2n$. Como la frecuencia de gametos $2n$ es relativamente baja para las especies

$4x(2NBE)$, a pesar que los híbridos son factibles, las probabilidades de ocurrencia son bajas. Si estos híbridos aparecieran, serían $6x(4NBE)$, y no estarían en capacidad de cruzarse con especies $4x(2NBE)$ debido a las diferencias en el NBE, a menos que los gametos $2n$ funcionaran de nuevo. No obstante, ellos podrían hibridarse con especies $6x(4NBE)$ si estuvieran presentes en la comunidad vegetal -una gran preocupación. Los productos de los cruces con especies $2x(2NBE)$ resultarían híbridos $4x(4NBE)$ vía gametos $2n$, los cuales se cruzarían con otras especies $4x(4NBE)$ en su vecindad. Los cruces entre especies $6x(4NBE)$ y plantas transgénicas o especies $4x(4NBE)$ darán como resultado una descendencia $5x(4NBE)$, la cual podría cruzarse con especies $6x(4NBE)$ o con especies $4x(4NBE)$. Se conoce que una mayor barrera a nivel del estilo ocurre entre especies $2x(1NBE)$ y

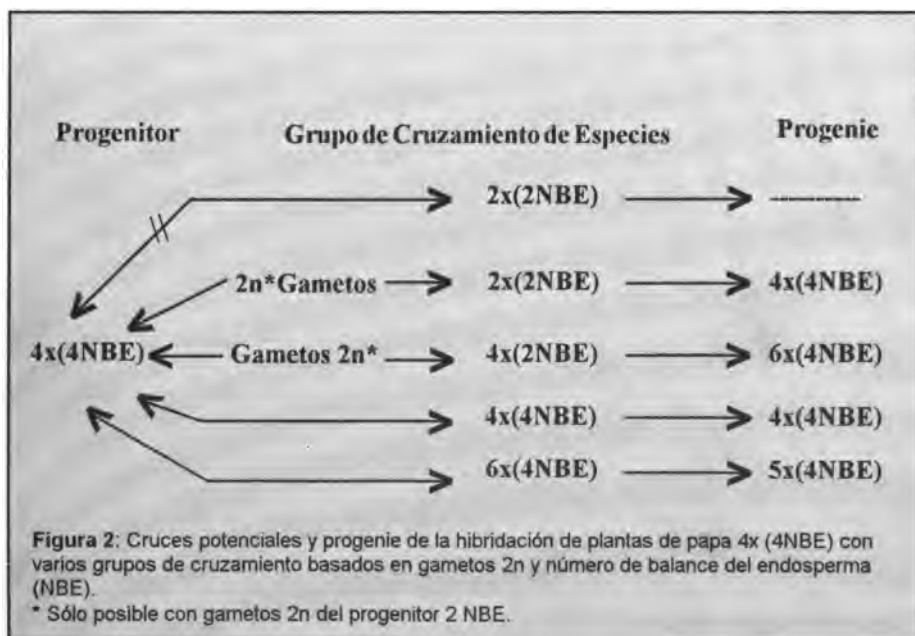


TABLA 1: ESPECIES SILVESTRES Y CULTIVADAS 4x(4NBE): HABITAT Y PAIS DONDE SE ENCUENTRAN
(Basado en Hawkes, 1990)

Especies	País	Habitat
<i>S. gourlayi</i>	Argentina Bolivia	prepuna seca o en vegetación de puna entre pastos, cactus y pequeños arbustos, 1900-3600 m
<i>S. oplocense*</i>	Argentina Bolivia	pequeños arbustos espinosos secos, setos, campos cultivados y vegetación de cactus, 2600-3500 m
<i>S. x sucrense</i>	Bolivia	maleza de cultivos, entre cactus y arbustos xerófilos, 2600-3900 m
<i>S. tuberosum</i> <i>ssp tuberosum*</i>	Chile	cultivada, bajas altitudes, 500-2000m
<i>ssp andigena*</i>	Argentina Bolivia Colombia Ecuador Guatemala México Perú Venezuela	cultivada en altitudes elevadas, sobre 2000 m

* Crecen en campos cultivados

TABLA 2: ESPECIES SILVESTRES Y CULTIVADAS 6x(4NBE): HABITAT Y PAIS DONDE SE ENCUENTRAN
(Basado en Hawkes, 1990)

Especies	País	Habitat
<i>S. moscopanum</i>	Colombia	pastizales húmedos y sitios eriazos o baldíos, 2900-3400 m
<i>S. oplocense*</i>	Argentina Bolivia	arbustos pequeños espinosos y secos, setos, campos cultivados y vegetación de cactus, 2600-3500 m
<i>S. albicans</i>	Ecuador Perú	praderas de altura, 3000-4750 m
<i>S. brachycarpum</i>	México	bosques de pinos y abetos, 1700-3350 m
<i>S. demissum</i>	México Guatemala	bosques sombreados de pinos y abetos, 2650-3800 m
<i>S. guerreroense</i>	México	bosques de pinos y robles, 2800-3000 m
<i>S. hougasii</i>	México	bosques de pino-abetos, 1600-2950 m
<i>S. iopetalum</i>	México	bosques de pino- robles, pendientes escarpadas que miran hacia el este, 1900-2360 m
<i>S. schenckii</i>	México	bosques de pinos y entre arbustos, 2600-3000 m

* Crecen en campos cultivados

**TABLA 3: LISTADO PARCIAL DE LAS ESPECIES SILVESTRES Y CULTIVADAS
2x(2NBE): HABITAT Y PAISES DONDE SE ENCUENTRAN
(Basado en Hawkes, 1990)**

Especies	País	Habitat
<i>S. agrimonifolium</i>	Guatemala Honduras México	bosque nublado, tierras húmedas, 1600-3300 m
<i>S. oxycarpum</i>	México	bosque húmedo de pinos y claros en el bosque
<i>S. violaceimarmoratum</i>	Bolivia	bosque montañoso lluvioso, 3000-3600 m
<i>S. acaule</i> <i>ssp acaule</i>	Argentina Bolivia Perú	praderas de altura, senderos, paredes, acequias, campos arables, 3700-4200 m
<i>ssp aemulans</i>	Argentina	sitios abiertos y pedregosos, praderas de altura, 2950-3500 m
<i>ssp punae</i>	Perú	praderas alpinas, senderos, paredes, acequias, campos arables, 3700-4200 m
<i>S. fendleri</i> <i>ssp arizonicum</i>	México USA	claros en bosques de pinos, orillas de caminos, 2000-2550 m
<i>S. fendleri</i>	México USA	bosques secos de roble-pino, con sombra poco densa, 600-2800m
<i>S. hjertingii</i>	México	piñon seco achaparrado, 1750-2500 m
<i>S. matehualae*</i>	México	a lo largo de los bordes de los campos
<i>S. papita</i>	México	bosques abiertos de enebro, roble y bosques de pino, vegetación achaparrada, y entre rocas y yerbas en tierras fértiles, 2150-2800 m
<i>S. polytrichon*</i>	México	bosques de roble, opuntia achaparrada, baldíos y como maleza en campos, 1800-2500 m
<i>S. stoloniferum*</i>	México	mesetas secas, valles y laderas

* Se dan en campos cultivados

**TABLA 4: LISTADO PARCIAL DE LAS ESPECIES SILVESTRES Y CULTIVADAS 2x(2NBE):
HABITAT Y PAISES DONDE SE ENCUENTRAN
(Basado en Hawkes, 1990)**

Especies	País	Habitat
<i>S. bukasovii</i> *	Perú	puna, orillas de caminos, sitios baldíos, paredes, áreas rocosas y con arbustos, pastizales, 3300-4300 m
<i>S. canasense</i> *	Perú	pendientes escarpadas de grava rocosa, bordes de los campos y orillas de caminos, 2900-4100 m
<i>S. marinasense</i> *	Perú	pendientes escarpadas rocosas, entre arbustos, en setos, bordes de los campos, 2200-2700 m
<i>S. sparsipilum</i> *	Bolivia Perú	campos, paredes, bordes de los campos 2400-3800 m
<i>S. huancabambense</i> *	Perú	bordes de campos, orillas de caminos, 1800-3000 m
<i>S. chacoense</i> * <i>ssp chacoense</i> *	Argentina Bolivia Paraguay Uruguay	orilla de veredas, pastizales, tierra arable, tierras marginales con árboles y vegetación achaparrados, márgenes de bosques, nivel del mar-2350 m
<i>ssp muelleri</i> *	Argentina Brasil	praderas, riveras de los ríos, orillas de veredas, campos, márgenes de bosques y claros, hasta 800 m
<i>S. astleyi</i> *	Bolivia	campos cultivados, sitios baldíos 3000-3300 m
<i>S. boliviense</i> *	Bolivia	vegetación achaparrada seca y campos cultivados, 2600-3750 m
<i>S. megistacrolobum</i> *	Argentina Bolivia Perú	pastizales de montañas altas, bordes de los campos, 3500-4450 m
<i>S. toralappanum</i> *	Argentina Bolivia	habitats húmedos, márgenes de los campos, pendientes rocosas y con pastos, 3000-4100 m
<i>S. spegazzini</i> *	Argentina	valles interandinos secos, lugares sombreados con árboles y arbustos, campos, bordes de campos, 1900-3100 m
<i>S. ajanhuiri</i> *	Bolivia Perú	cultivada, tierras altas, 3800-4100 m
<i>S. phureja</i> *	Bolivia Colombia Ecuador Perú Venezuela	cultivada, pendientes húmedas de montaña, bajas altitudes
<i>S. stenotomum</i> *	Bolivia Perú	cultivada, tierras altas

* Se dan en campos cultivados

TABLA 5: ESPECIES SILVESTRES 2x(1NBE): HABITAT Y PAISES DONDE SE ENCUENTRAN (Basado en Hawkes, 1990)

Especies	País	Habitat
<i>S. brevidens</i>	Argentina Chile	
<i>S. etuberosum</i>	Chile	bosques montañosos secos, 1250-2500 m
<i>S. fernandezianum</i>	Isla de Juan Fernández	bosques lluviosos, 100-600 m
<i>S. bulbocastanum</i>		
<i>ssp bulbocastanum*</i>	México	bosques, praderas, rocas y bordes de campos
<i>ssp dolchicophyllum*</i>	México	
<i>ssp partitum*</i>	México Guatemala	
<i>S. brachistotrichum</i>	México	vegetación de piñon seco achaparrado, 1750-2500 m
<i>S. cardiophyllum</i>		
<i>ssp cardiophyllum*</i>	México	vegetación achaparrada seca, sitios baldíos, bordes de campos, campos de lava antigua, maleza de cultivos, 1600-2550 m
<i>ssp ehrenbergii*</i>	México	
<i>S. hintonii</i>	México	paredes pedregosas, entre arbustos bajos y debajo de árboles, 1700-1850 m
<i>S. jamesii</i>	México USA	vegetación achaparrada seca
<i>S. x michoacanum</i>	México	campos húmedos con pastos, entre rocas, 2000-2100 m
<i>S. nayaritense*</i>	México	campos de maíz, vegetación natural virgen.
<i>S. pinnatisectum*</i>	México	campos cultivados, sitios baldíos, bordes de campos
<i>S. stenophyllidium</i>	México	llanuras secas con colinas con pequeños robles, arbustos y Opuntias
<i>S. tamii</i>	México	vegetación abierta de pequeños arbustos y yerbas, entre rocas, cercana a pinos o robles, 2360-2650 m
<i>S. trifidium*</i>	México	bosques de pino y roble, lugares parcialmente sombreados, campos de maíz, orillas de los caminos, 2100-2400m
<i>S. commersonii</i>		
<i>ssp commersonii*</i>	Argentina Brasil Uruguay	áreas costeras, zonas pantanosas, campos, bancos de ríos, bosques y playas arenosas, nivel del mar-400 m
<i>ssp malmeanum*</i>	Argentina Brasil Paraguay Uruguay	similar a l anterior, más hacia tierra adentro, preferencia al bosque o monte espeso y o muy frondoso y con árboles, nivel del mar - 400 m
<i>S. chancayense</i>	Perú	colinas costeras, 150-550m
<i>S. mochiquense</i>	Perú	en montañas, 1650-1700 m, colinas costeras, laderas rocosas, 250-500m
<i>S. lignicaule</i>	Perú	pendientes escarpadas con arbustos secos, terrazas cultivadas antiguas, 3000-3500 m
<i>S. capsicibaccatum</i>	Bolivia	bosques nublados, entre arbustos, 2000-4000 m
<i>S. circaeifolium</i>	Bolivia	bosques nublados, vegetación achaparrada, 2500-3600m

* Se dan en campos cultivados

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa

haploides de *Tuberosum*, cuando estos últimos son usados como hembras (Novy y Hanneman, 1991). Las especies $2x(1NBE)$ (Tabla 5) no pueden cruzarse con plantas $4x(4NBE)$, por lo que no son motivo de preocupación. La verdadera preocupación surge del resto de las especies con $2x(2NBE)$, $4x(2NBE)$, $4x(4NBE)$ y $6x(4NBE)$ donde la transferencia de genes puede ocurrir directamente o vía gametos $2n$. Como ha sido mencionado, también es necesario considerar no sólo la producción del híbrido, sino también su potencial para los intercambios de genes adicionales. A causa de las series de ploidía y la prevalencia de los gametos $2n$ entre las *Solanums* tuberosas, la situación del flujo génico puede no ser tan simple como uno se podría imaginar. La naturaleza del polinizador es también extremadamente importante, e influirá en el flujo génico entre especies, y debe ser considerada en el diseño de sistemas de confinamiento.

Donde la introducción de genes foráneos podría ser una amenaza a la(s) población(es) nativa(s), se debe evaluar el riesgo ambiental y decidir si el confinamiento debe ser considerado. Si el confinamiento es necesario, ¿Qué se podría hacer? Uno podría evitar áreas donde la amenaza es muy grande, donde especies $6x(4NBE)$ o $4x(4NBE)$ son endémicas y/o donde han crecido formas $4x(4NBE)$ nativas cultivadas. Como hemos visto, la presencia de polinizadores, es también un factor que debe ser considerado. Los abejorros están común y generalmente asociados con la polinización de la papa, ya que las flores necesitan de cierta vibración para la colecta del polen. Los abejorros viven en grupos pequeños. Típicamente se los encontrará amidando cerca de las inmedia-

ciones del área y alimentándose cerca de sus nidos, pero podrían volar varios kilómetros si es necesario (Heinrich, 1979). Como fue mostrado en el estudio de Skogsmyr (1994), podrían haber otros polinizadores efectivos que se requeriría tener que considerar, tales como pequeños escarabajos. Armados con tales conocimientos, deberíamos estar en capacidad, de establecer distancias seguras entre los transgénicos y otras especies en el área, silvestres o cultivadas. La ausencia de polinizadores efectivos reduciría sustancialmente la probabilidad de polinización natural. También se podrían usar barreras biológicas, tales como la esterilidad masculina. Si se eligiera una variedad de machos estériles para la transformación, o se introdujera la esterilidad masculina al transformante escogido, se reducirían significativamente las probabilidades de intercambio génico, aún si el resultado fuera una hembra fértil, dado que las abejas no tienden a visitar las flores macho estériles (Arndt et al., 1990; Sanford y Hanneman, 1981). Esta es una solución "segura" aún en áreas donde las especies y las variedades de cruce compatibles están presentes. Las barreras a nivel del estilo podrían también ser usadas para reducir la posibilidad de intercambio génico con las poblaciones naturales de especies silvestres.

Aparentemente el intercambio de genes entre papas transgénicas cultivadas $4x(4NBE)$ y sus parientes silvestres, ocurre dado que se pueden cruzar con especies $2x(2NBE)$ y $4x(2NBE)$ vía gametos $2n$, y directamente con especies $4x(4NBE)$ y $6x(4NBE)$. Para evaluar la situación en un área dada, se deben conocer las especies y los polinizadores presentes, para

establecer los medios de confinamiento apropiados, si ello se considera necesario. Los medios más simples son evitar esas áreas, seleccionar áreas donde los polinizadores no están presentes, o utilizar la esterilidad masculina.

Discusión

P: *¿Es posible regular el uso de papas transgénicas de manera diferente en las distintas regiones, y prohibir el uso de ciertas variedades en los centros de diversidad de la *Solanum*?*

R: La asignación de diferentes zonas geográficas basada en la estimación del riesgo de erosionar la diversidad de la *Solanum* puede ser posible, pero de uso limitado. Las variedades de cultivos transgénicos llegarán a las regiones críticas tarde o temprano. En muchos casos ocurre una exclusión geográfica natural de variedades particulares de papa. Por ejemplo, algunas variedades cultivadas en Bolivia no son apropiadas en Argentina y viceversa. Esto puede obstaculizar el flujo de genes entre diferentes regiones.

P: *¿ Puede la desregulación de un cultivo transgénico, por ejemplo en Estados Unidos, llegar a significar que el cultivo llegue a la Región Andina (aún en el supuesto de que no debiera)?*

R: Puede no haber manera efectiva de evitar que los productos transgénicos comercializados lleguen a una región específica*.

*No existe una discusión extensa sobre como las medidas fitosanitarias (por ejemplo, las regulaciones para la cuarentena vegetal) pudieran limitar el movimiento no deseado de germoplasma.

Modelos para la toma de decisiones

El trabajo realizado en bioseguridad de plantas transgénicas resistentes a la kanamicina sirve como un buen ejemplo de la minuciosidad que es necesaria en la consideración de problemas de bioseguridad (Nap et al., 1992). En una revisión

sobre el tema, advierten hasta donde fue necesario llegar, para estar seguros del efecto de la resistencia a la kanamicina en el ambiente y en la salud humana y animal: las formas conocidas de resistencia al antibiótico, la dispersión potencial por medio de plásmidos hacia poblaciones de bacterias, su potencial efecto sobre las malezas, su incorporación al suelo, su dispersión a través de la polinización cruzada, el potencial para la transferencia génica horizontal, sus efectos sobre el consumo humano y animal (Figura 3). La conclusión de todos estos y otros estudios, fue que "las plantas transgénicas resistentes a la kanamicina pueden, generalmente, ser reconocidas como seguras". Es un buen modelo a ser seguido en casos de impacto cuestionable en el ambiente. Otro modelo que puede ser útil es el de tomate FLAVR SAVR (Kramer y Redenbaugh, 1994).

La introducción de organismos genéticamente modificados al ambiente, ha suscitado preocupación tanto pública como científica. Para saldar esto, han sido propuestos varios métodos que ayudan en la evaluación de la seguridad de estos organismos. Kapteijns (1993) describió un método paso a paso para la evaluación.

"El primer paso es determinar el nivel de seguridad acordada del organismo sin modificar. Los siguientes factores necesitan ser considerados: (1) el estatus plaga/patógeno del organismo, (2) su habilidad para establecerse en el ambiente accesible, (3) sus interrelaciones ecológicas, función e importancia en la comunidad, (4) su habilidad para transferir información genética, (5) el potencial de monitoreo y control. El segundo paso en la evaluación consideraría cómo la mo-

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa

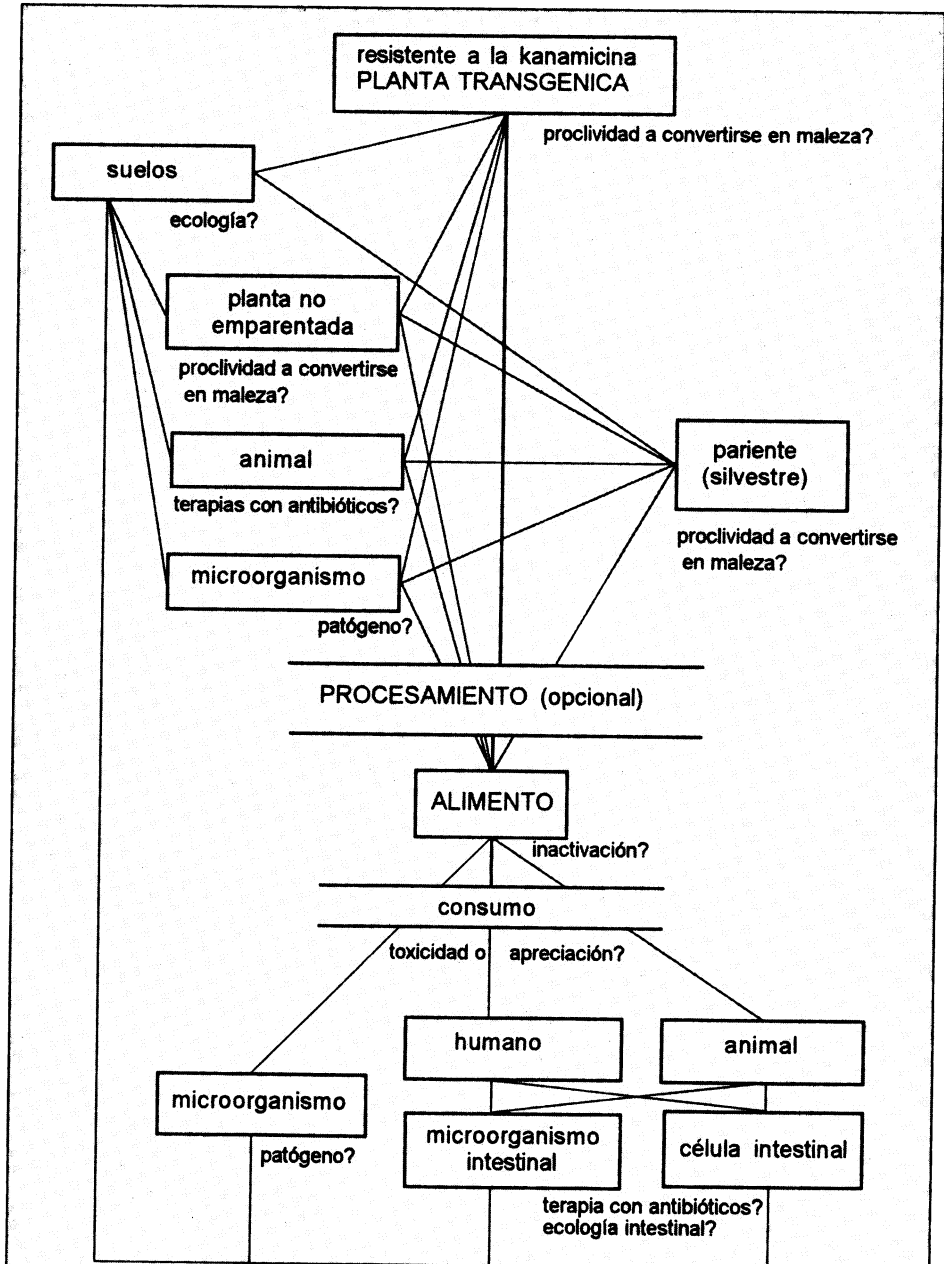


Figura 3. Efectos potenciales de la resistencia a la kanamicina para el ambiente y la salud humana y animal. Las preguntas en los recuadros especifican la naturaleza de los impactos potenciales. (Tomado de Nap, J-P., Bijvoet, J. y Stiekema, W.J. 1992. Biosafety of kanamycin-resistant transgenic plants. *Transgenic Res.* 1:239-249. Con permiso de los autores y del editor Chapman & All, London).

dificación genética afecta a la seguridad. Tres factores deben ser tomados en cuenta: (1) El proceso de modificación genética (2) la construcción y expresión de los genes, (3) el grado al cual el conocimiento de la biología molecular y otra información está disponible, para predecir el nivel de seguridad del organismo modificado en relación al del no modificado. El tercer paso sería combinar la evaluación de los pasos uno y dos".

De lo anterior se deduce que el confinamiento apropiado puede ser determinado por medios físicos, biológicos, químicos y/o ambientales.

El informe del Consejo Nacional de Investigación (NRC, 1989) provee un marco similar para la toma de decisiones en relación a la evaluación de riesgos. Ellos tratan temas relativos a las cuestiones de familiaridad, confinamiento y efectos ambientales. En general, se pueden contestar la mayoría de las preguntas que tratan con familiaridad muy rápidamente, pero las preguntas concernientes al confinamiento y a los efectos ambientales son menos definitivas, y es donde la información

necesaria podría no estar disponible. En este último punto es donde nos enfrentamos a la mayoría de las cuestiones que tratan con la hibridación y el riesgo ambiental, asociados con la introducción de plantas transgénicas.

Conclusiones

El nivel de riesgo que un grupo está dispuesto a aceptar tiene determinantes científicas, sociales y políticas. La ciencia puede proveer la base y el marco para la toma de decisiones, y puede seguirse un esquema lógico de toma de decisiones, tal como el propuesto por el Consejo Nacional de Investigación (NRC, 1989). El pasar por alto las consideraciones científicas deberá ser una responsabilidad y un riesgo social y político a nivel local y nacional (Siddhanti, 1991; y Tait, 1988). Podría haber resistencia a la introducción o al uso de transgénicos, podría no haber mercado para estos productos debido a una población reticente a su uso, o podrían surgir temores en cuanto a sus diferencias con respecto a productos bien conocidos. Estos riesgos percibidos, pueden ser más importantes que la determinación científica, y necesitan ser entendidos y enfrentados si se quiere lograr el consenso. La necesidad de alimentos, tanto para consumo local como para exportación, podría superar a los riesgos asociados con la introducción de transgénicos al ambiente, especialmente donde las necesidades financieras son sustanciales. También lo concerniente al orgullo nacional asociado con los logros científicos, podría llevar este asunto más allá de los riesgos asociados a él. No se trata de irresponsabilidad, sino más bien de decisiones prácticas que deben ser y serán tomadas sobre una base de análisis nacional.

La introducción de transgénicos ya no es más un asunto de si ocurrirá, sino de

Discusión

P: ¿Es significativa la presencia de genes "innecesarios"?

R: Los genes marcadores u otros genes "innecesarios" se usan en los procesos de desarrollo y pasan a los productos finales. Reconociendo que son a menudo innecesarios, y pueden no ser deseables, existe actualmente investigación en curso en variedades con resistencia natural para determinar si esos genes pueden ser usados en lugar de los genes de tolerancia foráneos. Hay alguna duda sobre el beneficio de este tipo de investigación, dado que existe muy poca preocupación real sobre los genes marcadores que son usados actualmente.

cuándo y donde ocurrirá. Parece ser una realidad el hecho de que crecerán en centros de diversidad. Existe la necesidad de diálogo para establecer posiciones nacionales apropiadas, y el grado de regulación deseable, tomando en cuenta la importancia de las especies nativas y la pureza de sus inventarios de genes. Estas decisiones deberán ser asumidas por cada país. Los centros de diversidad son de valor para la agricultura del mundo entero, por eso las decisiones que se tomen, tendrán también implicaciones globales.

Citas bibliográficas

- Abdalla, M.M.F. and Hermesen, J.G. 1972. Unilateral incompatibility: Hypothetical debate and its implications for plant breeding. *Euphytica* 21:32-47.
- Ahl-Goy, P.A. and Duesing, J.H. 1995. From pots to plots: Genetically modified plants on trial. *Bio/technology* 13: 454-458.
- Arias, D.M. and Rieseberg, L.H. 1994. Gene flow between cultivated and wild sunflowers. *Theor. Appl. Genet.* 89: 655-660.
- Arndt, G.C., Rueda, J.L., Kidane-Mariam, H. M., and Peloquin, S.J. 1990. Pollen fertility in relation to open pollinated true seed production in potatoes. *Am. Potato J.* 67: 499-505.
- Brown, C.R. 1993. Outcrossing rate in cultivated autotetraploid potato. *Am. Potato J.* 70:725-734.
- Camadro, E.L. and Peloquin, S. J. 1981. Cross incompatibility between the sympatric polyploid *Solanum* species. *Theor. Appl. Genet.* 60: 65-70.
- Crawley, M.J., Hails, R.S., Rees, M., Kohn, D. and Buxton, J. 1993. Ecology of transgenic oilseed rape in natural habitats. *Nature* 363: 620-623.
- Dale, P.J. 1992. Spread of engineered genes to wild relatives. *Plant Physiol.* 100: 13-15.
- Dale, P.J., Irwin, J.A. and Scheffler, J.A. 1993. The experimental and commercial release of transgenic crop plants. *Plant Breed.* 111: 1-22.
- den Nijs, T.P.M. and Peloquin, S.J. 1977. 2n gametes in potato species and their function in sexual polyploidization. *Euphytica* 26: 585-600.
- Dionne, L.A. 1961. Mechanism of interspecific incompatibility in tuber-bearing *Solanum* species. *Am. Potato J.* 38: 73-77.
- Doebley, J. 1990. Molecular evidence for gene flow among *Zea* species. *BioScience* 40: 443-448.
- Eijlander, R. and Stiekema, W.J. 1994. Biological containment of potato *Solanum tuberosum*: Outcrossing to the related wild species black nightshade *Solanum nigrum* and bitter-sweet (*Solanum dulcamara*). *Sex. Plant. Reprod.* 7: 290.
- Ellstrand, N.C. and Hoffman, C.A. 1990. Hybridization as an avenue of escape for engineered genes. *BioScience* 40: 438-442.
- Finnegan, J. and McElroy, D. 1994. Transgene inactivation: Plants fight back! *Bio/technology* 12: 883-888.
- Fritz N.K. and Hanneman, R.E. Jr. 1989. Interspecific incompatibility due to stylar barriers in tuber-bearing and closely related non-tuber-bearing

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa

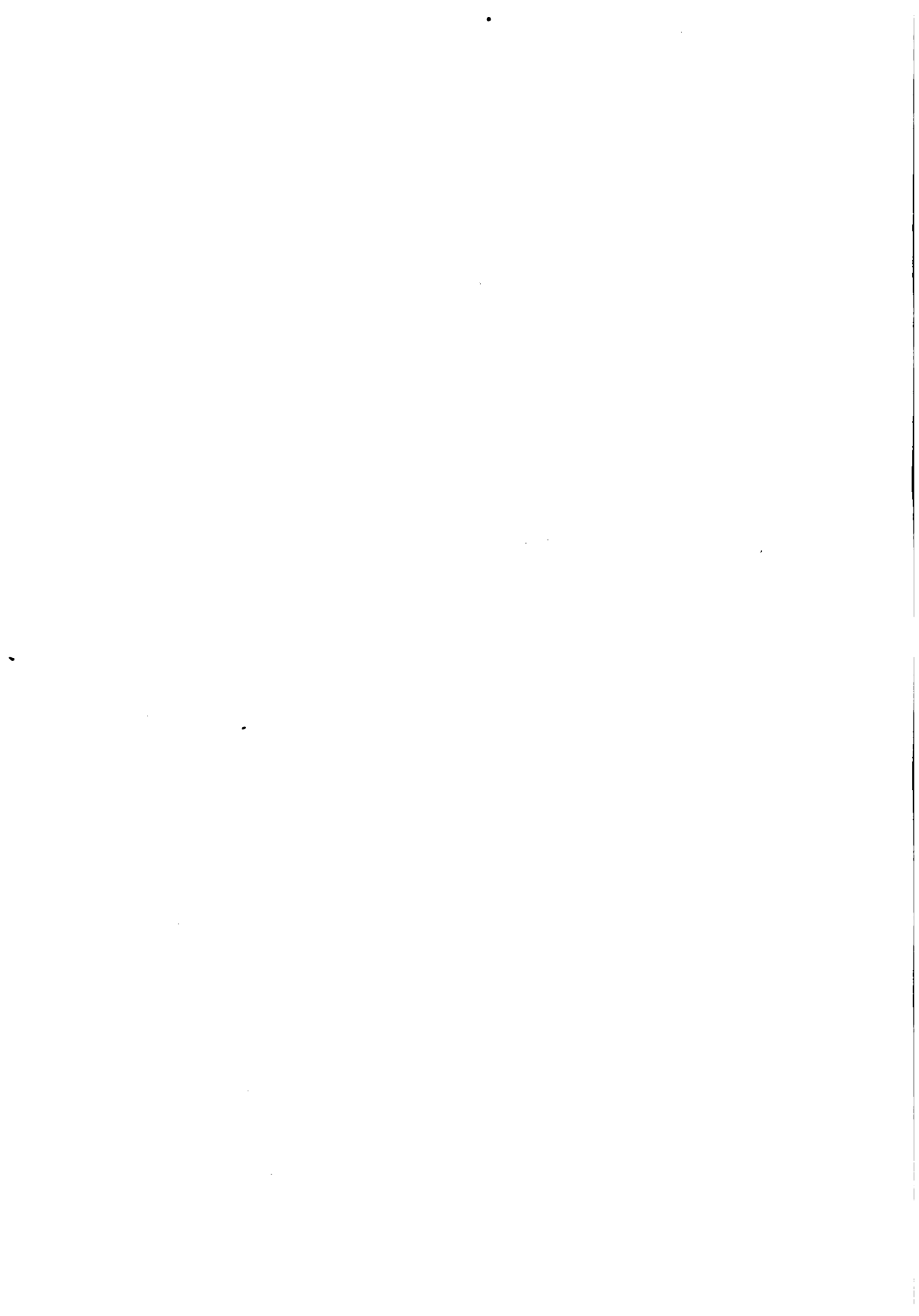
- Solanums. Sex. Plant. Reprod.* 2: 184-192.
- Grun, P. and Aubertin, M. 1966. The inheritance and expression of unilateral incompatibility in *Solanum*. *Heredity* 21: 131-138.
- Hanneman, R.E. Jr. 1994. Assignment of Endosperm Balance Numbers to the tuber-bearing *Solanums* and their close non-tuber-bearing relatives. *Euphytica* 74: 19-25.
- Hanneman, R.E. Jr. 1993. The testing and release of transgenic potatoes in the North American center of diversity. In: Krattiger, A.F. and A. Rosemarin (eds). *Biosafety for Sustainable Agriculture: Sharing Biotechnology Regulatory Experiences of the Western Hemisphere*. ISAAA, Ithaca, New York, and SEI, Stockholm, Sweden. pp. 47-67.
- Hawkes, J.G. 1990. *The Potato: Evolution, Biodiversity, and Genetic Resources*. Belhaven Press, London and Smithsonian Institute Press, Washington, D. C. 259 p.
- Hawkes, J.G. and Jackson, M.T. 1992. Taxonomic and evolutionary implications of the Endosperm Balance Number hypothesis in potatoes. *Theor. Appl. Genet.* 84: 180-185.
- Heinrich, B. 1979. *Bumble-bee Economics*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 245 p.
- Hermesen, J.G.T. 1978. Factors controlling interspecific crossability and their bearing on the strategy for breaking barriers to intercrossing of tuber-bearing *Solanum* species. In: Zeven, A. C. and Harten, A. M. (eds.). *Proceedings of the Conference on Broadening the Genetic Base of Crops*. Wageningen, Netherlands. pp. 311-318.
- Jain, S.K. 1977. Genetic diversity of weedy rye populations in California. *Crop Sci.* 17: 480-482.
- Johnston, S.A. and Hanneman, R.E. Jr. 1982. Manipulations of Endosperm Balance Number overcome crossing barriers between diploid *Solanum* species. *Science* 217: 446-448.
- Johnston, S.A. and Hanneman, R.E. Jr. 1980. Support of the Endosperm Balance Number hypothesis utilizing some tuber-bearing *Solanum* species. *Am. Potato J.* 57: 7-14.
- Johnston, S.A., den Nijs, T.P.N., Peloquin, S.J. and Hanneman, R.E. Jr. 1980. The significance of genic balance to endosperm development in interspecific crosses. *Theor. Appl. Genet.* 52: 5-9.
- Kapteijns, A.J.A.M. 1993. Risk assessment of genetically modified crops. Potential of four arable crops to hybridize with the wild flora. *Euphytica* 66: 145-149.
- Keeler, K. H. 1989. Can genetically engineered crops become weeds? *Bio/technology* 7: 1134-1139.
- Kramer, M.G. and Redenbaugh, K. 1994. Commercialization of a tomato with an antisense polygalacturonase gene: The FLAVR SAVR tomato story. *Euphytica* 79: 293-297.
- Love, S.L. 1994. Ecological risk of growing transgenic potatoes in the United States and Canada. *Am. Potato J.* 71: 647-658.
- McPartlan, H.C. and Dale P.J. 1994. An assessment of gene transfer by pollen from field-grown transgenic potatoes to non-transgenic potatoes and

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa

- related species. *Transgenic Res.* 3: 216-225.
- Nap, J-P., Bijvoet, J. and Steikema, W. J. 1992. Biosafety of kanamycin resistant transgenic plants. *Transgenic Res.* 1: 239-249.
- National Research Council (NRC). 1989. *Field Testing Genetically Modified Organisms - Framework for Decisions.* National Research Council (NRC). National Academy Press, Washington, D. C. 170 p.
- Novy, R. G. and Hanneman, R. E. Jr. 1991. Hybridization between Gp. Tuberosum haploids and IEBN wild potato species. *Am. Potato J.* 63: 151-169.
- Pandy, K.K. 1962. Interspecific incompatibility in *Solanum* species. *Am. J. Bot.* 49: 874-882.
- Prins, T.W. and Zadoks, J.C. 1994. Horizontal gene transfer in plants, a biohazard? Outcome of a literature review. *Euphytica* 76:133-138.
- Rabinowitz, D., C.R. Linder, R. Ortega, D. Begazo, H. Murguia, D.S. Douches and C.F. Quiros. 1990. High levels of interspecific hybridization between *Solanum sparsipilum* and *S. stenotomum* in experimental plots in the Andes. *Am. Potato J.* 67:73-81.
- Sanford, J.C. and Hanneman, R.E. Jr. 1981. The use of bees for the purpose of intermatings in potato. *Am. Potato J.* 58: 481-485.
- Sauer, J.D. 1967. The grain amaranths and their relatives: A revised taxonomic and geographic survey. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 54: 103-137.
- Schlüter, K., Fütterer, J. and Potrykus, I. 1995. Horizontal gene transfer from transgenic potato line to a bacterial pathogen (*Erwinia chrysanthemi*) occurs - if at all - at an extremely low frequency. *Bio/technology* 13, pp 1094-1098.
- Second, G. 1982. Origin of the genetic diversity of cultivated rice (*Oryza* spp.): Study of the polymorphism scored at 40 isozyme loci. *Japan. J. Genet.* 57: 25-57.
- Siddhanti, S.K. 1991. *Multiple Perspectives on Risk and Regulation.* Garland Publishing Co., New York. 339 p.
- Skogsmyr, I. 1994. Gene dispersal from transgenic potatoes to conspecifics: A field trial. *Theor. Appl. Genet.* 88: 770-774.
- Suneson, C.A., Rachie, K.O. and Khush, G.S. 1969. A dynamic population of weedy rye. *Crop Sci.* 9: 121-124.
- Tait, J. 1988. Public perception of biotechnology hazards. In: Dayan, D., Campbell, P.N. and Jukes, T.H. (eds.). *Hazards of Biotechnology: Real or Imaginary?* A. Elsevier Applied Science, New York. pp. 119-128.
- Tiedje, J.M., Colwell, R.K., Grossman, Y.L., Hodson, R. E., Lenski R. E., Mack, R.N. and Regal, P.J. 1989. The planned introduction of genetically engineered organisms: Ecological considerations and recommendations. *Ecology* 70: 298-315.
- Tucker, J.M. and Sauer, J.D. 1958. Aberrant *Amaranthus* populations of the Sacramento-San Joaquin delta, California. *Madrono* 14: 252-261.
- Vayda, M.E. and Belknap, W.R. 1992. The emergence of transgenic potatoes as commercial products and

Ecología y Biología Reproductiva de la Papa

- tools for basic science. *Transgenic Res.* 1: 149-163.
- Warwick, S.I., Thompson, B.K. and Black, L.D. 1984. Population variation in *Sorghum halepense*, Johnson grass, at the northern limits of its range. *Canad. J. Bot.* 62: 1781-1790.
- Watanabe, K. 1988. *Occurrence, frequency, cytology and genetics of 2n pollen: And sexual polyploidization in tuber-bearing Solanums*. Ph.D. Thesis. University of Wisconsin-Madison, Wisconsin. 267 p.
- Wilson, H. D. 1990. Gene flow in squash species. *BioScience* 40: 449-455.



Capítulo 4

Visión General de las Consideraciones Ambientales con Plantas Transgénicas / Papas

Ali Golmirzaie, Luis Ñopo, y Marc Ghislain Centro Internacional de la Papa, Departamento de Recursos Genéticos, Lima, Perú

Resumen

Este ensayo pasa revista a las preocupaciones ambientales más frecuentes originadas a raíz de la liberación de plantas transgénicas. Posteriormente discute en forma específica la introducción de papas transgénicas en Latinoamérica. Los autores hacen notar que la investigación sobre el uso de organismos genéticamente modificados se está expandiendo en los países latinoamericanos. Debido al consenso sobre la necesidad de regular la aplicación de esta tecnología, es importante desarrollar y armonizar regulaciones sobre bioseguridad en Latinoamérica. Se argumenta que los centros internacionales de investigación agrícola deben desarrollar procedimientos regulatorios que puedan ser utilizados o modificados, por los programas nacionales, tanto en países desarrollados como en desarrollo, de acuerdo a sus necesidades y requerimientos. Al respecto, el Centro Internacional de la Papa (CIP) ha desarrollado normas sobre bioseguridad ya aprobadas por las autoridades oficiales de los países huéspedes.

Introducción

La mente humana está siempre lista para el cambio. Luego del descubrimiento de las enzimas de restricción, la aplicación de las técnicas de la biología molecular nos ha posibilitado realizar nuevas combinaciones genéticas en el laboratorio, y transferir su secuencia a un amplio rango de organismos (Dale et al., 1993). En 1983 fue introducido un código génico, para la resistencia a los antibióticos, a las plantas de petunia (Bunders, 1990). Desde entonces se ha realizado un amplio intervalo de modificaciones en plantas. Ellas ofrecen nuevas oportunidades para el desarrollo agrícola, porque ahora es posible visualizar un amplio rango de posibilidades para reducir los rasgos negativos o para incrementar las cualidades

positivas de los cultivos. Desde 1987 hasta ahora el Servicio de Inspección de Salud Animal y Vegetal (APHIS) ha otorgado 689 permisos para introducir plantas genéticamente modificadas con tolerancia a herbicidas, resistencia a los insectos, mayor calidad del producto, y resistencia a virus y hongos. La papa es el cuarto cultivo más utilizado para transformación después del maíz, tomate y frijol de soya (NBIAP News Report Internet, mayo de 1995).

En el Centro Internacional de la Papa (CIP) la producción de plantas transgénicas (papas y batatas/camotes) es considerada un enfoque complementario y valioso al mejoramiento clásico de las variedades, a través de la propagación. La

resistencia a las plagas y enfermedades son el objetivo, mediante el uso de genes antibacteriales, genes antivirales (vectores de expresión de la proteína de la cápsida viral), y un gen del Bacilo *thuringiensis* (*Bt*) para la resistencia a los insectos (CIP, 1992).

Discusión

P: ¿Son diferentes las plantas modificadas genéticamente de las plantas propagadas tradicionalmente?

R: Esta pregunta sigue siendo controversial. Con los experimentos de transformación indirecta (por ejemplo, variación somaclonal, fusión protoplasmática, etc.) no ha sido necesario tomar precauciones y no se han puesto en ejecución regulaciones especiales. Si bien las plantas generadas por estos métodos podrían ser reguladas en cualquier parte, hubo un consenso general aparente de que no era necesario. A la pregunta de si los científicos del Centro Internacional de la Papa creen que existe alguna diferencia entre las prácticas tradicionales de propagación y las plantas derivadas por recombinación, la respuesta fue afirmativa.

Áreas de preocupación

La aplicación de la ingeniería genética para el mejoramiento de los cultivos, seguida de la liberación de plantas transgénicas al medio ambiente ha originado muchas preguntas sobre los riesgos de estas nuevas combinaciones genéticas artificiales (Dale, 1992).

Las preocupaciones y las preguntas más frecuentes son las siguientes:

1. El origen del gen incorporado. Uno de los mitos públicos más comunes es la creencia de que los genes de especies emparentadas son más seguros que aquellos de especies u organismos lejanos. El origen del gen es de hecho de menor importancia en relación a su función,

producto(s), lugar de introducción, y los efectos epistático y pleiotrópico (Hanneman, 1994).

2. La estabilidad de la nueva combinación genética. Varios estudios en años recientes parecen indicar que la expresión genética así como el lugar de su integración se mantienen estables a lo largo de generaciones.

3. El advenimiento del polen liberado por plantas transgénicas. Una estrategia común es la remoción manual de los capullos florales de las plantas transgénicas para evitar que se riegue el polen en el ambiente. Los campos de papas transgénicas deben ser rodeados por barreras de distancia mínima de separación de sus parientes silvestres porque puede ocurrir la polinización cruzada. La dispersión del polen que lleva genes foráneos, es uno de los riesgos principales para el ambiente, asociado con las pruebas de campo de las plantas transgénicas. Hasta el momento se han producido varias liberaciones de papas genéticamente modificadas (Skogsmyr, 1994; Tynan et al., 1990) y fueron realizados varios experimentos para analizar la dispersión del polen, mediante abejorros y por el viento, tanto con plantas transgénicas como no-transgénicas y para evaluar los efectos potenciales de la polinización cruzada (Mc Partland et al., 1994).

4. El impacto en la salud humana. Los riesgos derivados de la manipulación o liberación de plantas transgénicas de papa incluyen sus posibles efectos adversos en la salud humana. El material transgénico debe ser probado en el laboratorio para asegurar que no representa ningún riesgo, por su manipulación o consumo, para los seres humanos (por ejemplo, toxicidad, desarrollo de alergias).

Discusión

P: ¿Existen preocupaciones específicas sobre las reacciones alérgicas potenciales derivadas de la ingestión de papas transgénicas?

R: El desarrollo de una alergia es un tema complejo y depende no solo de la secuencia genética sino también de las condiciones bajo las cuales es elaborado el producto genético. Se ha sugerido con respecto a la toxicidad y al desarrollo de alergias, que las preocupaciones relacionadas con las plantas transgénicas pueden estar sobredimensionadas frente a los programas tradicionales, de propagación. Estos últimos a veces originan la producción de compuestos (tales como terpenes, fenoles y lecitina) que independientemente o combinados, pueden tener efectos negativos para la salud humana. En el caso de plantas transgénicas, existe por lo general un amplio conocimiento del producto genético introducido, que incluye la prueba de los efectos potenciales en la salud humana. No obstante, las pruebas en productos génicos, expresados fuera de las plantas, todavía no son suficientes. La naturaleza de la proteína (por ejemplo, patrones de glicosilación y otras modificaciones) a menudo determinan antigenidad y alergenicidad y pueden ser distintas en diferentes organismos. Consecuentemente, es necesario observar los impactos en la salud cuando los productos génicos se expresan en las plantas huéspedes. Este asunto ha sido investigado largamente en Estados Unidos, pero sin resultados concluyentes. Una razón para ello son las limitaciones de las pruebas a pequeña escala. Los efectos de rara ocurrencia, tal como la alergenicidad, pudieran manifestarse solamente luego de exposiciones en gran escala (por ejemplo, postcomercialización).

P: Las compañías del Norte se han resistido al uso de genes animales en sus programas de desarrollo, por la posible reacción de la opinión pública. ¿Prevalece la misma actitud en América Latina?

R: No hay razones científicamente justificadas para esto. Parece ser más un asunto de consideraciones éticas. Puede no darse el mismo nivel de preocupación en los países suramericanos, donde la aceptación pública de cultivos transgénicos es mayor. En los países que enfrentan necesidades urgentes (por ejemplo, escasez de alimentos) existe menor resistencia a los cultivos transgénicos con genes animales.

5. El seguimiento en la introducción de plantas transgénicas. El seguimiento de la liberación de plantas transgénicas de papa es importante para evaluar sus efectos nocivos potenciales sobre la salud humana y el medio ambiente.

6. La modificación del ecosistema natural. Además de la polinización cruzada con especies silvestres, las papas transgénicas pueden alterar el ecosistema mediante la modificación de la presión de la selección natural de la fauna. La distribución natural de las especies, patógenas o no, en el medio ambiente puede sesgarse hacia un nuevo equilibrio, que puede no ser apropiado para la preservación de la diversidad genética. Es importante evaluar el comportamiento de las plantas genéticamente modificadas en nuevos nichos ecológicos a fin de identificar posibles problemas antes de que ocurran.

7. El tipo de agricultura involucrado. La agricultura a gran escala (intensiva) necesita seguir las regulaciones nacionales para el uso de papas transgénicas. La agricultura sostenible requerirá que a los agricultores se les suministre toda la información y educación necesarias.

Las papas transgénicas en América Latina

Los estudios de la diversidad genética de las especies de papa han mostrado a los Andes latinoamericanos como el centro de origen de la papa. Hay 235 especies de papa registradas; de las cuales solo 8 son cultivadas (Huamán, 1983). Todas ellas fueron originalmente tetraploides u obtenidas mediante la hibridación entre dos o más especies diploides. La hibridación

controlada o natural ha creado nuevos genotipos que son receptores convenientes de rasgos mejorados. No se tomaron cuidados especiales antes de su liberación al medio ambiente. En comparación, el flujo transgénico debe ser considerado específicamente sobre la base de cada caso en particular. La preocupación relativa a que el flujo transgénico en especies silvestres cruzables induzca el comportamiento de convertirse en maleza en la nueva combinación genética, carece de evidencia. Aún así el asunto puede y debe ser manejado en el laboratorio antes de liberar las papas transgénicas al medio ambiente, cuando se sabe que están presentes especies cruzables. Hay poca o ninguna evidencia de compatibilidad sexual entre las especies *Solanum* que habitan en regiones templadas (Dale, 1993).

Evaluación de riesgos

La evaluación de los riesgos debe empezar en el laboratorio. La proclividad a convertirse en maleza y la calidad nutritiva de la papa transgénica pueden ser evaluadas antes de liberarla al medio ambiente. Los experimentos clave deben hacerse sobre la base de caso por caso. Obviamente, la protección antiviral debida a la resistencia interpuesta por la cubierta proteínica y la nueva composición de almidón de las papas transgénicas, requieren protocolos experimentales diferentes. Las regulaciones en bioseguridad deberán proveer los medios legales y coercitivos para prevenir las posibles conductas incorrectas. En la medida que las pruebas de laboratorio sean exitosas, las papas transgénicas deben ser probadas bajo condiciones de invernadero, donde es fácil evaluar todos los rasgos durante el desarrollo de la plan-

ta. Eventualmente, la liberación en el campo no presentará ningún riesgo para la salud humana o para el ambiente. La difusión del polen deberá ser vigilada en los lugares de liberación, donde están presentes las especies silvestres. En estos casos resultará preferiblemente usar como material transgénico el genotipo machos estériles (androesterilidad).

Normativa de bioseguridad en el CIP

No ha sido observada proclividad a convertirse en maleza en las papas transgénicas. Al parecer no es viable que las papas transgénicas liberadas en el ambiente se conviertan en maleza. El flujo de genes de las transgénicas hacia las especies silvestres puede realizarse bajo circunstancias específicas y debe ser evitado. La resistencia de las papas transgénicas a las plagas y patógenos puede facilitar la aparición de nuevas razas potencialmente más virulentas para otras plantas. Como quiera que sea, este riesgo no está restringido a las plantas modificadas, y es comúnmente aceptado el uso agrícola de nuevas variedades con mayor resistencia a las plagas y enfermedades.

El CIP está llevando a cabo investigación transgénica para mejorar la resistencia a las plagas y enfermedades de las variedades comerciales de papas. Las primeras pruebas de campo fueron hechas en Bolivia, para evaluar la tolerancia a las heladas de las papas transgénicas (Devaux, 1994). Otro ejemplo más reciente se inició con la transformación para toxinas contra insectos del *Bacillus thuringiensis*, bajo un proyecto en colaboración con Plant Genetic Systems Belgium (Sistemas de Plantas Genéticas de Bélgica). La evaluación de

las plantas transgénicas se realizó primero bajo condiciones controladas en salas de incubación y en invernaderos, que proporcionaron información valiosa de la expresión del gen introducido. Sin embargo, una evaluación general del fenotipo de la planta y de su desempeño solo puede hacerse probando las papas transgénicas en un ambiente de campo. Catorce líneas de papas transgénicas de clones Lt-8 y *Sangema*, expresando el gen de la toxina *Bt* fueron probados en campo, en la Estación de San Ramón del CIP, para evaluar sus rendimientos y la resistencia a la Polilla del Tubérculo de la Papa, bajo condiciones naturales. Este experimento fue realizado de acuerdo con las regulaciones de bioseguridad del CIP, que establecen orientaciones internas para la aplicación segura de la biotecnología. Esas orientaciones han sido adoptadas por las autoridades peruanas como sus regulaciones de bioseguridad para la introducción de organismos genéticamente modificados en el ambiente. En este estudio de campo, cuatro barreras de maíz cercaron el campo a fin de prevenir la dispersión del polen. Los capullos de las flores fueron removidos manualmente y puestos en autoclave aún cuando los genotipos eran en ese ambiente de baja fertilidad. El riesgo de la polinización cruzada con especies silvestres estuvo ausente debido a que no pueden ser halladas en este ambiente específico.

Conclusiones

La contribución a la agricultura de las plantas genéticamente modificadas será muy importante en la medida que dos tercios de la población del Tercer Mundo dependa de y tenga en la agricultura su modo de vida y subsistencia (Broerse y

Bunders, 1991). El incremento de los rendimientos y la disminución del uso de pesticidas, serán dos avances significativos de los cultivos transgénicos para la agricultura de los países en desarrollo. Los avances recientes en la mejora de la papa han incentivado a los países latinoamericanos a incrementar su producción de papas para la acelerada expansión de la industria de comida rápida (CIP, 1992).

La investigación relativa a la utilización de organismos genéticamente modificados se está expandiendo en Latinoamérica. Así como existe consenso en la necesidad de regular la aplicación de esta tecnología, es importante desarrollar y armonizar las regulaciones de bioseguridad en América Latina (Visser, 1994). Los centros internacionales de investigación agrícola deben desarrollar procedimientos regulatorios que puedan ser usados o modificados por programas nacionales, tanto en países desarrollados como en desarrollo, de acuerdo a sus necesidades y requerimientos. Al respecto el CIP ha desarrollado regulaciones en bioseguridad que han sido aprobadas por las autoridades de los países huéspedes.

Reconocimientos

Agradecemos a Jorge Benavides, Ana Panta, Giselle Cipriani y Bill Hardy por su ayuda y valiosos comentarios.

Citas Bibliográficas

Broerse, J.E.W. and Bunders, J.F.G. 1991. The potential of biotechnology for small-scale agriculture. In: Bunders, J.F.G. and Broerse, J.E.W. (eds.). *Appropriate Biotechnology in*

- small-scale agri-culture: How to reorient research and development.* CABI, UK. pp. 1-21.
- Bunders, J.F.G, (ed.). 1990. *Biotechnology for small-scale farmers in developing countries. Analysis and assessment procedures.* The Netherlands, VU University Press. 232 p.
- CIP. 1992. *CIP in 1992. Program Report.* Lima, International Potato Center.
- CIP. 1993. *Biotechnology and biosafety at CIP. Internal guidelines.* Lima, International Potato Center.
- Cohen, J. 1991. Biotechnology, biosafety and field testing: an agency for international development perspective. In: *Molecular methods for potato improvement. Report of the planning conference on application of molecular techniques to potato germplasm enhancement.* Lima, International Potato Center.
- Dale, P.J. 1992. Spread of engineered genes to wild relatives. *Plant Physiology* 100: 13-15.
- Dale, P.J. 1992. The field release of transgenic potatoes. In: *Report of the "Seminar on scientific approaches for the assessment of research trials with genetically modified plants".* Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.
- Dale, P.J., Irwin, J.A. and Scheffler, J.A. 1993. The experimental and commercial release of transgenic crop plants. *Plant Breeding*, 111: 1-22.
- Devaux, A., Estrada, N., Carrasco, E. and Silva, M.A. 1994. Experience in field testing of transgenic potatoes with added antifreeze gene in Bolivia. In: *Third International Symposium on Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms.* Monterey, California, Nov. 13-17.
- Hanneman, R.E. 1994. The testing and release of transgenic potatoes in the North American Center of Diversity. In: Krattiger, A.F. and Rosemarin, A. (eds.). *Biosafety for sustainable agriculture*, ISAAA/SEI, USA/Sweden. pp. 47-67.
- Huamán, Z. 1983. Botánica sistemática, identificación, distribución y evolución de la papa cultivada. En: *Manual sobre manejo de germoplasma de papa.* Lima, Centro Internacional de la Papa.
- McPartlan, H.C. and Dale, P.J. 1994. An assessment of gene transfer by pollen from field-grown transgenic potatoes to non-transgenic potatoes and related species. *Transgenic Research* 3:216-225.
- Skogsmyr, I. 1994. Gene dispersal from transgenic potatoes to conspecifics: a field trial. *Theoretical and Applied Genetics* 88(6-7): 770-774.
- Tynan, J.L., Williams, M.K., and Conner, A.J. 1990. Low frequency of pollen dispersal from a field trial of transgenic potatoes. *J. Genetics and Breeding*. 44: 303-306.
- Visser, B. 1994. The prospects for technical guidelines for safety in biotechnology. *Biotechnology and Development Monitor* 20: 21-22.

Capítulo 5

Preocupaciones Potenciales sobre el Ambiente frente a la Introducción de un Rasgo Específico: Experiencias con Papas Modificadas para Expresar Resistencia a los insectos y Virus

David S. Douches y Walter Pett, Department of Crop and Soil Sciences and Entomology, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA

Resumen

Este artículo sistematiza las preocupaciones ambientales sobre los cultivares de papas transgénicas con resistencia incrementada a los insectos y virus, y discute si estos son diferentes de los cultivares de propagación tradicional. Si las papas transgénicas se cultivan en regiones con especies interfértiles, se dará la transferencia de genes hacia parientes silvestres. Esto tiene implicaciones en el potencial para incrementar la adaptabilidad de los parientes silvestres, debido a la introgresión de la codificación de los transgenes para la resistencia a los insectos y virus. Se requiere un examen de los riesgos en relación con los beneficios de estos cultivos mejorados. Las consideraciones deben incluir la posibilidad del escape de genes, los efectos ecológicos de ese escape de genes, y la consecuencia de la transferencia de genes en el cultivar mismo. Los científicos pueden utilizar la amplia experiencia de la propagación tradicional como base de referencia, para establecer una predicción del comportamiento de la papa transgénica. Es importante que Latinoamérica desarrolle un conjunto de regulaciones en materia de bioseguridad, para el desarrollo, transferencia y pruebas de campo de las plantas transgénicas.

Introducción

La siguiente evaluación de las preocupaciones relativas a la liberación de plantas de papas transgénicas en Latinoamérica está escrita desde la perspectiva de los investigadores responsables de la propagación de la papa, y de los programas genéticos de la Universidad de Michigan. El objetivo del Programa es el de desarrollar nuevos cultivares que han sido mejorados para resistir plagas, e incre-

mentar su desempeño agronómico y sus rasgos de calidad. Nuestra filosofía es la de explorar maneras en que se puedan integrar las nuevas tecnologías con la propagación convencional, para alcanzar más efectivamente nuestro objetivo de cultivares mejorados.

Un aspecto de este Programa es el desarrollo y uso de plantas de papa transgénica. Hemos conformado un equipo de científi-

cos a través del Proyecto de Biotecnología Agrícola para el Desarrollo Sustentable (ABSP) patrocinado por USAID, que está focalizado al desarrollo de papas transgénicas para incorporar genes de resistencia que tengan un impacto positivo sobre la producción de papa en Egipto e Indonesia. Los rasgos que se están introduciendo actualmente en la papa son la resistencia a la polilla del tubérculo de la papa (*Phthorimaea operculella* Zeller), y al virus Y de la papa (VYP). Otros rasgos en los que está trabajando nuestro Programa incluyen la resistencia al escarabajo de la papa de Colorado (*Leptinotarsa decemlineata* Say), al virus del enrollamiento de la hoja (VEHP), y a la sequía de la raíz por *fusarium*, unido a la acumulación de almidón.¹

¿Por qué estamos usando técnicas de modificación de plantas?

Vemos la ingeniería genética como una nueva herramienta para los propagadores de plantas. Con anterioridad a esta tecnología, la propagación de plantas en general enfrentó limitaciones para la transferencia de genes. La compatibilidad sexual y la fertilidad de los híbridos resultantes, determinaron las fronteras de la transferencia de genes. Las técnicas de la ingeniería genética echaron abajo esas barreras, y ofrecieron a los propagadores la posibilidad de introducir genes de organismos no tradicionales (por ejemplo de organismos fuera del inventario de genes). El concepto de ingeniería genética, cuando es considerado en el continuo de la propagación de plantas, desde luego cam-

bia nuestro concepto de cómo introducir genes al germoplasma cultivado.

Clasificamos la técnica de la ingeniería genética como un nuevo medio de mejoramiento del germoplasma. La ventaja obvia de esta técnica es la de que un gen específico puede ser introducido en una planta. Los rasgos indeseables, posiblemente asociados con otros genes del organismo donante, no hacen parte del proceso de transferencia del gen. La tecnología asociada con la ingeniería genética está todavía en su infancia, y esperamos ver en un futuro cercano un arreglo creciente de genes disponibles para el mejoramiento de plantas, unido a técnicas mejoradas para la transformación de las mismas.

Nuestro Programa está involucrado en investigaciones para aplicar las técnicas de la ingeniería genética a la papa cultivada, porque esta tecnología ofrece disponibilidad de nuevos genes para mejorar nuestro germoplasma cultivado. Luego de la introducción de un gen en una línea de papa, podemos entonces usar las técnicas de mejoramiento convencionales para el desarrollo futuro de las variedades.

Preocupaciones percibidas

¿Cuáles son las preocupaciones percibidas en la utilización de papas transgénicas? La habilidad para transferir genes entre organismos sexualmente incompatibles crea preocupaciones, y puede presentar riesgos. ¿Pueden estos nuevos genes integrados en un cultivo representar un riesgo ecológico que sobrepase al beneficio agro-

Los científicos cooperantes en este equipo de investigación son los entomólogos Walter Pett y Ed Grafius, y el patólogo vegetal Ray Hammerschmidt.

nómico? Las preocupaciones giran alrededor de tres riesgos generales: 1) la planta transgénica se puede convertir en una maleza del sistema agrícola e invadir habitats naturales, 2) el flujo de genes modificados hacia parientes silvestres puede dar lugar a una descendencia híbrida, con mayor potencial para convertirse en maleza, y 3) la planta transgénica misma puede ser tóxica o alergénica a los humanos o a los animales domésticos, u organismos silvestres benéficos. (Crawley et al., 1993).

¿Deberíamos usar cultivos transgénicos?

Los cultivos transgénicos nos ofrecen beneficios agrícolas potenciales. En contraste, los grupos defensores del ambiente han expresado preocupaciones sobre la adopción extendida de cultivos transgénicos (Rissler y Mellon, 1993). A medida que los científicos se han ocupado del mejoramiento de las plantas, nosotros apreciamos los riesgos y beneficios del uso de plantas transgénicas en un análisis de caso por caso. El proceso por el cual sopesamos los riesgos y beneficios envuelve el examen del cultivo, el transgen y su localización, y su interacción considerando como contexto las preocupaciones esbozadas por Crawley et al (1993).

En nuestra investigación examinamos muy de cerca si ese riesgo se aplica. En Michigan State University, el foco primario de nuestra investigación transgénica, es la introducción de genes que confieren resistencia a insectos y virus. A continuación, ofrecemos nuestras filosofías, experiencias y percepciones acerca del uso de estos genes para modificar la papa

y así obtener la resistencia a virus e insectos.

Análisis de los estudios de casos

¿Es la liberación de cultivares de papa transgénica, diferente de aquella de los cultivares tradicionales? Huttner (1993) sugiere que el primer supuesto a considerar en la evaluación del riesgo es el de si los cultivos transgénicos son fundamentalmente diferentes de aquellos propagados convencionalmente. Los propagadores pueden argumentar que el proceso de transformación de la planta no es muy diferente. Sin embargo un aspecto importante a ser considerado es que el inventario, en el cual podemos introducir genes, se ha expandido. Los genes que no eran accesibles convencionalmente pueden ser transferidos. Existe la posibilidad de transferencia de genes a parientes silvestres. Debido a que los transgenes pueden ser únicos, debemos tomarnos el tiempo para examinar las consecuencias de la liberación de papas transgénicas. Sin embargo, cuando observamos la evaluación de la seguridad de las papas transgénicas, el énfasis no debiera recaer sobre si estas plantas representan o no, un riesgo al ambiente o a la seguridad alimentaria, sino si dichas papas transgénicas generan riesgos adicionales a los ya conocidos con la liberación de cultivares de papas propagadas tradicionalmente. (Conner, 1994).

En Michigan State University, nuestro objetivo es el de desarrollar y probar papas transgénicas con genes del *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) para la resistencia a los insectos, y de la proteína de la cubierta viral para la resistencia a los virus. En Michigan con los genes de la toxina *Bt* estamos desarrollando plantas de papa resistentes al escarabajo de la papa de

Colorado (EPC), y en Egipto e Indonesia la resistencia a la polilla del tubérculo de la papa (PTP). La promesa, con la resistencia en la planta huésped, es la de reducir el daño causado por el insecto, y también reducir el uso de pesticidas en los cultivos de papa. El menor uso de pesticidas beneficiaría el ambiente de la finca, mediante la reducción de la exposición. Estamos usando genes de la cápsida para conferir resistencia a dos virus de importancia a nivel mundial: VYP y virus del enrollamiento de la hoja (VEHP). La incorporación de resistencia a esos dos virus vectores de áfidos, lograría mejorar los sistemas de producción de semilla de papa. La reducción del virus en las semillas de papa permitirá incrementar la productividad de los cultivos (Bantari et al, 1993).

Mejora en la papa convencional

¿Qué riesgos han impuesto las técnicas convencionales? En Norteamérica los esfuerzos para el mejoramiento de la papa cultivada (*Solanum tuberosum* subesp. *tuberosum*) tienen más de un siglo de historia. El proceso de propagación convencional de la papa implica una hibridación entre dos líneas élite de propagación, para combinar rasgos deseables de cada individuo. Los genotipos superiores son mantenidos mediante la propagación asexual. Debido a la naturaleza heterocigota del cultivo, cualquier cruce sexual puede resultar en la pérdida de integridad del genotipo deseado. Los cultivares de papa han sido mejorados en su calidad y resistencia a las plagas mediante la propagación tradicional. También existe una historia documentada del uso de especies *Solanum* de Sur y Centroamérica para incrementar el germoplasma cultivado. Los propagado-

res de papa en todo el mundo han utilizado estas especies para incorporar resistencia a enfermedades e insectos, y para mejorar otros factores agronómicos y de calidad. Hoy en día esos cultivares mejorados son objeto de uso en la mayoría de los países del mundo bajo condiciones climáticas variadas y han tenido la oportunidad de hibridarse con las especies silvestres sexualmente compatibles y con especies cultivadas. Con numerosos ejemplos de flujo génico entre papas cultivadas y sus especies relacionadas en Sudamérica (Hawkes, 1990) ¿hay ejemplos del aumento de la adaptabilidad en cualquiera de las especies debido al movimiento de genes desde las variedades mejoradas? En nuestra investigación bibliográfica sobre la liberación de estos cultivares mejorados no hemos encontrado publicado ningún reporte sobre consecuencias ecológicas negativas.

También nos podemos preguntar si la especie cultivada se ha convertido a lo largo de este proceso en maleza. El potencial de la papa para convertirse en maleza puede provenir de dos fuentes: voluntarios que no fueron removidos de la cosecha del año previo (Lutman, 1977), o semillas verdaderas de papa (Lawson, 1983). En los Estados Unidos la rotación empleada en la producción de papa no ha promovido poblaciones naturales de líneas cultivadas fuera del sistema agrícola. La distribución mundial de papa cultivada debe proveer el contexto en el cual corresponde examinar la cuestión de la conversión en maleza. En adición, la conversión en maleza de las plantas transgénicas puede ser considerada en ensayos a pequeña escala, mediante cuidadosos seguimientos postensayo (Corner, 1994). Nuestra sugerencia es que en Latinoamérica, donde existen diferentes

condiciones climáticas, si se van a liberar papas transgénicas, debe considerarse el asunto de la conversión en maleza.

¿La propagación tradicional ha dado lugar a productos indeseables en el tubérculo de la papa? Numerosas especies *Solanum* son muy amargas al gusto debido a la presencia de cantidades de glucoalcaloides potencialmente tóxicos. En los programas de propagación actuales, los tubérculos de papa de líneas avanzadas son evaluados rutinariamente en cuanto a su nivel de glucoalcaloides. En la década de los setentas, el cultivar 'Lenape' fue liberado en Estados Unidos, y se descubrió que tenía niveles totales de glicoalcaloides varias veces más altos que los niveles normales. Esto condujo a retirar este cultivar del mercado (IFBC, 1990).

Nosotros recomendamos que para la evaluación del riesgo, tomemos estas experiencias de propagación tradicional, como una referencia para establecer un nivel de riesgo aceptable en la dispersión de papas transgénicas.

Transferencia génica entre cultivares de papas transgénicas y especies relacionadas

¿Cuál es la probabilidad de que ocurra transferencia de genes entre los cultivares de papas transgénicas y las especies relacionadas? Consideremos ahora el aspecto de la localización en la dispersión de plantas transgénicas. En los Estados Unidos no existen especies interfértiles con nuestra papa cultivada; por consiguiente no nos preocupa el movimiento génico hacia las especies *Solanum* (Love, 1994). La misma situación existe para Europa (Dale, 1992), Egipto e Indonesia. Desde

luego, el riesgo de transferencia de genes por dispersión de papas transgénicas casi no existe en estos tres lugares.

En Latinoamérica la situación es diferente. En el centro de origen y diversidad de la papa, el entrecruzamiento entre especies cultivadas y silvestres ha ocurrido y ocurre (Rabinowitz et al, 1990); por consiguiente podemos concluir que, de liberarse comercialmente papas transgénicas en lugares con especies interfértiles, ocurrirá un flujo de transgenes hacia la población silvestre.

Para evaluar el riesgo necesitamos cuantificar el flujo de transgenes en América Latina. Kareiva et al. (1991) desagregaron el problema del escape de genes y de la dispersión de genes en cuatro componentes:

- la distancia que el polen transgénico debe viajar desde la planta fuente,
- la frecuencia con que el polen transgénico produce descendencia híbrida, si se acepta el supuesto de transferencia de polen,
- la adecuación relativa de la descendencia transgénica, y
- la dispersión espacial del gen en la población de malezas.

Experimentos de campo estandarizados para cuantificar el flujo del gen deben definir con precisión las fuentes de polen, los marcadores genéticos que identifican la fuente de polen, y varios lugares alrededor de la fuente para el muestreo de semillas.

Existe un conjunto de información sobre el flujo génico entre especies *Solanum* relacionadas. Si uno considera la liberación comercial de papas transgénicas en

América Latina, es necesario evaluar la disponibilidad de especies relacionadas e interfértiles en la localidad donde se liberan; asimismo se debe considerar la necesidad de realizar estudios sobre flujo génico. Más aún, si se realizan los estudios de flujo génico, la información obtenida debe cuantificarse para que pueda ser utilizada en la evaluación de riesgos.

¿Cuál es la adaptabilidad del gen en poblaciones silvestres?

Si existen especies interfértiles de papas en la misma localidad podemos esperar escape del transgen desde el cultivo. Por consiguiente debemos considerar la adaptabilidad del gen de la toxina *Bt* y de los genes de la proteína de la cápsida viral.

El gen de la toxina *Bt*, bajo altos niveles de expresión en la planta, debe reducir el daño del insecto objetivo. Bajo altas presiones, tanto de la polilla del tubérculo de la papa (PTM) como del escarabajo de la papa de Colorado (EPC), este gen de resistencia debe tener consecuencias económicas positivas sobre el cultivo ya cosechado. ¿Tiene el gen *Bt* adaptabilidad fuera de las especies cultivadas? América del Sur no está en el rango geográfico del escarabajo de la papa de Colorado (Weber y Ferro, 1994) y no será considerada. La polilla del tubérculo de la papa es la plaga más importante de la papa en las áreas tropicales y subtropicales. A esto se suma que se han reportado infestaciones en las regiones altas de América del Sur (Van Rie et al; 1994). ¿Cuál sería la adaptabilidad del gen de la toxina *Bt* en híbridos entre especies cultivadas y silvestres que lo expresan? Actualmente ignoramos si algunos resultados publicados responden

a esta pregunta. Sin embargo, sabemos que un número de especies *Solanum* silvestres se destacan por su variada resistencia a plagas, enfermedades y virus (Hawkes, 1990). Podrá la introgresión del gen *Bt* específico para insectos lepidópteros dar paso a una mayor adaptabilidad en poblaciones naturales? Considerando la diversidad de las tensiones bióticas y abióticas ejercidas sobre las poblaciones *Solanum*, nosotros consideramos que el gen *Bt* podrá conferir poca o ninguna adaptabilidad sobre el genotipo bajo condiciones naturales. Si estuviésemos planificando liberar comercialmente papas transgénicas *Bt* en América del Sur, deberíamos diseñar experimentos para cuantificar la adaptabilidad de poblaciones naturales que contienen los genes *Bt*.

En propagación, la resistencia a los virus ha sido objetivo de numerosos esfuerzos, durante los últimos 50 años. En la papa cultivada, la ventaja de la resistencia a los virus se encuentra en la producción de semillas. Numerosas especies *Solanum* han sido identificadas como resistentes a los virus más importantes, y han sido utilizadas para transferir estas resistencias al germoplasma cultivado (Ross, 1986). La dispersión de cultivares resistentes a los virus ha ocurrido en todo el mundo sin un riesgo significativo. ¿El escape de los genes de la proteína de la cápsida viral en Latinoamérica incrementaría la adaptabilidad de los híbridos entre especies *Solanum* cultivadas y silvestres? Si hacemos un esbozo sobre la experiencia de propagación tradicional, vemos que con el transcurrir del tiempo, el escape de la resistencia a los virus desde las especies cultivadas hacia las especies silvestres probablemente no confiera ninguna ventaja selectiva.

Experiencias con Papas Modificadas para Expresar Resistencia a los Insectos y Virus

DeZoeten (1991) expresa preocupación por el uso de los genes de la cápsida para modificar la resistencia a los virus. ¿Podría la amplia dispersión de papas transgénicas con genes de la proteína de la cápsida viral dar lugar a virus con nuevos rasgos en el huésped? El examen de la transcapsidación debe ser parte de la evaluación del riesgo. Greene y Allison (1994) han demostrado que la recombinación puede ocurrir entre el transcrito del mRNA de la proteína de la cápsida y el virus infectante. Los resultados de estos tipos de experimento pueden ser usados para establecer el riesgo de la dispersión comercial de los genes de la cubierta en el caso de la papa.

Un tema común sobre seguridad alimentaria que acude a nuestra mente es si ¿el gen *Bt* produce algún riesgo para la salud en las partes comestibles del cultivo? El International Food Biotechnology Council (1990) investigó a fondo los riesgos percibidos para la salud derivados del consumo de organismos transgénicos. Estas preocupaciones se debieron a: productos proteicos de los transgenes, pleiotrópicos y efectos secundarios de la expresión de los transgenes e inserciones mutagenéticas, como una consecuencia de la integración transgénica. Ellos concluyeron que la ingeniería genética no presenta ningún riesgo nuevo a la seguridad alimentaria, diferente de los asociados con la propagación tradicional de plantas. Sin embargo, para asegurar la aceptación pública de las plantas transgénicas se recomendó que las agencias regulatorias procedan con precaución hasta que se adquiera una mayor experiencia con alimentos provenientes de plantas transgénicas. Monsanto ha realizado una evaluación extensiva sobre seguridad del

algodón *Bt*, como alimento y producto para la alimentación. Sus experimentos han mostrado que las proteínas introducidas en la variedad *kurstaki Bt* y la neomicina fosfotransferasa son seguras (Fuchs, 1994). Además este algodón transgénico demostró por otra parte ser substancialmente equivalente a una varie-

Discusión

P: ¿Qué tan efectivas tendrían que ser las plantas que contienen la toxina *Bt* (por ejemplo nivel de tolerancia de la planta a la plaga) a fin de evitar el desarrollo de la resistencia?

R: Algunos han estimado que serían necesarias 400 veces ese nivel. Las Agencias de los Estados Unidos (FDA, EPA, USDA) se encuentran examinando los aspectos del manejo de la resistencia en los insectos. No es de interés para la industria ni para los propagadores que los insectos desarrollen resistencia hacia las plantas transgénicas *Bt*. No obstante se acordó que pueden darse ciertas resistencias específicas, y de hecho se espera que ocurran en algunos insectos. Las prácticas agrícolas convencionales y rutinarias pueden ser usadas para demorar el desarrollo de la resistencia. Un punto de vista es que las fuerzas del mercado deberán proveer un incentivo suficiente para evitar que se pierda una línea competitiva de planta transgénica. En los Estados Unidos las técnicas de manejo que promuevan la demora de la aparición de la resistencia, requerirán de un esfuerzo concertado. No se espera que el Gobierno juegue un papel importante, por lo tanto el peso recaerá en la industria. (La compañía Monsanto ha iniciado estrategias en las técnicas de manejo de la resistencia, recomendadas para sus papas transgénicas que expresan la toxina *Bt*). En los centros de diversidad, donde los parientes silvestres pueden actuar como refugio, el desarrollo de la resistencia podría ser demorado. Por tanto, en los centros de diversidad existen probablemente menos problemas de desarrollo de la resistencia. En todo caso se estuvo de acuerdo que el proceso de desarrollo, evaluación e implementación de opciones de técnicas de manejo de la resistencia, serán un aspecto significativo de la comercialización de las papas que expresan la toxina *Bt*.

dad comercial de algodón, en cuanto a calidad nutritiva. Monro et al. (1993) no encontraron diferencias nutricionales o toxicológicas entre un cultivar de papa y su derivado transgénico resistente a herbicidas. Conner (1994) recomienda que en los programas de propagación se examine rutinariamente la concentración de glicoalcaloides en las papas transgénicas.

En Michigan, al igual que en otras regiones donde se cultivan papas, estamos preocupados con las consecuencias de la dispersión de las papas transgénicas *Bt*. Nuestra preocupación se focaliza en la administración de la resistencia basada en *Bt*. Una alta expresión del gen de la toxina *Bt* en la planta ejerce una presión selectiva muy fuerte sobre el escarabajo de la papa de Colorado, en cuanto a su resistencia a esta toxina. La pérdida de los habitats para el escarabajo, debida a la dispersión extensiva de los transgénicos *Bt* podría reducir rápidamente la efectividad de la resistencia de la planta huésped. Estamos focalizando los esfuerzos de investigación al desarrollo de estrategias que pudieran hacer la dispersión de papas transgénicas *Bt* más sostenible. La sostenibilidad de la resistencia *Bt* de la planta huésped debe ser considerada para Latinoamérica.

Conclusiones

El objetivo de los propagadores de papa es el de desarrollar cultivares mejorados. A medida que identificamos genotipos superiores, abrimos caminos a la comercialización. Estamos usando la transformación como un medio de introducir genes para mejorar nuestro germoplasma cultivado. Como estamos en el extremo aplicado del desarrollo de plantas transgénicas, focalizamos nues-

tros esfuerzos en genes que tienen valor agronómico (genes de la toxina *Bt*, de la proteína de la cubierta viral, y de modificación del contenido de almidón). Consideramos que con estos genes poseemos un nivel cómodo de familiaridad, debido a la amplia experiencia de investigación. En los Estados Unidos estos genes en la papa representan un riesgo pequeño para el ambiente, y sus consecuencias en materia de seguridad alimentaria son poco significativas.

Creemos que es importante desarrollar en Latinoamérica un conjunto de regulaciones de bioseguridad para el desarrollo, transferencia y pruebas de campo con plantas transgénicas. Si deseamos comercializar cultivares de papa transgénica con resistencia a insectos y virus, deberemos examinar los riesgos en relación con los beneficios de usar esos cultivos mejorados. ¿Qué es lo que deberíamos definir como riesgos? Esto incluye la posibilidad del escape de genes y los efectos ecológicos de este escape, así como las consecuencias que causarían estos nuevos genes en el cultivar mismo. Para establecer una línea base de orientación del comportamiento de una papa transgénica recurriríamos a las numerosas experiencias de propagación tradicional.

Nos parece que los riesgos de las plantas transgénicas varían con la planta implicada, el gen modificado y la localización de la liberación. A medida que ganamos conocimientos sobre el gen modificado, y se le estima benigno, podrían ser aplicables las prácticas convencionales de propagación para eliminar los genotipos no deseados.

Citas bibliográficas

- Banttari, E. E., Ellis, P. J., and Khurana, S.M.P. 1993. Management of diseases caused by viruses and viruslike pathogens. In R.C. Rowe, (ed.). *Potato Health Management*. APS Press, St. Paul. pp. 127-133.
- Conner, A.J. 1994. Analysis of containment and food safety issues associated with the release of transgenic potatoes. In Belknap, W.R., Vayda, M.E. and Park, W.D. (eds.). *The Molecular and Cellular Biology of the Potato*, Second Edition, CAB International, Wallingford, UK. pp. 245-264.
- Crawley, M.J., Hails, R.S., Rees, M., Kohn, D., and Buston, J. 1993. Ecology of transgenic oilseed rape in natural habitats. *Nature* 363: 620-623.
- Dale, P.J. 1992. Spread of engineered genes to wild relatives. *Plant Physiol.* 100:13-15.
- DeZoeten, G.A. 1991. Risk assessment: do we let history repeat itself? *Phytopathology* 81(6):585-586.
- Fuchs, R.L. 1994. Safe deployment of transgenic plants expressing a Bt gene in agricultural systems. *Biosafety Intellectual Property Rights Project Evaluation*. AGERI & ABSP Workshop Series. p. 15.
- Greene, A.E. and Allison, R.F. 1994. Recombination between viral RNA and transgenic plant transcripts. *Science* 263:1423-1425.
- Hawkes, J.G. 1990. *The Potato: Evolution, Biodiversity and Genetic Resources*. Belhaven Press, London.
- Huttner, S.L. 1993. Biosafety in research with transgenic plants. *Proceedings of the USAID Latin America Caribbean Region Biosafety Workshop*. pp. 20-21.
- International Food Biotechnology Council (IFBC). 1990. Biotechnologies and food - assuring the safety of foods produced by genetic manipulation. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 12:S1-S196.
- Kareiva, P., Manasse, R., and Morris, W. 1991. Using models to integrate data from field trials and estimate risks of gene escape and gene spread. In MacKenzie, D.R. and Henry, S.C. (eds.). *Biological Monitoring of Genetically Engineered Plants and Microbes*, Agr. Res. Inst., Bethesda, MD. pp. 31-42.
- Lawson, H.M. 1983. True potato seed as arable weeds. *Potato Research* 26:237-246.
- Love, S.L. 1994. Ecological risk of growing transgenic potatoes in the United States and Canada. *Am. Potato J.* 71:647-658.
- Lutman, P.J.W. 1977. Investigations into some aspects of the biology of potato as weeds. *Weed Research* 17:123-132.
- Monro, J.A., James, K.A.C. and Conner, A. J. 1993. Comparative nutritional evaluation of a transgenic herbicide-resistant potato and the parent cultivar. *Food Info Report* No. 6, p. 47. New Zealand Institute for Crop and Food Research, Christchurch.
- Rabinowitz, D., Linder, C.R., Ortega, R., Begazo, D., Murguía, H., Douches, D.S., and Quiros, C.F. 1990. High levels of interspecific hybridization between *Solanum sparsipilum* and *S. stenotomum* in experimental plots in the Andes. *Am. Potato J.* 67:73-81
- Rissler, J. and Mellon, M. 1993. *Perils Amidst the Promise: Ecological Risks of Transgenic Crops in a Global Market*. Union of Concerned Scientists, Cambridge, MA. p.92.

- Ross, H. 1986. Potato Breeding - Problems and Perspectives. *Advances in Plant Breeding* 13. Verlag Paul Parey, Berlin and Hamburg.
- Van Rie, J., Jansens, S., and Reynaerts, A. 1994. Engineered resistance against potato tuber moth. In Zehnder, G.W., Powelson, M.L., Jansson, R.K. and Raman, K.V. (eds.). *Advances in Potato Pest Biology and Management*. The American Phytopathological Society, St. Paul. pp. 499-508.
- Weber, D.C., and Ferrom D.N. 1994. Colorado potato beetle: diverse life history poses challenge to management. In Zehnder, G.W., Powelson, M.L., Jansson, R.K. and Raman, K.V. (eds.). *Advances in Potato Pest Biology and Management*. The American Phytopathological Society, St. Paul. pp. 54-70.

Capítulo 6

En Busca de un Equilibrio: Resumen de las Discusiones de Grupo

Ivar Virgin and Robert J. Frederick, Biotechnology Advisory Commission, Sweden

Introducción

Habiendo escuchado las presentaciones y discusiones generales sobre las preocupaciones ambientales en relación a las papas transgénicas en Sudamérica, los participantes del taller estuvieron de acuerdo en examinar los temas con mayor detalle en tres grupos. Cada grupo estuvo encargado de considerar cuáles eran las características más investigadas actualmente en sus países, y luego enfrentar sus preocupaciones con el estado del desarrollo de los cultivos (ensayos de campo o comercialización) y los beneficios esperados de las variedades mejoradas. Los resultados de los grupos de trabajo fueron luego reportados en sesión plenaria. Este capítulo resume las ideas y opiniones expresadas.

Hubo claro consenso en que los mayores esfuerzos en el desarrollo de papas transgénicas corresponden y corresponderán al desarrollo de plantas con resistencia incrementada a enfermedades y plagas. Las características más analizadas en el taller fueron la resistencia a los insectos, bacterias, virus, hongos y a la tensión abiótica (en particular a las heladas). Fueron consideradas brevemente la resistencia a herbicidas y las modificaciones de la calidad (alteración en la composición de almidón y proteínas).

En los Estados Unidos y Europa, la posibilidad de la transferencia de genes a especies interfértiles es virtualmente inexistente debido a la falta de parientes silvestres. En los centros de origen latinoamericano, ocurrirá flujo génico entre las papas transgénicas fértiles comercialmente cultivadas y las poblaciones silvestres. Por lo tanto, la discusión no se basó tanto en el contenido transgénico como en el posible impacto que estos transgenes tendrían sobre el ambiente; más específicamente, las consecuencias del flujo de transgenes en centros de diversidad.

Preocupaciones ambientales y beneficios potenciales

Hubo acuerdo general sobre el gran valor de los centros de diversidad, no solamente a nivel local sino mundial. Aún más, los participantes sintieron que se deberían tomar todas las medidas razonables para preservar esta diversidad. En cualquier caso, no hubo un consenso claro entre los participantes sobre si la introducción de caracteres transgénicos en papas silvestres y cultivadas afectaría la diversidad de la *Solanum*, cambiando los patrones de crecimiento, y como consecuencia, desplazando a las poblaciones naturales. Muchos sintieron que, en la mayoría de los casos, las variedades de papas transgénicas no serían diferentes de aquellas

usadas en el cruzamiento convencional. Otros argumentaron que un rasgo que aumentara substancialmente la capacidad de convertirse en maleza afectaría, al menos teóricamente, la diversidad de la *Solanum*. El sentimiento general fue que la información disponible y los esfuerzos de la investigación actual en este campo, específicamente con relación a la situación latinoamericana, son inadecuados.

Tomando en cuenta las características de resistencia a insectos, bacterias, virus y hongos; la mayoría de los participantes estuvieron de acuerdo en que los beneficios superarían, en la mayor parte de los casos, a los peligros para el ambiente. Se argumentó que estas características ya estaban presentes en las poblaciones silvestres de muchas regiones latinoamericanas, y que no son distintas de aquellas seleccionadas por los propagadores de papas durante muchos años. Por lo tanto, los riesgos a priori no son diferentes de aquellos presentes luego de la introducción de los cultivares tradicionalmente usados. Se hizo mención de la dificultad de comparar el flujo génico de los cultivos transgénicos resistentes, por ejemplo a hongos, con respecto a las variedades tradicionalmente mejoradas o de ocurrencia natural. La razón para esto es que, en los últimos casos mencionados, un fenotipo específico se debe a rasgos multigénicos, a diferencia de las plantas transgénicas, donde a menudo el mismo fenotipo tendería a originarse en un solo gen dominante. Se propuso que las características conferidas por rasgos multigénicos son transmitidas menos eficientemente en comparación con aquellas originados por un solo gen dominante.

Resumiendo las opiniones rasgo por rasgo (ver Tabla 1):

Resistencia a virus

La resistencia a virus fue considerada como mejoradora de las condiciones sanitarias para los agricultores y productores de semillas. Los agricultores a pequeña escala serían los más beneficiados puesto que, en muchos casos, no disponen de acceso fácil a semilla certificada. Los genes que codifican para la resistencia a virus ya están presentes en especies silvestres, y existe una larga experiencia en cuanto a papas resistentes a virus obtenidas por cruzamiento tradicional. Hubo una discusión limitada sobre la posibilidad de creación de nuevos virus por recombinación y transcapsidación en plantas transgénicas resistentes a virus. Se reconoció que se ha hecho algo de investigación para considerar esta probabilidad. La mayoría de los participantes consideró que este no sería un problema grave, ya que la recombinación viral a través de este mecanismo es frecuente en la naturaleza. No se consideró necesario tomar precauciones adicionales con respecto a genes neutros.

Resistencia a bacterias

Las plantas transgénicas que codifican para resistencia a bacterias también fueron vistas como beneficiosas por las mismas razones que en el caso de la resistencia a virus (ver párrafo anterior). Con respecto a la cuestión ambiental, se puntualizó que ya existen genes que codifican para resistencia a bacterias en las poblaciones silvestres. Además, se mencionó que, independientemente de las infecciones bacterianas, las plantas aún son capaces de florecer y dispersar semi-

llas. La infección afecta a la calidad del tubérculo pero no a la reproducción. Por lo tanto, la resistencia a bacterias no fue considerada como una característica que afectara drásticamente la capacidad para convertirse en maleza de las plantas de papa.

Resistencia a insectos

La resistencia a insectos también es un rasgo relevante en la mayoría de los países latinoamericanos. La razón de los beneficios a los impactos ambientales potenciales fue alta, debido a los efectos negativos de los insecticidas sobre el ambiente y la salud humana. Económicamente, los agricultores a gran escala, que actualmente gastan enormes sumas de dinero en insecticidas, probablemente se beneficiarían más que los agricultores a pequeña escala. Algunos argumentaron que las plagas de insectos no constituyen la mayor tensión biótica en poblaciones de *Solanum*, y que, por consiguiente, la presencia de genes de resistencia no incrementaría dramáticamente la adaptabilidad de su anfitrión. En cuanto concierne a los efectos ecológicos disruptivos (por ejemplo, impacto sobre especies «no objetivo»), se mencionó que la mayoría de los insectos tienen huéspedes alternativos, que disminuyen el potencial de desarrollo de la resistencia a insectos, en los productos génicos (por ejemplo, la toxina *Bt*). Algunos sostuvieron que había poca información disponible sobre el impacto de la introgresión de transgenes que confieren resistencia a insectos en centros de diversidad de la *Solanum*. Se sugirió que este rasgo sería materia apropiada para un estudio sobre el efecto del flujo génico en las ventajas selectivas y efectos ecológicos disruptivos. En tal sentido se sugirió un estudio de los posibles efectos ecológicos disruptivos en

diferentes ecosistemas (regiones andina, tropical y subtropical) después de ser rociadas con *Bacillus thuringiensis*.

Resistencia a hongos

De la resistencia a los hongos, la más discutida fue la resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Los participantes estuvieron de acuerdo en que plantas de papa transgénicas resistentes a este hongo eran altamente beneficiosas para Latinoamérica, tanto en términos de mayor productividad como de menor necesidad de fungicidas, beneficiándose tanto los pequeños como los grandes productores. Considerando la cuestión ambiental, se mencionó que ya existen especies silvestres de *Solanum* resistentes al hongo, por lo que la transferencia de genes no afectaría dramáticamente a las poblaciones silvestres. De cualquier manera, algunos participantes argumentaron que la resistencia a este hongo podría conducir a un aumento en la capacidad de volverse maleza en especies no propensas a esto anteriormente, cambiando los patrones de crecimiento, y por ende, la diversidad de la *Solanum*. Por otro lado, se argumentó que las poblaciones silvestres de *Solanum* no están bajo presión selectiva por *P. infestans*, cuando se comparan con las variedades cultivadas, lo cual se debe a condiciones de crecimiento desfavorables para el hongo (temperatura o humedad inapropiadas, etc.) o a resistencia natural en especies silvestres de *Solanum*. En consecuencia, se concluye que la transferencia de genes que confieren resistencia a este hongo no tendría mayor impacto en el patrón de crecimiento de las poblaciones silvestres de *Solanum*. Un área ideal para la investigación de estos aspectos podría ser el Valle del Toluca, México, ya que posee una alta

diversidad de la *Solanum* y presión de *P. infestans*. En la población hay especies de *S. demissum* naturalmente resistentes al hongo, y se mencionó que sería conveniente realizar un estudio sobre el impacto de su ventaja competitiva sobre la diversidad.

Resistencia a tensiones

El ejemplo más discutido sobre resistencia a tensiones fue el de la resistencia a heladas. Se estuvo de acuerdo en que plantas resistentes a heladas serían beneficiosas en las regiones andinas y en el sur de Argentina, por cuanto incrementan la productividad y la calidad del tubérculo. La resistencia a heladas que ocurre naturalmente está codificada por rasgos multigénicos. Se argumentó que éste es un ejemplo donde la transferencia de la tolerancia natural es más difícil que la transferencia de un solo gen dominante, el cual codifica para que una sola proteína confiera resistencia a las heladas. Cuando se discutió sobre la preocupación ambiental, se argumentó que la resistencia a heladas, si se extendía a parientes silvestres, podría aumentar la adaptación y, por tanto, la capacidad para convertirse en maleza. De cualquier manera, las variedades transgénicas tolerantes a heladas serían usadas principalmente en alturas donde la flora ya es tolerante a heladas y, por lo tanto, la característica no conferiría ninguna ventaja selectiva vía introgresión a los parientes silvestres. Por otro lado, se argumentó que, si estos genes se establecieran en poblaciones de malezas que crecen a altitudes menores, podrían expandirse a altitudes mayores, posiblemente afectando la diversidad de *Solanum*. Los participantes destacaron que las variedades cultivadas tradicionalmente resistentes a heladas se usan en la Región, sin efectos

detectables en el ambiente. Sin embargo se recomendó realizar más estudios sobre adaptabilidad mejorada derivada de la transferencia de gen(es) de tolerancia. El trabajo experimental debería incluir la transferencia de genes que codifican para la resistencia a heladas, tanto en las variedades que son naturalmente resistentes como en aquellas que no lo son.

Modificaciones a la calidad

Se consideró que los rasgos que modifican la calidad del almidón y el contenido de proteína, así como la materia orgánica, no tenían efectos apreciables de impacto ambiental. Ninguna de estas características fueron consideradas de mayor importancia en el desarrollo de papas transgénicas, en el presente, en Latinoamérica.

Comentarios finales

Para algunos de los rasgos discutidos anteriormente, surgen preocupaciones ambientales que no pudieron manejarse con el nivel de conocimientos actual. Ningún participante en la reunión conocía de estudios ambientales sobre la liberación de un transgen (vía flujo génico a sus parientes silvestres) que demostrara un aumento en las plantas, de la capacidad de adaptación o propensión a convertirse en maleza. Por lo tanto, se recomendó que se realizaran estudios sobre rasgos transgénicos que confieren mayor adaptabilidad, a los efectos de predecir situaciones futuras y cuantificar mejor los posibles riesgos. Los participantes argumentaron que el mundo en su totalidad se beneficia de la utilización de germoplasma de los centros de origen, y que por consiguiente existe preocupación internacional sobre la conservación de esta biodiversidad. De allí que los estudios sobre el impacto ambiental del uso de los

En Busca de un Equilibrio: Resumen de las Discusiones de Grupo

transgenes, en estos ambientes, debiera ser una responsabilidad internacional. Esto es particularmente importante en un momento en que los gobiernos latinoamericanos son cada vez menos capaces de financiar este tipo de estudios, y el amplio uso de las plantas transgénicas es difícil de controlar. De cualquier manera, los riesgos perceptibles no deberían ser un impedimento para la investigación sobre papas transgénicas o para ensayos de campo, pequeños y restringidos, donde se pudieran implementar esfuerzos efectivos de manejo de riesgos.

En síntesis, muchos países tomarán decisiones, de acuerdo a sus necesidades, sobre si introducirán o no plantas transgénicas. El punto de vista de muchos participantes en el Taller fue que este es un asunto de balancear la cuestión ambiental con los beneficios potenciales. Los beneficios pesarán más que los riesgos percibidos en muchos casos, pero ambos aspectos requieren de evaluación consciente y sistemática. Para ello se requerirá más información sobre los impactos ambientales de los rasgos transgénicos en regiones especiales de América Latina. Las estimaciones científicamente fundamentadas que

resulten de dichos estudios de impacto podrían facilitar la dispersión segura de las papas transgénicas en la Región.

Discusión:

P: ¿Se les está imponiendo a los gobiernos de los países latinoamericanos la preservación de la biodiversidad?

R: La aprobación para el uso comercial de cultivos genéticamente modificados podría estar restringida por gobiernos latinoamericanos preocupados por preservar la biodiversidad local y regional. Esta posición podría dar una ventaja comercial a los propietarios, de fuera de América Latina, de plantas genéticamente modificadas, si es que las alternativas desarrolladas en Latinoamérica no reciben aprobación.

P: ¿Quién financiará los estudios científicos?

R: Ya de hecho hay menos dinero disponible en Latinoamérica para la investigación pública. Los gobiernos recortan su financiamiento a la investigación, y un mayor aporte de fondos proviene de la empresa privada. Si esto continúa casi toda la investigación se encaminará hacia el desarrollo directo de nuevos productos, y muy poca estará dirigida hacia los impactos ambientales y sociales. Dado que los centros de diversidad agrícola son de importancia global, también debería haber financiamiento por parte de países no latinoamericanos para la investigación del impacto ambiental de los cultivos transgénicos, incluyendo la papa en centros de origen.

PIES DE PAGINA PARA LA TABLA 1

1. El beneficio relativo está basado en estimados de bajo, medio o alto. Las distinciones entre usuarios de pequeños agricultores (PA) y grandes agricultores (GA) fueron realizadas donde fue posible: = indica igual beneficio; >> indica beneficio mayor que el anterior.
2. La naturaleza de las preocupaciones ha sido descrita en este capítulo y en los anteriores. Las determinaciones aquí nombradas se basaron en consideraciones para la etapa de comercialización (gran escala) del cultivo transgénico. Para pruebas de campo, se creyó suficiente el uso de medidas de confinamiento.
3. Estas características probablemente confieren poca adaptabilidad adicional al huésped; genes de resistencia aparecen ya presentes en poblaciones silvestres de *Solanum*; las especies silvestres son capaces de florecer con infecciones bacterianas.
4. El desarrollo de la resistencia en los insectos a las proteínas de pesticidas puede controlarse a través de prácticas de manejo agrícola, o naturalmente a través de la disponibilidad de plantas huéspedes alternativas.
5. Posible desplazamiento de parientes silvestres debido a adaptabilidad incrementada de especies específicas de *Solanum*.
6. El uso de variedades transgénicas de machos estériles fue una medida de precaución recomendada en forma general a ser tomada en cuenta en todas las líneas vegetales comerciales.
7. Se propuso un estudio de posibles efectos ecológicos disruptivos en diferentes ecosistemas (andino, tropical) subsiguientes a un rociado con Bacilo thuringiensis.

Tabla 1 Resumen de las discusiones de grupo sobre las preocupaciones ambientales y beneficios potenciales de las papas transgénicas. Los siguientes supuestos se hicieron antes de las deliberaciones. Las papas transgénicas se comercializarán en América Latina y habrá flujo genico hacia las especies interfértiles

Rasgos	Prioridad del País	Beneficios Relativos/ para quiénes	Nivel de preocupación ²	Acciones de Control Recomendadas ²
Resistencia a virus y bacterias	Todos los países Virus (VXP, VYP, VEHP); Reblandecimiento de la raíz por bacteria y marchitamiento bacteriano (<i>Erwinia</i>)	Beneficios altos a medios. Disminución en el costo de producción de semilla y mejora en las condiciones sanitarias de producción de semillas Beneficio: PA>>GA	Bajo a medio ³	Deberán usarse líneas macho-estériles en centros de diversidad de la <i>Solanum</i> para limitar el cruce con los parientes silvestres ⁶
Resistencia a plagas insectívoras	Todos los países Lepidópteros y Dipteros (ej. polilla del tubérculo de la papa)	Altos beneficios para el ambiente y para la salud humana, menor uso de insecticidas Beneficio: PA=GA	Bajo a medio ⁴	Para evaluar mejor, y donde sea posible cuantificar los riesgos ambientales, es necesario realizar investigación adicional a los efectos de determinar los impactos de rasgos con potencial de adaptación mejorado. Deberán usarse líneas macho-estériles en centros de diversidad de la <i>Solanum</i> ⁷
Resistencia a hongos	Todos los países. Problema más grave es el tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)	Altos beneficios (menor uso de fungicidas) Beneficio: PA = GA	Alto en áreas con poblaciones silvestres de <i>Solanum</i>	Ver anterior
Tolerancia a las tensiones (heladas y sal)	Heladas: Argentina y países andinos Sal: Cuba y Perú	Alto beneficio Beneficio: Especialmente a agricultores que trabajan en tierras marginales Beneficios medios a bajos Beneficio: GA>>PA	Alto en áreas con poblaciones silvestres de <i>Solanum</i>	Ver anterior
Alteración del alimento / calidad proteínica	Argentina, Chile, Perú y Venezuela		Bajo	No se recomendó ninguna acción específica

Capítulo 7

Pruebas de Campo de Papas Transgénicas en los Estados Unidos

Quentin Kubicek, USDA - Animal and Plant Health Inspection Service, USA

Introducción

Las papas cultivadas son originarias de la Región Andina sudamericana. Aquí encontramos un amplio rango de papas silvestres, papas cultivadas e híbridos con diversos niveles de ploidía. El género *Solanum* consta aproximadamente de 2000 especies. Dentro de este género, la sección *Petota*, también conocida como sección *Tuberosum* incluye los miembros tuberosos, de los cuales la papa cultivada es la más conocida. Las especies silvestres de la sección *Petota*, que llegan a 180 aproximadamente, predominan en los Andes peruanos y bolivianos. Ellas han sido objeto de repetidas expediciones de recolección de germoplasma, y representan aún hoy en día una rica fuente de diversidad en los programas de cruzamiento y propagación.

Sur América no es el centro mundial de cultivo de la papa. La mayoría de las papas son cultivos anuales, en climas templados, equivalentes a las montañas de las zonas tropicales. Los principales productores mundiales, en orden de producción son: la antigua URSS, Polonia, Estados Unidos, Alemania y Francia. En los Estados Unidos la producción de la papa está concentrada al norte del país. En ciertos medios agrícolas, las condiciones

invernales suaves podrían permitir el surgimiento espontáneo de plántulas procedentes de tubérculos no cosechados durante la estación de cultivo previo. Por lo tanto es posible un crecimiento perenne, como es el caso generalizado en Suramérica.

La genética de la papa hace difícil el desarrollo y cruce de un menú de líneas parentales. La papa tiene una serie de niveles de ploidía, basado en un número haploide de 12, que van desde diploide ($2N=24$) hasta hexaploide ($2N=72$), incluyendo triploides, tetraploides y pentaploides. Las papas cultivadas (*Solanum tuberosum*) en los Estados Unidos son tetraploides ($4N=48$). El hecho de que son propagables vegetativamente, y su precio relativamente bajo en el mercado, no incentiva la producción de nuevas líneas. En todo caso, la necesidad de desarrollar nuevos rasgos en la papa continúa siendo válida. Estos rasgos incluyen resistencia a plagas herbívoras, a insectos que afectan durante el almacenamiento, a patógenos y mejoramiento en la calidad y valor nutricional. Los propagadores de plantas están frustrados porque no aparecen nuevas fuentes de resistencia para cubrir ciertas necesidades, como es el caso del escarabajo de la

papa de Colorado (EPC), *Leptinotarsa decemlineata*.

En los Estados Unidos las papas son rociadas estacionalmente con numerosos pesticidas, siendo después del algodón, el segundo cultivo más rociado. El EPC es la plaga más dañina de los cultivos norteamericanos. En algunas partes de los Estados Unidos, las infestaciones del EPC resultan en una pérdida total de la producción. Actualmente los agricultores dependen primariamente de los pesticidas químicos para controlar el insecto. El resultado neto es que algunos agricultores deben escoger un cultivo alternativo, que obviamente no sea huésped para el EPC. La biotecnología, boleta mágica para al-

gunos, ofrece otras alternativas a estas necesidades. Las técnicas de la biotecnología han permitido la incorporación de nuevas fuentes de resistencia, que de otra manera serían inalcanzables, creando las plantas de papas transgénicas.

Pruebas de campo de papas transgénicas

En los Estados Unidos, ciertas plantas genéticamente manipuladas son reguladas por el Animal & Plant Health Inspection Service (APHIS). APHIS se ha encargado de la supervisión regulatoria de las plantas transgénicas desde 1988. Ha otorgado más de 1200 permisos para pruebas de campo de plantas transgénicas. Un permiso puede incluir varias pruebas de campo, en varias regiones y en más de una estación. El mayor número de ensayos de campo para cultivos transgénicos se ha realizado en los Estados Unidos .

El USDA aprecia a las plantas transgénicas similarmente a como lo hace con aquellos cultivos obtenidos por métodos tradicionales. El marco para evaluar las plantas transgénicas ha sido por tanto desarrollado usando criterios para la semilla de propagación o registrada.

Inicialmente, APHIS mantuvo una visión conservadora sobre la conducción de estas pruebas. APHIS usó información, metodologías y otros parámetros de campo, para producir semillas híbridas certificadas, como el marco de trabajo para evaluar las pruebas de campo de plantas transgénicas. En retrospectiva este fue el punto de vista correcto. Se supuso a priori que los productos de la biotecnolo-

Discusión:

P: ¿Cómo se benefician los gobiernos nacionales con poca experiencia en regular plantas genéticamente manipuladas, especialmente en áreas de evaluación y manejo de riesgo, de la experiencia de otros gobiernos?

R: El USDA ha provisto material y proporcionando apoyo financiero indirecto a varios países (incluyendo muchos en Latinoamérica) sobre el particular, pero en esta época de reducción obligatoria de presupuestos, tal asistencia disminuirá. De todas maneras no es necesario establecer nuevos mecanismos regulatorios para los productos de la biotecnología. Estos deberían ser considerados similares a los obtenidos por métodos tradicionales de propagación. La aceptación de tales premisas facilita la supervisión dentro de las regulaciones existentes para la sanidad vegetal. La cooperación regional, como la realizada entre Canadá, Estados Unidos y México, dentro de la North American Plant Protection Organization debería ayudar a aliviar la escasez de recursos humanos, financieros y materiales. La asistencia con experticia de organizaciones no gubernamentales, tales como la Biotechnology Advisory Commission (Suecia) también es una posible alternativa.

Pruebas de Campo de Papas Transgénicas en los Estados Unidos

gía no eran lo suficientemente diferentes de aquellos producidos por métodos tradicionales, para ameritar consideraciones especiales.

La mayoría de las papas no se obtienen de semillas botánicas verdaderas lo cual permite un mayor grado de discreción en el manejo de ensayos de campo de papas transgénicas. Presumiblemente, a una prueba de campo de papas transgénicas se le permitirá la floración abiertamente. El polen que salga de o entre al campo de prueba, que sea capaz de fertilizar flores receptoras de plantas transgénicas no tendrá consecuencias, porque las semillas no serán usadas para siembras futuras. En

los Estados Unidos las papas son propagadas usando partes de tubérculos que contengan por lo menos un ojo (yemas laterales). Las papas comerciales son todas reproducidas vegetativamente como clones. Las fuentes de estos pedazos de papas son plantas que crecen bajo estrictas condiciones agronómicas, ya que son susceptibles a patógenos transmitidos por la vía de los tubérculos.

Las plantas de papas son notorias por su esterilidad tanto masculina como femenina, lo que causa dificultades para su propagación. La mayor parte de los cultivares comerciales en Norteamérica son macho-estériles. La ejecución de buenas prácticas agronómicas puede asegurar material de crecimiento ciento por ciento puro. En los Estados Unidos, las papas crecen como monocultivos de un solo clon. El abastecimiento de semillas es estrictamente supervisado por razones de pureza y cuarentena.

En general, las prácticas agronómicas de cultivo aceptadas son usadas para conducir pruebas de campo de plantas transgénicas en los Estados Unidos. Se rodea el campo de prueba con una zona amortiguadora lo suficientemente segura para minimizar la polinización cruzada con posibles plantas compatibles cercanas al área de prueba. La mejor medida de la distancia de separación efectiva es la recomendada por los propagadores de plantas para obtener semillas de alta pureza. Una alternativa aceptable podría ser comenzar una prueba de campo, más temprano o más tarde de lo que dictan las condiciones naturales, para evitar que coincidan los períodos de floración de las plantas experimentales con los de las plantas nativas compatibles. Por razones

Discusión:

P: ¿Cuán elaborado debe ser un diseño experimental para estudiar adecuadamente los efectos ambientales subsiguientes a la comercialización de una planta transgénica?

R: Aparte de la dificultad de responder a esta pregunta, existen dificultades sustanciales en obtener fondos de investigación, para crear mejores estrategias de seguimiento. Por lo tanto, podría resultar más efectivo desde el punto de vista de los costos, hacer seguimiento a los efectos ambientales de los cultivos ya comercializados, o donde ya han sido llevadas a cabo extensas pruebas de campo. El descubrimiento de un efecto ambiental desfavorable orientaría el monitoreo de otras liberaciones, lo cual en un momento dado, podría facilitar la acción temprana. El compartir experiencia de pruebas de campo en Latinoamérica y otros países es importante, lo cual también es válido para las regulaciones de bioseguridad. Los comités de bioseguridad de diferentes países deberían coordinar recursos y establecer programas cooperativos para monitorear el material transgénico liberado a gran escala.

Se han realizado pruebas a gran escala en China, donde científicos europeos actualmente colaboran con las autoridades chinas para llevar a cabo más encuestas y seguimientos posteriores a las siembras.

obvias, las plantas que presentan polinización cruzada requieren mayores distancias de separación que aquellas autopolinizadas o de propagación vegetativa.

La determinación de un estado no regulado

La visión regulatoria del USDA sobre las plantas transgénicas permite una «desregulación». Esto no quiere decir que el proceso permita la venta comercial inmediata de las variedades recién desarrolladas, pudiéndose requerir todavía aprobación de la EPA y de la FDA. Los principales criterios para la exención de la regulación, son que las plantas:

- No exhiban propiedades patogénicas vegetales.
- No sean más propensas a convertirse en maleza que cultivares no transgénicos obtenidos por técnicas de cruzamiento tradicionales.
- Presenten una baja probabilidad de aumentar el potencial de convertirse en maleza de otras plantas cultivadas o especies silvestres nativas con las cuales pueda cruzarse.
- No causen daño a materia agrícola prima o procesada.
- No sean propensas a dañar otros organismos beneficiosos para la agricultura, o favorezcan, volviendo más difícil su erradicación, plagas de insectos; y
- No requieran métodos para aplicar insecticida mayores que los comúnmente empleados para controlar plagas objetivo (por ej. EPC) en papas.

Parece muy poco probable que un híbrido se convierta en maleza. Actualmente los transgenes simples están bajo evaluación,

y un gen único no conferiría características de maleza a una planta que no las tenga, ni exacerbaría tales características, si existen de antemano.

Introducción de papas resistentes a insectos en los Estados Unidos

En 1995 APHIS determinó que las papas transgénicas resistentes al EPC no generan un riesgo a las plagas. Por lo tanto estas líneas de papas transgénicas (producidas por Monsanto) no estarán sometidas ya más a la regulación derivada de la Federal Plant Pest Act. A continuación se incluyen algunas notas sobre beneficios potenciales y preocupaciones ambientales.

Beneficios potenciales

La Environmental Protection Agency (EPA) determinó que las plantas transgénicas que producen la endotoxina delta del *Bacillus thuringiensis* subsp. *Tenebrionis* para controlar el EPC ofrece los siguientes beneficios.

Primero, los pesticidas vegetales del *B. thuringiensis* reducen el uso de pesticidas químicos convencionales en la producción de papas. No se necesitan insecticidas químicos foliares para el control del EPC porque los pesticidas vegetales de *B. thuringiensis* proporcionan un control que dura toda la estación. Esto conduce a evitar el azar asociado con los pesticidas químicos convencionales, incluyendo la liberación o exposición accidentales durante el embarque, almacenamiento, proceso de mezclado y carga, aplicación, y desecho de los contenedores. Esto conducirá también a reducir la concentración de los pesticidas químicos en las aguas subterráneas de las regiones donde se cultiva papa, con suelos propensos a la

escorrentía. Segundo, los pesticidas vegetales de *B. thuringiensis* producidos por papas, son más eficaces para el control del EPC que los pesticidas actualmente registrados y las alternativas no químicas. Esto puede ampliar los programas de manejo integrado de plagas (MIP) mediante el aumento del control biológico. Tercero, las endotoxinas no son tóxicas para los organismos no objetivo. Finalmente, se da una reducción potencial por igual de los costos de insumos para las unidades de producción grandes y pequeñas.

En síntesis, la EPA encontró que la producción de papas que contienen endotoxina *Bt* cuentan con el potencial de ofrecer un cultivo comercial de papas con menos libras de aplicación de pesticidas químicos, lo cual reduce los costos de inversión del agricultor y el riesgo para los humanos y el ambiente.

La Food and Drug Administration (FDA) será la responsable por determinar la alergenicidad y toxicidad de los alimentos. Aun cuando no sea responsabilidad del USDA, una compañía podría utilizar información obtenida durante su fase de ensayo de campo para examinar la problemática de bioseguridad contemplada por la EPA y la FDA.

Desarrollo y manejo de la resistencia

Una de las preocupaciones más frecuentemente relacionada con la aplicación a gran escala de papas resistentes al EPC, es el desarrollo de resistencia al *Bt* en el insecto. Las poblaciones de insectos herbívoros resistentes pueden aparecer debido a la presión ejercida por estas plantas transgénicas. Este hecho no se discute. Lo que se debate es cómo y cuándo. Ambas

preguntas podrían ser irrelevantes si el gobierno, la industria y los agricultores tomaran ciertas precauciones: uso juicioso de insecticidas, manejo integrado de plagas (MIP), refugios, rotación de cultivos, llameado, parcelas-trampa y expresión de los transgenes inducible, o específica de ciertos tejidos, en forma temporal. Hasta la fecha, estas prácticas no se utilizan de manera consistente, y rara vez son suficientes para reemplazar todo uso de insecticidas contra el EPC. El USDA reconoce la capacidad potencial para desarrollar resistencia que tienen las plagas insectívoras. En muchas áreas de los Estados Unidos no se cuenta actualmente con insecticidas registrados que controlen al EPC adulto efectivamente. El uso de pesticidas para controlar el EPC ha conllevado al desarrollo de resistencia en otras plagas tales como los áfidos.

Las compañías como Monsanto han desarrollado planes para el manejo de resistencia al EPC basados en información actualizada. En todo caso debe dedicarse esfuerzo y voluntad en afirmar estos planes a medida que se genere nueva información. Específicamente esto debería incluir lo siguiente:

- Refinamiento continuo de la información sobre las estrategias reproductivas del EPC con respecto al flujo génico, tratando particularmente el movimiento del adulto, de la larva y respuestas de comportamiento, incluidos estudios de apareamiento.
- Refinamiento continuo de las estrategias óptimas de refugios.
- Desarrollo continuo de planes específicos de seguimiento incluyendo lugares de muestreo, tablas indicadoras de tiempo para el desa-

rrollo, educación de los agricultores en muestreo para resistencia, recolección de especímenes para la evaluación de la resistencia y la provisión de recomendaciones específicas sobre cómo erradicar individuos resistentes para prevenir la supervivencia de una población resistente.

- **Desarrollo continuo de una base de datos donde ubicar la información de seguimiento, en el uso de las papas genéticamente modificadas y facilitar la correlación entre los reportes de resistencia y los sitios de utilización.**
- **Desarrollo de un ensayo sobre discriminación de dosis.**
- **Desarrollo continuo de material educativo en adición a boletines técnicos, que describan a los agricultores como cultivar papas genéticamente modificadas, monitorear resistencia y, si es necesario usar otros insecticidas.**
- **Refinamiento continuo de recomendaciones MIP, tales como rotación de cultivos a nivel local; y**
- **Desarrollo continuo de nuevos mecanismos de control del EPC, con diferentes modalidades de acción.**

Capítulo 8

Recomendaciones de los Participantes*

En la actualidad la mayoría de países latinoamericanos cuentan con programas de investigación para desarrollar papas genéticamente modificadas que incorporen una variedad de características (por ejemplo resistencia a plagas y tolerancia a heladas). Los países se encuentran en diferentes etapas del proceso de establecer mecanismos regulatorios. El que las papas transgénicas sean o no introducidas como una variedad local, dependerá en muchos países de cuestiones de necesidad. Los participantes sintieron que las preocupaciones ambientales que surgen de un rasgo transgénico particular deben ser balanceadas con los beneficios potenciales de las variedades mejoradas. En muchos casos los beneficios serán mayores que los riesgos percibidos. El grupo reconoció que el flujo génico de las papas transgénicas hacia sus parientes silvestres es un asunto mucho más relevante en Latinoamérica que en cualquier otra parte. Sin embargo ha habido demasiado pocos estudios sobre cual ha sido el impacto ambiental de los rasgos transgénicos cuando se han escapado hacia poblaciones silvestres.

Se mencionó la preocupación de que los rasgos que confieren mayor adaptabilidad

a sus huéspedes puedan escaparse a las poblaciones *Solanum* silvestres afectando sus patrones de cultivo. De allí que se recomendó investigar sobre los efectos ambientales del flujo génico específico a centros de diversidad, a los efectos de cuantificar mejor el impacto ambiental. Los resultados de estas investigaciones pueden facilitar el desarrollo seguro de plantas transgénicas en los programas de propagación regionales y nacionales. En América Latina, sin embargo, ha habido un número limitado de estudios, en parte debido a la falta de financiamiento público. Muchos sintieron que la comunidad internacional debería ayudar a financiar el seguimiento y la investigación ya que los centros de diversidad son de importancia global. Para este fin se pidió el establecimiento de programas de investigación y seguimiento colaborativos, así como de mecanismos para compartir información. A los efectos de orientar las discusiones y las actividades regionales futuras, los participantes acordaron las recomendaciones siguientes:

1. Se invita a la comunidad internacional a financiar actividades de investigación que proporcionen estimados científicamente sustentados

*Las recomendaciones son el resultado combinado de las discusiones y comentarios de los participantes en el Taller y no reflejan necesariamente el punto de vista de la Biotechnology Advisory Commission ni del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

- sobre el impacto ambiental de los cultivos transgénicos en centros de origen.
2. Para cuantificar los impactos ambientales debería realizarse investigación adicional en América Latina sobre aquellos rasgos considerados de valor adaptativo, neutro, bajo o alto, y realizarla en una variedad de ambientes.
 3. Se invita e insta a los investigadores y propagadores a tomar en cuenta la biodiversidad, y los impactos potenciales del flujo génico de rasgos indeseables.
 4. Se insta a los investigadores y propagadores sobre la necesidad de considerar el uso de variedades macho-estériles de papa en la etapa de comercialización.
 5. Deberán hacerse esfuerzos para identificar las regiones de producción donde existan especies de *Solanum* silvestres relacionadas. Los datos ya disponibles de especies existentes deberán ser compilados y fácilmente accesibles.
 6. Deberán dirigirse más esfuerzos hacia el establecimiento de encuestas de seguimiento luego de la liberación de organismos genéticamente modificados, para evaluar los impactos ambientales.
 7. Se deben establecer oportunidades para el trabajo en redes que faciliten el intercambio de información, y fortalezcan los programas conjuntos de investigación colaborativa.
 8. Se reconoce la necesidad de uniformizar regulaciones entre países, y se apoyan las recomendaciones de reuniones previas en favor de lo mismo.
 9. Todos los países, que anticipan evaluar la liberación de cultivos genéticamente modificados, especialmente donde la capacidad técnica existente es baja, deberán disponer de capacitación para ello, así como contar con mecanismos para evaluar continuamente esa capacitación.
 10. En los procesos de evaluación existe la necesidad de cooperación multidisciplinaria entre científicos tales como ecólogos, genetistas poblacionales y biólogos moleculares.
 11. Los científicos involucrados en investigación sobre cultivos transgénicos deberán conocer la problemática de bioseguridad, y adherirse a prácticas correctas de desarrollo.

Apéndice
LISTA DE PARTICIPANTES

ALVAREZ, ARIEL
TEL: 52-462-45909
FAX: 52-462-45846
email: aalvarez@irapuato.ira.cinvestav.mx

CINVESTAV - Irapuato
Apartado Postal 629
Irapuato, Gto. 36500
MEXICO

ARTUNDUAGA, RODRIGO
TEL: 57-1-288-4037
FAX: 57-1-232-4693

INSTITUTO COLOMBIANO
AGROPECUARIO
Calle 37 N° 843 Piso 5
Bogotá, COLOMBIA

BRAVO, FERNANDO
TEL: 54-1-784-5516
FAX: 54-1-786-8578
email: fernando@ingebi.uba.ar

INGEBI - CONICET
Vuelta de Obligado
2490 Piso 2
(1428) Buenos Aires
ARGENTINA

BROWN, CHARLES
TEL: 1-509-786-3454
1-509-786-9252
FAX: 1-509-786-9277
email: cbrown@beta.tricity.wsu.edu

USDA / ARS
Rt. 2, Box 2953 A
Prosser, Washington 99350-9687
USA

CABRAL, SILVIA
TEL: 54-1-784-5516
FAX: 54-1-786-8578
email: sil@ingebi.uba.ar

INGEBI - CONICET
Vuelta de Obligado
2490 Piso 2
(1428) Buenos Aires
ARGENTINA

CABRERA, CARMEN
TEL: 56-2-698-2244 - Anexo 273
FAX: 56-2-696-6480

SERVICIO AGRICOLA
Y GANADERO (SAG)
DEPARTAMENTO DE PROTECCION
AGRICOLA
PROYECTO DEFENSA AGRICOLA
Avenida Bulnes 140 Piso 3
Santiago, CHILE

CAMADRO, ELSA
TEL: 54-266-22040/41/42
FAX: 54-266-21756

E.E.A. BALCARCE
(INTA) FCA (UNMP)
C.C. 256
7620 Balcarce
Buenos Aires, ARGENTINA

DE GARCIA, EVA
TEL: 58-2-662-9754
FAX: 58-2-752-5897
email: egarcia@dinoconicit.ve

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
LAB. DE BIOTECNOLOGIA VEGETAL
Apartado Postal 80970
Caracas 1080, VENEZUELA

DOUCHES, DAVID
TEL: 1-517-355-6887
FAX: 1-517-353-5174
email: 22806dsd@msu.edu

**DEPARTMENT OF CROP & SOIL
SCIENCES**
MICHIGAN STATE UNIVERSITY
East Lansing, MI 48864
USA

FREDERICK, ROBERT
TEL: 46-8-723-0260
FAX: 46-8-723-0348
email: seibac@nordnet.se

**BIOTECHNOLOGY ADVISORY
COMMISSION,**
STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE
Box 2142, S-103 14 Stockholm, SWEDEN

GHISLAIN, MARC
TEL: 51-14-366-920
FAX: 51-14-351-570
email: mghislain@cgnet.com

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA
Apartado 1558
Lima, PERU

GODOY, PERLA
TEL: 54-1-349-2222/7
FAX: 54-1-349-2224

**SECRETARIA DE AGRICULTURA,
GANADERIA Y PESCA (DPA) (CONABIA)**
Paseo Colón 982 Piso 2 Of.220
C.P. 1063 Buenos Aires, ARGENTINA

GOLMIRZAI, ALI
TEL: 51-14-351-570
FAX: 51-14-366-920
email: a.golmirzaie@cgnet.com

**CENTRO INTERNACIONAL DE
LA PAPA**
P.O.Box 1558 Lima, PERU

Apéndice
Lista de Participantes

GUTIERREZ ROSATI, ANTONIETTA
TEL/FAX: 51-1-475-2313
email: angel@amauta.vcp.net.pe

HANNEMAN, ROBERT
TEL: 1-608-262-1399
FAX: 1-608-262-4743
email: rehannem@facstaff.wisc.edu

HINRICHSEN, PATRICIO
TEL: 56-2-541-7223
FAX: 56-2-541-7667
email: platina@reuna.cl

HOLUIGUE, LORETO
TEL: 56-2-686-2663
56-2-686-2985
FAX: 56-2-222-5515
email: lholuig@axon.bio.puc.cl

HOPP, ESTEBAN
TEL: 54-1-621-1447/1676
54-1-621-1127/1278
email: steffy@bminta.edu.ar

KALAZICH, JULIO
TEL: 56-64-233-515
FAX: 56-64-237-746

KANIEWSKI, WOJCIECH K.
TEL: 1-314-537-7228
KANIEWSKA, MAYA B.
TEL: 1-314-537-6941
FAX: 1-314-537-7015
email: wkkani@ccmail.monsanto.com

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
P.O. Box 456 - La Molina Lima, PERU

USDA / ARS
Department of Horticulture
University of Wisconsin
Madison, WI 53706, USA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
(INIA) CRI - La Platina,
Santa Rosa 11610
P.O.Box 439 / 3
Santiago, CHILE

LABORATORIO DE BIOQUIMICA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
P.UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
P.O.Box 114-D
Santiago, CHILE

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA
CICV-INTA CASTELAR
C.C. 77 (1708) Morón
Buenos Aires, ARGENTINA

CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACION
REMEHUE - INIA
Casilla 24-0.
Osorno, CHILE

MONSANTO COMPANY - GEREGEN
700 Chesterfield Parkway N.
St. Louis, MO 63198
USA

KUBICEK, QUENTIN
TEL: 1-202-720-7677
FAX: 1-202-690-2861
email: qkubicek@aphis.usda.gov

USDA / APHIS
Room 1128-S
Washington, DC 20250
USA

LINDARTE, EDUARDO
TEL: 58-2-572-1810
FAX: 58-2-577-1356

INSTITUTO INTERAMERICANO
DE COOPERACION PARA LA
AGRICULTURA (IICA)
Apartado Postal 5345
Caracas 1010, VENEZUELA

MORICONI, DANIEL N.
TEL: 54-1-343-6834
FAX: 54-1-342-5137

IASCAV
Avenida Paseo Colón 367 - Piso 7
(1063) Buenos Aires,
ARGENTINA

TEL: 54-51-681-763/62
FAX: 54-51-615-966
TEL Part: 54-51-694-064

IASCAV - FCA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA
C. C. 509
(5000) Córdoba, ARGENTINA

MUÑOZ SCHICK, CARLOS
TEL: 56-2-541-7223
FAX: 56-2-541-7667
email: bioinia@ibm.net

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS (INIA)
ESTACION EXPERIMENTAL LA PLATINA
Casilla 439-3
Santiago, CHILE

ORAMAS FRENES, PEDRO
TEL: 53-7-218-008 / 218-164
FAX: 52-7-218-070 / 336-008
TELEX: 512330 / 511072
email: plantas@ingen.cigb.edu.cu

CENTRO DE INGENIERIA
GENETICA Y BIOTECNOLOGIA
P.O.Box 6162
10600 Habana
CUBA

PAGLIANO, DANIEL
TEL: 598-32-77701
FAX: 598-32-77609
email: dpaglian@inialb.org.uy

INSTITUTONACIONAL DE
INVESTIGACION AGROPECUARIA,
INIA - Las Brujas
Ruta 48 Km 10
CC 33085 Las Piedras, URUGUAY

Apéndice
Lista de Participantes

PETERS, JOSE ANTONIO
TEL: 55-532-757-316
FAX: 55-532-759-023
email: peters@brufpel.bitnet

UNIVERSIDAD FEDERAL DE PELOTAS
LABORATORIO DE CULTURA DE
TECIDOS
C.P. 354 (96.010-900) Pelotas RS
BRASIL

SALERNO, GRACIELA
TEL: 54-23-748-257 / 748-784
FAX: 54-23-743-357
email: rqsaler@criba.edu.ar

FIBA - UNIVERSIDAD
NACIONAL DE MAR DEL PLATA
Vieytes 3103
(7600) Mar del Plata Pcia.
Buenos Aires, ARGENTINA

SILVA RAMOS, MIGUEL ANGEL
TEL: 591-2-374-292 Ext 118
FAX: 591-2-357-535

DPTO INVESTIGACION Y EXTENSION
AGRICOLA
SECRETARIA NACIONAL DE
AGRICULTURA Y GANADERIA
Casilla 13348
La Paz, BOLIVIA

SUAREZ, JORGE
TEL: 57-1-232-4697
FAX: 57-1-232-4695

INSTITUTO COLOMBIANO
AGROPECUARIO
Calle 37 # 8-43 Piso 4°
Bogotá, COLOMBIA

VICIEN, CARMEN
TEL: 54-1-349-22227
FAX: 54-1-349-2224

SECRETARIA DE AGRICULTURA,
GANADERIA Y PESCA (CONABIA) (DPA)
Paseo Colón 982 Piso 2 Of. 220
1063 Buenos Aires, ARGENTINA

VILARO, FRANCISCO
TEL: 598-32-77701
FAX: 598-32-77609
email: dpaglian@inialb.org.uy

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION
AGROPECUARIA - INIA Las Brujas
C.C.33085 Las Piedras
URUGUAY

VIRGIN, IVAR
TEL: 46-8-723-0260
FAX: 46-8-723-0348
email: seibac@nordnet.se

BIOTECHNOLOGY ADVISORY
COMMISSION,
STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE
Box 2142, S-103 14 Stockholm, SWEDEN

**Personas que contribuyeron con estas memorias pero no
estuvieron
presentes en el Taller**

BARRETO DE CASTRO, LUIZ
TEL: 55-61-226-5949
FAX: 55-61-226-5327

ÑOPO, LUIS
TEL: 51-14-351-570
FAX: 51-14-366-920

PETT, WALTER
TEL: 1-517-355-5154
FAX: 1-517-353-4354

PADCT
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA & TECNOLOGIA
Esplanada dos Ministérios,
Bloco-E 4th andar
Sala 470, CEP 70067- 900, BRASIL

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA
Apartado Postal 1558
Lima, PERU

DEPARTMENT OF ENTOMOLOGY
MICHIGAN STATE UNIVERSITY
East Lansing, MI 48864, USA

**Impreso en Venezuela por
Miguel Angel García e Hijo, s.r.l.
Sur 15 • N° 107 • El Conde
Teléfono: 576.13.62**

FECHA DE DEVOLUCION

08 NOV. 2000

IICA
F30-3

Autor

Título

Riesgos ambientales de las
plantas transgénicas en
centros de diversidad: la

Fecha
Devolución

como un modelo
Nombre del solicitante

08 NOV. 2000

Ma. Ele



El Taller

Los laboratorios de investigación nacionales e internacionales en América Latina, han empezado ya a probar plantas transgénicas desarrolladas por sus propios científicos. Más de diez grupos de investigación locales vienen desarrollando papas transgénicas, haciendo de ellas el cultivo transgénico más popular en la Región. La evaluación de la bioseguridad de la papa transgénica le plantea un reto especial a los responsables de la regulación en América Latina, puesto que se han realizado muy pocas evaluaciones de impacto ambiental en la Región. Por cuanto América Latina, y en particular la Región Andina, constituye el Centro de Diversidad de la Papa, la situación difiere de aquella en Europa o en los Estados Unidos. Los países de la Región deben responder a interrogantes sobre la probabilidad de dispersión génica de las papas transgénicas hacia sus parientes silvestres, y sobre la inseguridad de posibles impactos sobre la diversidad genética del cultivo. El Taller BAC/IICA estuvo diseñado para aprovechar la última información, y para considerar tanto el desarrollo del cultivo a pequeña como a gran escala. Científicos y reguladores de toda América Latina se reunieron para discutir los temas junto con invitados de apoyo. Estas memorias del Taller reflejan el estado actual del pensamiento sobre el impacto ambiental de las plantas transgénicas, en centros de origen desde la perspectiva latinoamericana.

La Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología (BAC)

es un cuerpo asesor independiente con sede en el Stockholm Environment Institute de Suecia. A pedido de autoridades gubernamentales los expertos internacionales de la Comisión revisan propuestas de biotecnología y proveen asesoría independiente e imparcial sobre temas de bioseguridad. Desde su creación en 1993, la BAC ha participado en variadas actividades internacionales dirigidas al desarrollo de capacidades para implementar la bioseguridad en países en desarrollo.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

constituye una agencia intergubernamental de cooperación técnica auspiciada por 33 Estados Miembros en las Américas. El IICA tiene su Sede en San José, Costa Rica, y dispone de un personal total de casi 500 especialistas nacionales e internacionales, y de oficinas en los países del hemisferio. Fue establecido originalmente en 1942 como un centro de estudios e investigaciones sobre agricultura tropical. Desde esa época ha facilitado y apoyado la cooperación entre sus Estados Miembros en desarrollo agrícola y bienestar rural.

Publicado por

La Comisión Consultiva Internacional sobre Biotecnología del Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura