



Consejo Nacional del Ambiente
CONAM

Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales

Casos: Algodón,
Leguminosas de grano,
Maíz y Papa



United Nations
Environment
Programme



Global
Environment
Facility

CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE
(CONAM)

Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales

**Casos: Algodón, Leguminosas de grano,
Maíz y Papa.**

Diciembre 2005

Lima - Perú



Consejo Nacional del Ambiente
Presidencia del Consejo de Ministros
Proyecto CONAM/UNEP-GEF, NBF
Marco Estructural Nacional de Bioseguridad

**Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales.
Casos: Algodón, Leguminosas de grano, Maíz y Papa.**

2005 Copyright: El CONAM y los autores autorizan la reproducción total o parcial de esta publicación, para fines educativos u otros no comerciales, sin necesidad de permiso escrito previo del CONAM, dando el crédito a la institución y/o a los autores según corresponda, e incluyendo la citación correcta de esta publicación.

ISBN: 9972-824-11-X

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N°: 2005 - 3685

Código CONAM: CONAM 001 - LI

Autores:

Abel Basurto (Ing. Agr., M.Sc.)
Universidad Nacional Agraria La Molina

Félix Camarena (Ing. Agr., Ph.D.)
Universidad Nacional Agraria La Molina

René Gómez (Ing. Agr., M.Sc.)
Centro Internacional de la Papa

Alexander Grobman (Ing. Agr., Ph.D.)
Consultor Internacional

William Roca (Biol., Ph.D.)
Centro Internacional de la Papa

Alberto Salas (Ing. Agr., M.Sc.)
Centro Internacional de la Papa

Ricardo Sevilla (Ing. Agr., M.S.)
Secretaría Técnica de Coordinación, CGIAR

Editores Técnicos:

Oscar A. Hidalgo (Ing. Agr., Ph.D.)

William Roca (Biol., Ph.D.)

Enrique N. Fernández-Northcote (Ing. Agr., Ph.D.)

Comité Editorial CONAM:

M. Castro Sánchez - Moreno

C. Cervantes Gálvez

C. Villacorta Arévalo

A. Millones Soriano

Diseño Carátula :

Alfredo Puccini

Diagramación e Impresión:

TYPOGraphics

Tiraje:

1000 Ejemplares



CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE

Av. Guardia Civil N° 205, San Borja, Lima, Perú

E-Mail: conam@conam.gob.pe

Portal: www.conam.gob.pe

Teléfonos: (51-1) 225-5370 Fax: (51-1) 225-5369

Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales

Contenido General:

	Autor	Página
Presentación	<i>M. Castro Sánchez-Moreno</i>	iii
Cuatro Casos:		
I. Algodón	<i>A. Basurto</i>	1
II. Leguminosas de grano	<i>F. Camarena</i>	19
III. Maíz	<i>R. Sevilla</i>	41
IV. Papa	<i>A. Salas y W. Roca</i>	63
Temas importantes relacionados:		
V. Cultivos transgénicos en centros de origen y diversidad	<i>W. Roca, A. Salas y R. Gómez</i>	93
VI. Comercialización y consumo de organismos genéticamente modificados y sus productos derivados en el Perú	<i>A. Grobman</i>	99

RESPONSABILIDADES DEL CONAM Y DEL PNUMA:

La información contenida en este documento es proporcionada por el Proyecto CONAM / UNEP-GEF para la elaboración del Marco Estructural Nacional de Bioseguridad del Perú. Las opiniones presentadas en este documento, son exclusivamente de los autores de los artículos incluidos. Igualmente el Programa para las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) o United Nations Environment Programme (UNEP) no es responsable por las opiniones aquí vertidas. El CONAM y el PNUMA no garantizan ni avalan la precisión ni el contenido de este documento. Bajo ninguna circunstancia el CONAM y el PNUMA pueden ser hallados responsables por alguna pérdida, daño, juicio o gasto incurrido o sufrido, el cual se pueda reclamar o que haya resultado de la utilización de la información contenida en este documento, incluyendo, pero no limitada a, cualquier falla, error, equivocación, omisión o defecto. Bajo ninguna circunstancia CONAM y PNUMA serán responsables por cualquier daño directo, indirecto, incidental, especial, punitivo o consecuencial resultante de la información en esta publicación.

DISCLAIMER OF CONAM AND UNEP:

Information contained in this document is provided by CONAM/UNEP-GEF Project on "Development of the National Biosafety Framework for Peru" and the views presented in the document are those of the authors of the articles included. CONAM and the United Nations Environment Programme (UNEP) are not responsible for the information provided in this document. CONAM and UNEP do not make any warranty of any kind, either express or implied, including, but not limited to, warranties of the accuracy, reliability, completeness or content of such information in this document. Under no circumstances shall UNEP be liable for any loss, damage, liability or expense incurred or suffered which is claimed to have resulted from the use of or reliance upon the information contained in this document, including, but not limited to, any fault, error, mistake, omission or defect. Under no circumstances CONAM and UNEP shall be liable for any direct, indirect, incidental, special, punitive or consequential damages.

AGRADECIMIENTO:

El CONAM como Agencia Ejecutora del Proyecto CONAM/UNEP-GEF para la elaboración del Marco Estructural Nacional de Bioseguridad del Perú, agradece al GEF (FMAM) por los fondos recibidos para el proyecto y que han posibilitado esta publicación.

Citación correcta de la publicación:

Hidalgo, O.; W. Roca; E.N. Fernández-Northcote (eds.). 2005. Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales. Casos: Algodón, Leguminosas de grano, Maíz y Papa. Consejo Nacional del Ambiente. Lima, Perú. 111 p.

Citación correcta de un caso:

Sevilla, R. 2005. Magnitud e impacto potencial de la liberación de los organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales. Caso: Maíz. p. 41-61. En: O. Hidalgo; W. Roca; E.N. Fernández-Northcote (eds.). Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales: Casos Algodón, Leguminosas de grano, Maíz y Papa. Consejo Nacional del Ambiente. Lima, Perú.

Presentación

El desarrollo de la biotecnología moderna está impulsado por varios factores importantes tales como: a) la necesidad de reducir el uso de plaguicidas en beneficio de la protección del ambiente y la salud humana, b) la necesidad de incrementar la productividad agrícola que contribuya además, a reducir la deforestación y la pérdida de la biodiversidad, c) la necesidad de mejorar la calidad de la alimentación y la salud humana; así como d) el avance de la genómica en las áreas agropecuaria y humana.

La biotecnología moderna ofrece importantes oportunidades al Perú: incrementar la competitividad de las exportaciones; desarrollar su seguridad alimentaria; reducir costos de producción de los alimentos y mejorar su calidad; resolver problemas de salud humana; formar una base industrial nueva y moderna; conservar, valorar y utilizar la biodiversidad; prevención frente al cambio climático; así como preservar y mejorar la calidad de vida y del ambiente.

Como en toda tecnología, la biotecnología moderna tiene también sus riesgos. Su desarrollo y utilización debe darse adoptando medidas de seguridad adecuadas, en particular en lo que respecta a la salud humana, la biodiversidad, el medio ambiente y la ética.

Es una oportunidad para el CONAM contribuir con esta publicación al análisis de la magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos derivados en el Perú, así como a un mejor conocimiento de los factores y procesos involucrados. Los cuatro cultivos analizados en la publicación: algodón, leguminosas de grano, maíz y papa son de gran importancia económica, social y cultural para el país. Para todos ellos, el territorio peruano es centro de diversidad primaria y secundaria, con presencia de especies cultivadas y silvestres. Es por lo tanto importante contribuir al desarrollo del conocimiento biológico, genético y agronómico relacionado con los temas de análisis y de gestión de riesgos en la introducción y cultivo de material transgénico.

Esta publicación es resultado del proyecto que el CONAM ha dirigido y realizado gracias al apoyo del GEF y del PNUMA. El proyecto estuvo orientado a desarrollar el Marco Estructural Nacional de Bioseguridad. En el marco de este proyecto es que el CONAM solicitó a un panel de expertos nacionales conocedores de los cultivos mencionados y autores principales de esta publicación, la presentación de los factores involucrados en la liberación de híbridos, razas o cultivares genéticamente modificados, así como la caracterización de los cultivos en cuanto a su importancia económica, social y cultural. La publicación incluye, además el aporte de los expertos sobre el tema, William Roca y Alexander Grobman.

Buscamos que la información contenida en esta publicación constituya una línea de base para fines de estudio y análisis posterior sobre aspectos regulatorios, de evaluación y manejo de riesgos, así como referencia para futuros trabajos en apoyo para la toma de decisiones en bioseguridad, en lo que al área agrícola se refiere.

Esta publicación contiene información sobre la biología y genética de los cultivos de algodón, leguminosas de grano, maíz y papa, incluyendo distribución geográfica, su caracterización y principalmente la descripción y distribución de la diversidad genética a nivel nacional de las diferentes especies o taxones. Se ha incluido información también sobre los factores de cruzabilidad potencial entre especies y poblaciones existentes en el país.

Es necesario aclarar que en el Perú aún no hay información oficial sobre la introducción o ensayos con materiales transgénicos debido principalmente a que todavía no se tienen establecidas las regulaciones internas de los

Organos Sectoriales Competentes (OSC), en el sector agropecuario. Estos deberán regular y poner en práctica las normas específicas para las pruebas o introducciones de material transgénico en el Perú. La información y experiencia local sobre la introducción y ensayos de material transgénico es aún limitada, por este motivo el documento servirá también para orientar a los OSC en la implementación de las normas que faciliten dichas pruebas o introducciones.

El análisis de posibles introducciones y ensayos de materiales transgénicos en países ricos en biodiversidad como el Perú, es de gran relevancia para el futuro agrícola y agro-exportador del país. Esta y otras contribuciones, servirán para el análisis científico del tema con el propósito de aprovechar de manera racional los beneficios de la tecnología y a su vez para desarrollar estrategias para la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica. El estudio del flujo de genes a especies nativas y poblaciones silvestres es importante y esta publicación ayuda a divulgar conocimientos de base para el caso de los cuatro cultivos.

Finalmente, queremos destacar que con la reciente aprobación de la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 se establece los principios y lineamientos de política ambiental que, entre otros aspectos, contribuyen a darle una mayor relevancia e integración a la gestión ambiental en general y, en particular al manejo de materiales transgénicos en el Perú.

Mariano Castro Sánchez-Moreno
Secretario Ejecutivo
CONAM

Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales

Caso: Algodón

Abel Basurto, Ing. Agr., M.Sc.
Profesor Principal
Universidad Nacional Agraria, La Molina,
Av. La Molina s/n, Lima, Perú.
abasurtol@lamolina.edu.pe

Contenido	Página
Resumen Ejecutivo	2
1. Importancia del algodón en el Perú	3
Evolución de la producción de algodón	3
Orientación de la producción: Mercado	5
Importancia industrial	6
Importancia social y cultural	6
2. Distribución geográfica de la diversidad genética de algodones nativos, mejorados, y de especies silvestres relacionadas	7
Origen y evolución del algodón peruano	7
Distribución geográfica de los algodones en el Perú	7
3. Frecuencia de hibridación y flujo de genes	11
Sistema de reproducción del algodonero.	11
Aportes genéticos de los algodones peruanos a las variedades comerciales	12
Efecto del flujo de genes entre algodones cultivados, los algodones nativos y las especies silvestres relacionadas	12
4. Impacto de la introducción de cultivares transgénicos de algodón al país	14
Riesgos potenciales de la introducción de algodones transgénicos	15
Aportes potenciales de la introducción de algodones transgénicos	15
5. Bibliografía consultada	16

Resumen Ejecutivo

El Perú destaca por la producción de fibra de algodón larga y extralarga y exporta tejidos y confecciones a mercados con tradición de consumo. Posee las variedades y las condiciones de clima y suelo para la siembra de algodón. Las variedades Pima y Tangüis son cultivadas en cerca de 65 000 ha de la costa; en la selva se cultivan algodones nativos de fibra blanca y de color. Se reconoce que no menos de cien mil familias campesinas producen prendas con algodón nativo de colores naturales utilizando tecnologías ancestrales.

El Nor-Oeste de Perú y Sur de Ecuador constituyen el Centro de Origen y Dispersión del *Gossypium barbadense*; es el cultivo industrial más antiguo del área andina. En esta zona se encuentran algodones con colores naturales: blanco, beige, kaki, marrón, lila, pardo, rojizo, anaranjado, azul, verde; los ecotipos de algodones nativos de la costa son: áspero de Tumbes, áspero de Yauca, palo rosado de Tacna y sub-tipos de ásperos de color; los ecotipos de selva incluyen áspero blanco, áspero de color y algodones arriñonados y semi-arriñonados.

Los algodones de costa poseen adaptación a condiciones desérticas y tropicales. El Tangüis ha aportado a las variedades comerciales mayor contenido de fibra (40 %), y resistencia a *Verticillium* sp. y *Fusarium* sp. Otros genotipos de algodones nativos peruanos están siendo trabajados intensamente como fuentes de adaptación, resistencia a sequía y tolerancia a nematodos.

El *Gossypium barbadense* L. es un tetraploide de dos genomas diferentes y un sistema reproductivo complejo por lo que podrían estar expuestos a una erosión genética, ya sea por menor dedicación al cultivo como por selección hacia determinados genotipos. En las poblaciones nativas de algodón de uso artesanal se estarían formando nuevos grupos de recombinantes que se modifican mediante la selección hacia el uso artesanal aprovechando el color y otras características. Esta podría ser una vía de pérdida de colores y de presencia de formas híbridas no adecuadas.

La falta de resistencia a problemas de gran importancia mundial, como es el caso de *Xanthomonas malvacearum*, *Botrytis cinerea* y del gusano rosado (*Pectinophora gossypiella*), que tienen un impacto negativo en la productividad, hace necesario alertar acerca de la posible introducción del *Anthonomus grandis*. La presencia de fibra coloreada en campos de algodón blanco y la "erosión" del material local es notoria ya que el germoplasma foráneo tiende a desplazar las variedades nativas. Para evitar cruzamientos no deseados es necesario ubicar los ensayos de variedades en áreas aisladas donde no se encuentren plantaciones de algodón local.

Los algodones transgénicos, desarrollados en *G. hirsutum* poseen resistencia a herbicidas (glifosato) y a insectos-plagas. Además producen fibra media, menor a 28 mm, que económicamente no es comparable con la fibra de Pima y de Tangüis. Las comunidades y pueblos que conviven con el algodón artesanal se autoabastecen de semillas y para el caso de los cultivares comerciales, las semillas de algodón son baratas. Como los agricultores y las dependencias oficiales no disponen de semillas transgénicas para adquirirlas deberán afrontar una alta inversión. Las referencias de FAO indican que el valor económico de las semillas transgénicas sería muy alto.

Es necesario evaluar el riesgo potencial del cultivo de algodones resistentes a glifosato sobre la diversidad de algodones locales del desierto. De igual manera, el riesgo potencial de algodones transgénicos con el gen cry Ab de Bt (*Bacillus thuringiensis*) sobre polinizadores debería estudiarse, a pesar de que la toxina Bt parece ser específica para los insectos-plagas de lepidópteros.

Los sistemas de producción de algodón en el Perú requieren de variedades de mayor fructificación, menor periodo vegetativo y fibra larga y extra-larga. Las variedades transgénicas a diseñarse para el Perú, además de producir altos rendimiento y alta calidad de fibra, deberán ser tolerantes a sequía y a excesiva concentración de sales en el suelo y el agua. Para la selva es necesario tolerancia a boro y aluminio.

1. Importancia del algodón en el Perú

Evolución de la producción de algodón

En el Perú se cultivan las variedades Tangüis y Pima que pertenecen a *Gossypium barbadense* L. y que producen fibras largas (32 mm) y extralargas (38 a 42 mm). Estas fibras son reconocidas internacionalmente como “*Algodones Peruanos de alta Calidad*”. Las exportaciones de fibras Tangüis y Pima se iniciaron entre 1910 y 1920 y han constituido un importante soporte a la economía del país por la generación de divisas y de fuentes de trabajo en el campo, en la industria textil y en la industria oleaginosa. Por el bienestar que generó, en los años de 1920, el algodón recibió la denominación de “oro blanco”. Las fibras largas y extra largas permiten la elaboración de hilos de alta calidad que son reconocidos con un mayor precio que va de US \$ 90 a 120 por quintal de fibra, frente a los US \$ 62 que se paga por el Upland.

En el ámbito internacional se cultivan variedades tipo Upland que se derivan del *Gossypium hirsutum* L., especie que es originaria de Norte América y a partir de la cual han derivado los algodones comerciales que se producen en el mundo (90 % de la producción mundial) y que poseen fibras cortas y medias (25 a 28 mm). Frente a estos algodones el Perú tiene ventajas con las variedades Pima y Tangüis por su reconocida calidad y porque sólo es producida por Egipto, USA (Arizona), Australia y Sudán.

El Perú dispone de clima apropiado y tierras abundantes para cultivar algodones de fibras extralargas. Asimismo, tiene mano de obra, capacidad industrial instalada y una tradición milenaria en el cultivo y en los tejidos de algodón. Este cultivo puede tener una rápida respuesta si se estimula la producción algodoneira pues para sembrar algodón el agricultor cuenta con acceso a los insumos. El producto no es perecible, su transporte es fácil y además intervienen numerosos intermediarios locales. En los distintos valles de la costa del Perú la siembra es progresiva, provee liquidez y genera un fondo de emergencia a los productores.

El periodo de mayor producción algodoneira en el Perú fue 1959 a 1963, registrándose hasta 275 000 ha

plantadas y 200,000 t de fibra cosechadas. La producción y utilización de fibras sintéticas: polipropileno, nylon, rayón, acetatos y similares, desde fines de los 50's, la Reforma Agraria de fines de los 70's y la presencia negativa del fenómeno “El Niño”, en los años 1983, 1992 y 1998, afectaron las cosechas de algodón y redujeron las áreas cultivadas. Simultáneamente los industrializadores establecieron grandes reservas (stocks) internacionales que permitieron el menor precio por las materias primas, afectando severamente la rentabilidad del cultivo. Esta situación se reflejó sólo parcialmente en el Perú debido a la buena calidad de las fibras producidas.

Con la revaloración de las fibras naturales en los 80's, los principales países productores establecieron políticas de protección para sus agricultores, lo cual lamentablemente no ocurrió en el Perú.

Los bajos precios internacionales, derivados del incremento de la producción mundial y el constante aumento de los subsidios a los productores en los principales países, generó, en el ámbito interno, que los precios de las cosechas fueran muy bajos, en tanto que los costos de producción se incrementaron por lo cual se afectó la rentabilidad del productor algodoneiro del Perú, generando la sustitución del algodón por el arroz, espárrago, tomate para industria y los frutales.

Hacia fines de los 80s se implementó la libre comercialización en el Perú y se eliminaron los estímulos a la calidad. Además dejó de operar la Junta Nacional del Algodón que regulaba su comercialización basada en el componente de la buena calidad. Los menores precios al productor desmotivaron las siembras de algodón, siendo así que en 1984, sólo se sembraron 74 000 ha. En el Censo Agropecuario de 1994 registró 27 785 unidades agropecuarias de 3,2 ha en promedio dedicadas al cultivo de algodón en una superficie cercana a las 88 000 ha. De acuerdo a estas cifras la escala de producción es pequeña y el fraccionamiento de la oferta es excesivo. En la campaña 2003 – 2004 se registran 85 000 ha, lo cual representa el 3,5 % del área agrícola nacional.

El algodón Pima de fibra extra-larga, se siembra en Piura, al norte del país en cerca del 8 % de la super-

ficie cultivada y produce fibra extralarga que se usa para producir tejidos de la mayor cotización tanto en el Perú como en el extranjero. El algodón Del Cerro se siembra en Lambayeque en una área decreciente; actualmente en cerca de 500 ha. Su fibra es procesada como complemento del Pima.

Martín y Ucayali, es menos competitivo en la industria nacional por presentar fibra corta y gruesa y por el alto costo del transporte. Los atributos que se citan para el Aspero Blanco son: plasticidad del cultivo, por su origen local, y que puede cultivarse a niveles tecnológicos elementales y con mano de obra familiar.

La producción de Tangüis se concentra en la costa central: departamentos de Ancash, Lima, Ica y Arequipa. El algodón Aspero se produce en la selva en San

En la Fig. 1 se presenta la distribución de la producción por variedades en el Perú: Tangüis 87 %, Pima 8 %, Del Cerro 0,2 % y Aspero 5 %.

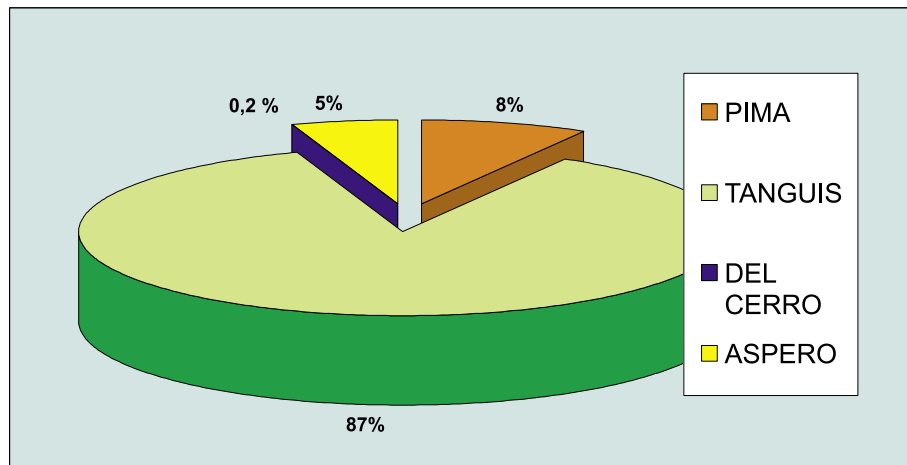


Figura 1. Composición de la producción de algodón por variedades. Cosecha 2002.

En la Fig. 2 se presenta la evolución de la superficie cultivada y los volúmenes de producción en el periodo 1985 - 2002.

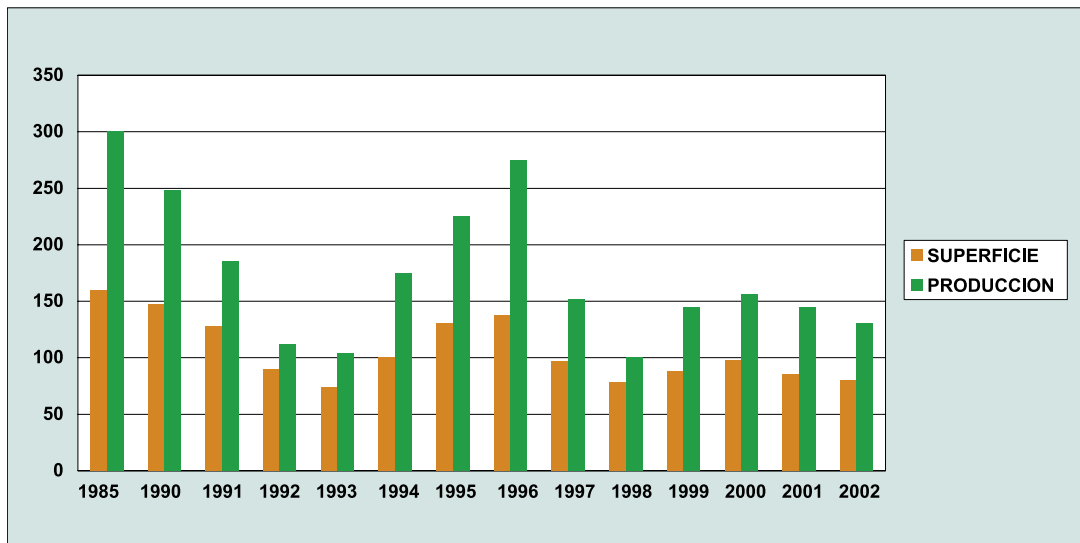


Figura 2. Evolución de la superficie cultivada (ha) y volumen de producción (t) de algodón en rama en el Perú (1985-2002).

Orientación de la producción: Mercado

Hasta mediados de los 80's el Perú era principalmente exportador de fibra. Se exportaban como fibra, cerca del 85 % de la producción de Tangüis y 95 % de la producción de Pima. A partir de los 90's se inicia como exportador de tejidos y confecciones en base a las fibras Tanguis y Pima.

Dado que el Perú produce fibra larga y que se incrementa su demanda para los tejidos y confecciones de exportación, la fibra Tangüis se destina para la elaboración de confecciones muy propias del Upland (fibra media de 25 a 28 mm). Así se generan las siguientes ofertas: Prendas de Tangüis, mezclas de Tangüis con Upland y prendas de Upland y que constituyen la base para las prendas de "algodones puros" y de "mezclas con fibra sintética".

En el 2002, la producción nacional atendió el 80 % de las demandas internas y las exportaciones de fibra de algodón superaron los US \$ 2,3 millones. Con el incremento de las confecciones de exportación aumentaron las importaciones de fibra, principalmente de Upland, superando los US \$ 50,4 millones. Las exportaciones principalmente estuvieron dirigidas a mercados sostenidos y con tradición en consumo de fibra de alta calidad.

En el Cuadro 1 se presenta la producción, el consumo interno y la demanda de textiles en el periodo 1990 - 2002. De acuerdo a esta información, actualmente la producción nacional cubre menos del 50 % de la demanda interna, por lo que se debe recurrir a las importaciones.

Cuadro 1. Producción, consumo interno, exportaciones e importaciones de fibra de algodón en Perú

Años	Volumen de producción (t x 1000)	Consumo interno total (t x 1000)	Exportaciones (t x 1000)	Importaciones (t x 1000)
1990	78	58	28	0
1991	61	49	22	0
1992	36	48	22	8
1993	47	57	33	7
1994	55	65	11	11
1995	74	71	9	16
1996	91	76	9	17
1997	50	70	4	37
1998	37	70	2	40
1999	40	74	2	40
2000	40	76	2	34
2001	40	78	2	41
2002	40	81	2	41
2003E	40	83	2	44

Fuente: USDA, Farm Service Agency
Tomado de INFOAGRO 2004.

De acuerdo a las estimaciones, las importaciones son equivalentes a la producción de 98 000 ha. Con la APTDEA las importaciones de algodones pueden incrementarse y duplicarse en poco tiempo a fin de satisfacer los mayores requerimientos de la industria textil. Esto significa que Perú debe incrementar las siembras de algodón de alta calidad, orientar el mercado y evitar la salida de divisas que, de acuerdo a la tendencia actual, antes del 2006 podrían superarse los cien mil millones de dólares desplazando la producción algodонера nacional.

Si bien la superficie algodонера actual ha disminuido, hasta alcanzar el 3,5 % de la superficie total sembrada. Este cultivo es de muy rápida respuesta si las condiciones económicas le son favorables, tal como ocurrió en 1995 y 1996, pudiendo llegar fácilmente a las 140 000 ha, incremento que no es posible con otros cultivos de exportación como el espárrago, café, vid, etc.

Importancia industrial

Desde los años 40's se ha desarrollado en el Perú la industria de aceites y derivados, tales como aceites emulsionables y de mesa, margarinas, jabones, pinturas y barnices a base de la "pepa" (semilla de algodón). El aceite de algodón tiene alto contenido de ácidos grasos especiales, oleico, esteárico, margárico, palmítico, linolénico y linoleico.

Los productos de algodón han tenido presencia en Latinoamérica y significaron importantes ingresos de divisas. Por su alto contenido de aminoácidos azufrados la pasta de algodón es utilizada en la alimentación humana y animal. A la fecha la "pepa" de algodón aporta con el 40 % de la producción. Industrialmente está siendo sustituido por soya o aceite importados.

De acuerdo a las últimas estadísticas la "pepa" de algodón aporta con 20 000 t de aceite crudo de primera calidad, y con 35 000 t de pasta de algodón de alto valor nutritivo que se emplea en la alimentación de ganado de engorde y de leche.

Importancia social y cultural

La producción de algodón es la principal fuente de generación de empleo en el Perú; en la costa se produce alrededor del 95 % del algodón del país. Los requerimientos en mano de obra son significativos; se estima que el cultivo requiere de por lo menos de 42 000 jornales directos en el campo. La cosecha manual demanda cerca de cincuenta jornales por hectárea y se estima que al procesarse y llegarse a la comercialización de confecciones y productos derivados de la pepa o semilla, se han generado 15 empleos adicionales por cada hectárea cosechada. Se estima por tanto que cerca de 50 000 familias / año tienen trabajo gracias al algodón.

El algodón tiene un efecto muy importante en la economía rural en el Perú, especialmente en el empleo (Hernández, 2003). Se conoce que la mayoría de los productores de algodón en el Perú son campesinos pobres que emplean métodos de cultivo poco tecnificados y que poseen fincas de tamaño menor a 5 ha en las que cultivan no más de tres hectáreas de algodón.

Un importante sector rural de la costa y de la Selva peruana se dedica a la producción y elaboración de prendas artesanales utilizando tecnologías ancestrales y usando algodones nativos blancos y de colores naturales. En Piura, Lambayeque y La Libertad, más de diez mil productores producen el algodón "pardo" que luego es transformado por no menos de cien mil familias campesinas que elaboran prendas artesanales diversas que comercializan en las principales ferias y centros de comercio en el Perú.

Las mujeres han desarrollado capacidades muy especiales en la hilatura y elaboración de prendas de inestimable valor orientadas al uso en actividades de vida doméstica y ceremonial: mantas, alforjas, sacos, cinturones, servilletas, manteles, bolsas, fajas, ponchos, colchas, etc. Estas actividades constituyen una importante fuente de trabajo y de ingresos basados en técnicas que se transmiten de generación en generación. Las producciones artesanales de hilado y tejido aun se hacen a través de trabajo colectivo

familiar, llamados “mingas”, costumbre ancestral en el Perú.

En la amazonía se cultiva el algodón Aspero Blanco (*Gossypium barbadense* L.), el cual se siembra asociado con otros cultivos como el maíz, frijol, yuca, plátano y hasta con especies forestales. Es importante señalar que el desarrollo radicular de este algodón contribuye a controlar la erosión de los suelos. En opinión de los agricultores y técnicos donde se produce algodón nativo, éstos son más tolerantes a plagas y enfermedades, que los algodones foráneos introducidos.

2. Distribución geográfica de la diversidad genética de algodones nativos, mejorados y de especies silvestres relacionadas

Origen y evolución del algodón peruano

El Norte y Nor-Oeste de Perú y el Sur de Ecuador, son reconocidos como centro de origen y dispersión del algodón sudamericano (Hutchinson et al., 1947, Fryxell, 1948 y Stephens, 1975). Antonio Raimondi encontró formas de algodón cultivado *G. barbadense* L. (4n = 52 cromosomas) conjuntamente con *G. raimondii* U. (2n = 26 cromosomas) denominado “Algodoncillo”, en las Montañas de Nancho, provincia de Contumazá, Cajamarca (incluye la zona de Chilete).

La diversidad de colores naturales: blanco, beige, marrón, marrón rojizo, lila, pardo, rojizo, rojo anaranjado, azul (difícil de encontrar pero mencionado por muchos autores), verde y otros en diferentes tonos exóticos llamaron la atención de los naturalistas Darwin, Dombey, Raimondi, Spruce, La Condamine y Sauer, quienes en los últimos 200 años identificaron y describieron varias de estas formas especiales de algodón.

La taxonomía de las dos especies más importantes de algodón sudamericano y sus especies más relacionadas es la siguiente:

Orden Malvales

Familia Malváceas:

- Tribu gossypioideae

- *Gossypium raimondii* Ulbrich
- *G. barbadense* L. y
- *Cienfuegosia tripartita* (HBK). Especie más próxima a *Gossypium*.

- Tribu malveae, Sub tribu Abutilinae:

- *Abutilon mollissimum* (Cav.) Swrrt
- *Abutilon umbellatum* L. Sw.
- *Malvastrum coromandelianum* L. Garcke
- *Malvastrum tomentosum* L. S.R. Hill
- *Malvastrum scabrum* (Cav.) Gray

- Tribu malveae, Sub tribu Sidinae:

- *Dastardia divalvis* (Cav.) HBK,
- *Dastardia viscosa* L. HBK,
- *Sidastrum paniculatum* (L) Fryxell
- *Sida rhombifolia* L.
- *Sida cordifolia* L.
- *Sida espinosa* L.
- *Sida weberbaueri* Ulbr.

Las especies que conviven con los algodones son: ceibo (*Bomax mori*), pasallo (*Bombax discolor* L.) de la familia Bombaceae; polo - polo (*Cochlospermum* sp.); malva silvestre (*Malvastrum peruvianum*); pichana (*Sida panniculata*), Malva espinosa (*Malchra* sp.) y malvarrosa (*Althraea rosea*).

Distribución geográfica de los algodones en el Perú

Algodones blancos comerciales. Los algodones blancos comerciales son cultivados en cerca de 65 000 ha de la costa y selva, en las siguientes zonas y valles:

COSTA

• Costa Norte: Algodón Pima:

- **Piura:** Alto Piura, Bajo Piura, Irrigación San Lorenzo
- **Lambayeque:** Chancay, La Leche

• Costa Central: Algodón Tangüis:

- **Ancash:** Santa-Lacramarca, Casma, Huarmey, Culebras

- **Lima:** Pativilca, Barranca, Supe, Huaura – Sayán, Chancay - Huaral Chillón, Rimac-Lurín, Mala, Asia, Cañete
- **Ica:** Chincha, Pisco – Huaytará, Ica, Nazca, Acarí
- **Moquegua:** Ilo
- **Tacna:** Locumba, Sama, Tacna

SELVA: Aspero Blanco y recientes introducciones de Upland por distrito:

- **San Martín:** San Martín, Tarapoto, Juan Guerra, Cumbaza
 - **Picota:** Picota, Tananta, T Ponaza, Pucacaca
 - **Rioja:** Rioja
 - **Mariscal Cáceres:** Distrito de Juanjui
 - **Huallaga:** Distrito de Saposoa
- **Ucayali: Algodón Aspero Blanco**
Sectores: Aguaytía, San Pedro de Chío, Alto Shiringal, Von Humboldt, Huipoca, Shiringal, San Alejandro, Coronel Portillo, Santa Cruz, Von Humboldt, Nuevo Horizonte, Alto Huipoca, Neshuya, Irazola, Sector Milagro, Primavera, Bellavista, Sector Tiwinsa, Nuevo, Ucayali, Aguaytillo, Miraflores

Algodones artesanales. De acuerdo a Bird (1948) y Lostanau (1985), desde hace 4 500 años el algodón es el cultivo de uso industrial más antiguo del área andina, especialmente de la costa norte de Perú. En esta región

son numerosas las formas de vestidos, cordeles, mantas, colchas, frazadas, sacos, cestos, redes de pescar y mantas ceremoniales encontradas, debiendo destacarse que se empleaban fibras torcidas pero sin el empleo de la rueca (hilador primitivo). Stephens (1975), y otros autores, sugieren que el algodón se habría introducido a la costa peruana, y que a partir de esta forma original se han derivado formas rastreras y arbustivas que prosperaron en la costa y en los valles interandinos cálidos, hasta los 1900 msnm (Sauer, 1967; Fryxell, 1980). Se ha establecido que las formas encontradas son totalmente domésticas y que las formas primigenias de utilización se localizan en la costa norte del Perú.

Debido a sus colores naturales (Fig. 3), los algodones nativos peruanos han despertado la atención, desde los inicios de la conquista, de notables investigadores naturalistas y botánicos como Darwin, von Humbolt, Raimondi, Spuce, Todaro, Watt, Zaitzev y Linneo que han recorrido nuestro territorio y describieron y clasificaron varias de las especies del Genero Gossypium. Los algodones peruanos han sido llamados: *ásperos*, *criollos* y *del país* tal como los citan los agricultores y campesinos que siguen conservando y cultivando en forma similar a la que se ha venido haciendo durante miles de años. Estos algodones se encuentran mayormente en las comunidades tradicionales de los valles de Chira, Piura, Chancay, La Leche, Jequetepeque y en menor grado en Moche, Chicama y Virú.



Figura 3. Muestra de algodones nativos peruanos de colores naturales.

Los estudios de prospección han permitido diferenciar los siguientes ecotipos o variedades de algodones nativos:

a) Algodones nativos de la costa:

- Aspero de Tumbes
- Aspero de Yauca
- Palo Rosado de Tacna
- Diversos sub-tipos de Asperos de color

b) Algodones nativos de selva:

- Aspero blanco
- Asperos de color
- Algodón arriñonado
- Algodón semi-arriñonado

Se ha determinado que en los valles del Chira y Chao, y en similar forma en los distintos valles de la costa, el algodón nativo se encuentra disperso en los siguientes estados:

- a) **Semi-silvestre**, como un escape a las formas cultivadas, y en casos como planta voluntaria, en zonas alejadas a los asentamientos humanos.
- b) **Cultivo perenne** en los bordes de las chacras, acequias y cercos, así como en tierras eriazas abandonadas, y en algunos casos en pequeñas áreas sembradas en surcos.
- c) **Semi-ornamental** en los jardines, huertos y patios de las casas familiares en las áreas rurales o urbanas, donde se destina al uso preferente en la medicina tradicional norteña.

El cultivo perenne, se concentra mayormente en la faja costera de La Libertad, Lambayeque y Piura así como en las zonas interandinas de Huánuco, San Martín, Ancash y Cajamarca. El área de mayor distribución se encuentra en la faja de Lambayeque a las márgenes de las áreas sembradas intensamente con caña de azúcar, arroz y algodón comercial (Del Cerro). Igualmente se enfatiza que en la casi totalidad de los valles costeros se encuentra algodón nativo en las formas semi-silvestre y semi-ornamental.

La mayor densidad de algodón Aspero de Costa se registra en una área de forma lunar que comprende parte de los distritos de Olmos, Jayanca, Íllimo, Túcume y Mórrope en la cual el 75 % de las unidades familiares estudiadas cultivan una o más plantas de algodón.

Los algodones Aspero de Yauca y Palo Rosado de Tacna corresponden a las formas que generaron las fibras que los Nazcas y Paracas emplearon en la elaboración de los famosos "mantos de Paracas" y que además fueron usadas por los pre-incas en tejidos mixtos basándose en lana de alpaca y fibra coloreada en atuendos y mantos ceremoniales y cuyas formas se continuaron elaborando durante el virreinato y la época republicana.

En San Martín, Ucayali, y otras zonas del oriente peruano, se cultiva los algodones nativos blancos Aspero y otros algodones "nativos de color" con colores similares a los nativos de la costa. Los pueblos amazónicos utilizan las fibras para hilaturas y tejidos de atuendos para vestido y de uso ceremonial. Destacan los pobladores de Lamas por la calidad de productos que comercializan en las principales ciudades.

En la región oriental el algodón nativo cultivado corresponde a la variedad Aspero Blanco perteneciente al *Gossypium barbadense* L. y se siembra en las laderas en forma asociada con otros cultivos como el maíz, frijol, yuca, plátano y aún con especies forestales, destacándose su gran desarrollo radicular. En opinión de los agricultores y de los técnicos de la zona los algodones nativos son tolerantes en mayor grado al ataque de plagas y enfermedades en comparación a los algodones foráneos que periódicamente han sido introducidos.

Principales usos de los algodones nativos. Las formas de producción y comercialización de algodón nativo en la costa siguen modelos pre-hispánicos que fueron muy aprovechados en las épocas colonial, virreynal e inicios de la república. Queda registrado que su cultivo fue común hasta inicios de los años 30's en que se dan medidas de protección para el algodón blanco, dentro de las cuales se incluye la eliminación de las "formas nativas de algodón" por considerarlas

hospederos y agentes de multiplicación y diseminación de las principales plagas y enfermedades que afectan a los “algodones blancos”; hasta ahora sin embargo, se mantienen las formas de producción, uso y comercialización.

De acuerdo a los censos y encuestas realizadas, la mayoría de mujeres rurales de la costa y de la selva saben hilar y tejer y emplean la fibra de algodón nativo como base de un sistema de producción artesanal muy vigoroso de tejidos íntimamente asociados con la vida doméstica y ceremonial del pueblo. Se estima que el valor económico actual de la producción y transformación de fibra nativa alcanza los US \$ 500 000 anuales. En estos procesos, además de los productores agrícolas, participan más de 100 mil mujeres hilanderas, tejedoras, costureras y especialistas en artesanía textil que elaboran alforjas, bolsos, fajas, ponchos, colchas, mantas, sacos, cinturones, manteles y bolsas. Las artesanías se comercializan en las ferias del interior y en ella participan los “tolderos”, conformados por no menos de cien mil familias, que durante el año recorren el país.

Como usos en medicina popular el algodón en rama se emplea como remedio casero para el tratamiento de infecciones típicas y psicosomáticas: “mal de ojo”, “picadura de araña”, “golpe de aire” y la fibra y cenizas tienen un rol especial en los “ritos de pasaje” y ceremonias tradicionales.

En los cultivos intensivos, como medida de protección, se siembra algodones nativos en los bordes de las pozas de arroz y caña para la “fijación del suelo” y el control de la erosión, además las plantas de algodón protegen del viento y crean un microclima favorable.

En la amazonía, especialmente en Lamas (Tarapoto) y Yarinacocha (Pucallpa), las comunidades nativas Ashanincas y Campas entre otras, elaboran prendas de vestir y productos artesanales elaborados con algodones de colores y blancos teñidos y que ofrecen en venta e intercambio en las ferias. De manera similar, en los valles interandinos de la vertiente oriental se produce algodón con fines artesanales, elaboración de atuendos, con fines medicinales y de conservación

de suelos para evitar la erosión, en forma similar a la señalada para los algodones nativos de costa.

Principales atributos del algodón nativo. El algodón nativo, Aspero de costa, posee mayor resistencia a la sequía, salinidad de agua y suelo y al ataque de las plagas, en comparación a los algodones comerciales. Las plantas de algodón nativo se conservan en campo por diez años consecutivos sin riesgo alguno.

El Algodón nativo es el único algodón con colores naturales y pigmentados propios que incluyen el pardo marrón, anaranjado rojizo, pardo rojizo y lila, además de un blanco muy luminoso brillante (Vreeland, 1985). A pesar que el cultivo se conduce a condiciones disímiles de humedad, de sequía y en casos de extrema humedad, como cuando se presenta “El Niño”, la rentabilidad con el algodón nativo es relativamente alta ya que se conduce sin la aplicación de fertilizantes e insecticidas y en suelos en los que no prosperan económicamente otros cultivos.

Los algodones nativos poseen alta adaptación a condiciones desérticas (algodones de costa), y tropicales de la amazonia (algodones del oriente). Los algodones de costa han desarrollado un sistema radicular muy eficiente que le permite prosperar a condiciones de suelo salino y con escasa materia orgánica y de igual forma resiste periodos prolongados de sequía.

Posee mecanismos de resistencia y tolerancia a las principales plagas y enfermedades asociadas con el mayor contenido de Gossypol. Especial importancia tiene la alta resistencia a infecciones por *Fusarium sp.* y *Verticillium sp.*

Se le ha asignado el rol de “cultivo colonizador” debido a la capacidad de “detener el avance de los desiertos” y de “mejorador de suelo” ya que permite la formación de “suelo agrícola” para la posterior incorporación de nuevas especies en las zonas de reciente irrigación.

Uso potencial de los algodones nativos. Ante la demanda internacional por prendas de algodón eco-

lógico, y de colores naturales, el Perú tiene un enorme potencial con los algodones nativos. El desarrollo de variedades competitivas, con atributos especiales, constituye una alternativa técnica y económica para la agricultura de desierto y para el manejo de tierras eriazas. Es evidente que el sistema productivo se vería favorecido con la producción de prendas con valor agregado en las que los colores pardo oscuro, lila, verde y azul, son las más solicitadas.

Los algodones nativos se adaptan a condiciones de desierto y de selva por lo que son de gran valor para incorporarlas genéticamente como fuente de reducción del impacto climático en las nuevas variedades comerciales: sequías y presencia del fenómeno "El Niño". Debemos tener muy presente que en la costa las plantas de algodón nativo prosperan entre el nivel del mar y los 1900 msnm, desarrollan en suelos con altos contenidos de sales que resultan tóxicos para otros cultivos (Masón, 1974), permanecen aún por cuatro años sin riego aprovechando el agua del freático mediante un sistema radicular muy eficiente.

Es frecuente encontrar plantas de algodón nativo en los perímetros de los campos de cultivo sirviendo como cerco de otro cultivo instalado protegiéndolo de animales y ganado. Las raíces protegen los lomos de los canales donde se siembran cultivos perennes, como los frutales, ya que dada su condición de arbusculo, el algodón protege del efecto destructor de los vientos fuertes.

La fibra del algodón nativo de color es variable en longitud, predominando las hebras largas, gruesas y resistentes, apropiada para obtener hilos de baja torsión que mejoran la capacidad de respiración de los tejidos. El grosor de la fibra facilita el trabajo manual. El algodón nativo de fibra blanca es utilizado para mezclas y para elaborar pabito de bajo costo y alta resistencia.

El mayor uso potencial está referido al empleo como fuentes de resistencia a plagas y enfermedades.

La validación "científica" de las propiedades medicinales que se le atribuye constituye un potencial que no debe ser desaprovechado.

3. Frecuencia de hibridación y flujo de genes

Sistema de reproducción del algodónero

La planta de algodón es autógama, pero presenta de 25 a 40 % de polinización cruzada realizada por insectos (himenópteros). En el transporte de polen y la polinización, las abejas, abejorros y abejas silvestres tienen un rol muy importante. A condiciones de alta población de insectos se registran mayores porcentajes de polinización. Algunos tipos de hormiga realizan también la polinización.

Básicamente el algodónero es un tetraploide anfidiplóide con un sistema reproductivo complejo. Los algodones tetraploides poseen dos grupos genómicos diferentes y las relaciones de fertilidad y de expresión de las características de valor económico dificultan la obtención de híbridos comerciales. Si bien la polinización se realiza fácilmente, el mecanismo genético de recombinación y segregación de características es complejo, y dificulta la producción comercial de semilla híbrida de algodón de fibra larga y extra-larga siendo pocos los casos en los que logra producirse en volumen comercial.

Se han emitido muchas hipótesis para explicar acerca del complejo sistema de recombinación y segregación y de la duración comercial de los híbridos en algodón. Entre los aspectos que se citan se menciona que la naturaleza de anfidiplóide genera meiosis no regular que produce poblaciones de gran amplitud pero de escaso valor comercial. Por esta vía se reduce el número de semillas, el peso de la bellota, el porcentaje de fibra y generalmente se deteriora la calidad industrial de la fibra.

Para la mayoría de características de importancia económica, los modelos de herencia corresponden a sistemas poligénicos y en numerosas experiencias se han obtenido híbridos inducidos inestables y con alta tasa de infertilidad.

Aportes genéticos de los algodones peruanos a las variedades comerciales

Desde principios del siglo XVIII el Perú ha sido visitado constantemente por investigadores de varias partes del mundo. Entre las visitas más recientes esta la de la Misión de FAO, integrada por J.S. Chwendimon y G. Año, que en 1981 colectaron 48 tipos de algodones nativos, 36 entradas de la costa norte y 12 de la selva.

A nivel mundial los distintos programas de mejoramiento genético del algodón han incorporado, desde inicios del siglo XX, genes de resistencia a *Verticillium sp.* y *Fusarium sp.* a partir de genotipos de Tangüis y otros algodones peruanos. Así en los años 50's y 60's se liberan comercialmente los algodones Pima 32 y Pima S – 1 que poseen los aportes del Tangüis (*Gossypium barbadense*) por su resistencia a la marchitez (*Verticillium albo-atrum*), por el color blanco de la fibra y por el mayor contenido de fibra (40 % de fibra en la bellota).

Lemeshev del Instituto Vavilov de Leningrado, Rusia (Comunicación personal, 1973), informó que la variedad Tash Kent sembrada en 3 millones de ha, ha sido mejorada para resistencia a *Verticillium albo-atrum*, usando algodones nativos de Perú.

Los investigadores se han referido a la importancia de algodones nativos peruanos, así Boza Barducci y Madoo (1941) expusieron que la especie *G. raimondii* tiene un alto grado de resistencia a insectos chupadores *Empoasca sp.*, *Thrips sp.* y *Tetranychus sp.* y de acuerdo a Korytkowski (1984), el algodón "del país" demuestra una resistencia natural a muchas de las plagas, insectos y otros organismos, que afectan a las variedades comerciales. El algodón del país es el más resistente al ataque del "gorgojo de la chupadera" (*Euthinobotrus gossipii*). En Piura y Catacaos es frecuente encontrar plantas nativas de varios años sin daño alguno por lo que se presume que este insecto haya sido introducido.

En el ámbito mundial los "genes" de los algodones nativos peruanos están siendo "trabajados intensa-

mente" como importantes recursos biológicos para procesos adaptativos y sobre todo por su resistencia a enfermedades vasculares (marchitez) causadas por *Verticillium sp.*, *Fusarium sp.*, *Thielaviopsis sp.*, y también por su tolerancia a nematodos.

Efecto del flujo de genes entre algodones cultivados, los algodones nativos y las especies silvestres relacionadas

La incorporación de nuevas fuentes de germoplasma a nuestro medio promueve la formación natural de híbridos que finalmente "deterioran" a las variedades nativas; la mayoría de híbridos espontáneos se pierden ante la falta de resistencia a plagas y enfermedades propias como la marchitez y la poca capacidad adaptativa a climas y condiciones de suelos pobres, con alta salinidad.

Las bases genéticas y los fundamentos culturales de los algodones ásperos están experimentando una severa erosión, en parte por el abandono de su cultivo, pero también por la inadecuada selección de semillas de genotipos, lo que hace evidente la pérdida de algunos colores (como el azul que se menciona en las primeras crónicas), y la presencia de formas híbridas originadas por introgresión de polen de variedades introducidas.

En los años 60's a 70's en las zonas de Piura se cultivaban los algodones "Pima Peruano", "Karnak", "Acala", y los supimas: Pima S-1, Pima S-2 y Pima S-3. La coincidencia en periodo productivo y la superposición geográfica generaron el deterioro de la fibra exportable; además de diferencias morfológicas se presentaron variaciones en longitud de fibra y en su comportamiento textil. Ante estos problemas se recomendó continuar tan solo con el "Pima Peruano".

La alerta ante presencia de fibra coloreada en campos comerciales de algodón blanco y la "posible erosión" del material local es una constante que debe ser considerada y respetada. Los nuevos problemas como la falta de resistencia a *Xanthomonas malvacearum* y *Botrytis cinerea* y la introducción del "gusano rosado"

(*Pectinophora gossypiella* S.) ha tenido un impacto muy negativo en la productividad. Es necesario alertar acerca de la posible introducción de otros insectos como el *Anthonomus grandis* que no son plagas en el Perú, pero sí a nivel mundial.

En la Costa Central en los años 50's se estableció para el Tangüis el "Programa de Marchitez"; a este programa se le asignó la responsabilidad de reforzar la base genética de resistencia del Tangüis que en ese momento se encontraba "contaminado" con algodones del *Gossypium hirsutum*, que se introdujeron como fuentes para el incremento del tamaño de bellota, reducción del porte de la planta y conferirle precocidad. Los trabajos generaron la recuperación de la fibra larga, propia del Tangüis, y la recuperación de la resistencia a marchitez.

Los algodones de selva son tolerantes a insectos de costa; así, cuando fueron sembrados en La Molina las plantas de algodón Pardo de fibra corta toleraron sin problemas una alta incidencia de *Dysdercus peruvianum*; se consideró que en estas condiciones la cosecha del algodón Tangüis fue afectada en 50 %.

Es necesario tener presente que ante la introducción de material exótico, la gran diversidad de tipos, sub tipos y sub formas, prácticamente se ven en peligro. La adaptación de los algodones es específica a condiciones particulares. Así donde se cultiva el Tangüis no prospera comercialmente el Pima. Mayor especificidad se tiene en el caso de los algodones en la selva peruana. Las experiencias de la hibridación del Pima con el Tangüis no han sido exitosas resaltándose que en los híbridos se han obtenido plantas con fibra cremosa y coloreada y escaso valor productivo. Los casos de respuesta positiva se refieren a la formación de híbridos de la mayor divergencia y con menor similitud cromosómica para favorecer la mayor formación de segregantes para, a partir de estos híbridos, iniciar selección.

Las experiencias de los años 70's para la producción comercial de algodones tipo Upland en cerca de 5 000 ha en las zonas de Alto Marañón y Bajo Mayo en los departamentos de Amazonas y San Martín, ha

permitido detectar la presencia de fibras coloreadas en campos comerciales de algodón blanco y de enfermedades "nuevas" como la muerte regresiva (dieback) y la enfermedad causada por *Xanthomonas* sp. en los algodones nativos y comerciales de la zona; sin embargo nada se ha hecho por evaluar el impacto en los algodones nativos que poseen las comunidades nativas.

En los años 70's se tuvo la experiencia de siembras de algodones *G. hirsutum* en la provincia de Padre Abad. El autor llegó a la conclusión que se debería "ubicar los ensayos de diferentes variedades en áreas aisladas donde no se encuentren plantaciones de algodón áspero para evitar cruzamientos entre las dos especies".

Como cultivo alternativo se programó el cultivo del Upland en los valles Saposoa y Juanjui, al sur de Tarapoto conducido en el 2001 por el Proyecto ADEX/AID en convenio con el MINAG y el Instituto Peruano del Algodón. Producto de esta experiencia se registró incrementos en la superficie sembrada, llegando a 5 000 has en el valle que incluye Bellavista y Juan Guerra. En el desarrollo del proyecto se detectaron problemas de impurezas en la multiplicación de semilleros tales como presencia de plantas híbridas y segregación de plantas típicas de "áspero pardo", aspectos que dificultan la obtención de semilla Upland de alta calidad en la zona y libres de "contaminación con el Aspero". En las recomendaciones de este estudio se indica la necesidad de identificar y disponer rápidamente de un germoplasma adaptado a la zona en estudio.

El autor del presente informe observó en Ilo, marzo de 1995, plantas semi cultivadas de algodón con una antigüedad no menor a 10 años y que en forma natural se renuevan a manera de "bosquecillos". Asimismo, en el Programa de Algodón de la UNA La Molina (1976) se recibieron semillas de algodón nativo de la zona de Madre de Dios; estas semillas fueron sembradas a condiciones de cultivo en el borde de las parcelas experimentales que conduce el Programa. Al inicio de la floración, mes de enero 1977, las plantas murieron a causa del ataque grave de Marchitez (*Verticillium* sp.).

Debe tenerse presente que los artesanos y agricultores del medio rural son activos agentes de intercambio de semillas. Por lo tanto, se sugiere que la aparente variabilidad natural que se encuentra cerca de las áreas de procesamiento artesanal correspondería en realidad a segregaciones de cruzamientos espontáneos, tal como se ha encontrado en San Martín y Ucayali.

Para los casos de algodones de uso artesanal no se descarta que se estén formando nuevos grupos de recombinantes en los que el hombre va modificando, mediante la selección, hacia el uso artesanal aprovechando el color y las distintas características de la fibra. Así ante las perspectivas que ofrecen las fibras de coloración natural en los 80's se introdujeron algodones de colores de la costa a la selva sin proteger a los sembríos de algodón comercial. Las consecuencias fueron negativas ya que se deterioró el áspero blanco y el producto obtenido tuvo bajo valor comercial: fibra coloreada en los campos de algodón blanco, cambios o alteraciones en la expresión del color original del algodón coloreado naturalmente.

Por lo mencionado anteriormente se puede asumir que, si bien se resaltan los cambios en el producto comercial, en bellota y fibra, es necesario evaluar otras características de importancia morfológica y adaptativa, y en especial las relacionadas con la sobrevivencia de la especie. Se necesita evaluar en el material segregante los distintos niveles de resistencia a plagas y enfermedades presentes en la zona.

Las experiencias con la introducción de variedades se pueden resumir en la muy escasa adaptación de los genotipos introducidos, la pérdida en la calidad de la fibra por "contaminación" con fibras coloreadas y de menor longitud, la presencia de la marchitez y la incorporación de genes de baja adaptabilidad y susceptibilidad a plagas y enfermedades. Como efectos inmediatos se observan infertilidad en los algodones comerciales y formación de nuevos híbridos de escaso valor adaptativo y comercial que se complementan con introducción de nuevas plagas y enfermedades.

Áreas de confinamiento. Debido a la amplia dispersión de los algodones nativos es necesario establecer áreas de confinamiento para estudiar previamente el material genético a introducir. Las experiencias previas deberán medir el impacto real toda vez que se trata de un importante, centro de origen y dispersión.

4. Impacto de la introducción de cultivares transgénicos de algodón al país

Debemos tener en cuenta que los algodones transgénicos emitidos hasta el momento han sido desarrollados para algodones de fibra corta y media (Upland) que prosperan en condiciones de clima tropical húmedo, los cuales prosperan bien bajo lluvia. Estas condiciones difieren con el tipo de algodón y con las condiciones climáticas en que se desarrolla el cultivo de algodón en la costa peruana.

Como ya ha sido explicado en este artículo, la fortaleza de los algodones peruanos consiste en la calidad superior de la fibra larga y extra-larga. Si bien pudieran incrementarse los rendimientos unitarios, se incrementaría la dependencia frente a un producto abundante y de bajo precio.

Los sistemas productivos afrontarían problemas similares a los ya citados en especial por los requerimientos de fotoperiodicidad y de condiciones térmicas en las zonas donde se programe el cultivo de transgénicos.

Las cualidades que actualmente poseen los algodones transgénicos se refieren sólo a la resistencia a herbicidas (glifosato) y a la eliminación de larvas de lepidópteros por la acción del gen Bt (*Bacillus thuringensis*). En las condiciones de suelos de la costa desértica con marcada carencia de materia orgánica, 1 % frente al 5 % que se estima como óptimo, el control de malezas y plantas circundantes reduciría la posibilidad de por lo menos mantener los actuales niveles de materia orgánica. Para el eficiente uso del herbicida glifosato se requiere de aplicaciones en áreas homogéneas y grandes. Si recordamos que

los agricultores poseen en promedio cerca de cinco ha, y que generalmente cultivan diferentes especies, se requeriría que todas las otras especies cultivadas también sean resistentes al glifosato.

Las comunidades y pueblos que conviven con el algodón artesanal se autoabastecen de semilla y en el caso de los cultivares comerciales, la semilla de algodón es de bajo costo. Los agricultores y las dependencias oficiales no disponen de semilla transgénica por lo que su adquisición requerirá alta inversión. Las referencias de FAO indican que el costo de la semilla transgénica sería alto.

Riesgos potenciales de la introducción de algodones transgénicos

Las siguientes consideraciones se aplican en la evaluación de la introducción al país de algodones, sean éstos transgénicos o no.

- **Consideraciones genéticas.** En la introducción del *Gossypium hirsutum* se tiene que considerar: (i) posibles mutilaciones cromosómicas fomentadas por la hibridación, (ii) manifestación de casos ocultos de incompatibilidad por presencia de genes recesivos y (iii) la expresión de la acción de genes complementarios para caracteres no favorables que se manifiestan en los híbridos (Morán, 2000).
- **Consideraciones ambientales.** La persistencia de genotipos nuevos pueden, sin intervención humana, conducir al intercambio de material genético con cultivares nativos, o material silvestre. También debe tenerse en cuenta posible flujo horizontal de genes y efectos potenciales en organismos no blancos del ecosistema (ONU, 2004c).

Específicamente, tales consideraciones serían parte del análisis de riesgo del cultivo de algodones resistentes a glifosato en la costa y en la selva, así como para el caso del cultivo de algodones Bt.

También se debería evaluar el efecto sobre las relaciones agentes - huéspedes intermediarios y agentes - huéspedes definitivos para el caso de las áreas endémicas para malaria y paludismo.

Finalmente la evaluación de la calidad y modificaciones en los aceites y alimentos producidos por algodones transgénicos, son áreas relacionadas para el análisis de riesgo.

Aportes potenciales de la introducción de algodones transgénicos

Algunas limitaciones en la productividad, competitividad y mejoramiento socio económico del agricultor, podrían recibir atención mediante la producción local o importación de transgénicos.

Los aportes de los algodones transgénicos deberían estar orientados a cubrir las deficiencias o características negativas en las que los algodones peruanos pudieran ser deficitarios. En la misma medida, los transgénicos deberían reforzar las cualidades especiales como tolerancia a sequía, resistencia a problemas de salinidad y otros. En condiciones de selva es necesario incrementar la tolerancia a niveles tóxicos de boro, aluminio y otros elementos.

Los aportes más importantes que requieren nuestros sistemas productivos algodonereros están relacionados con: la reducción del periodo vegetativo, lograr una floración abundante; y producción de mayor número de bellotas, de mayor tamaño y con el mayor porcentaje de fibra; además de los atributos de buena calidad de fibra.

Entre los atributos especiales de los algodones peruanos se debe destacar la coloración natural que presentan los algodones nativos. Las variedades comerciales, deberían tener el menor consumo de agua y de nutrientes en comparación con los algodones foráneos. Además, los algodones nativos registran un menor impacto ante las variaciones climáticas y ante la mayor incidencia de plagas.

Los algodones transgénicos deberían adaptarse al medio en el cual serán utilizados comercialmente. Para llevar a cabo estos estudios se debería reforzar los laboratorios de recursos genéticos de las universidades, principalmente los de la UNM-San Marcos y la UNA-La Molina. Se debe también establecer el

patrimonio sobre las formas de algodón que se presentan en el país. Será necesario el establecimiento de protocolos de transformación genética y de técnicas para la identificación molecular del germoplasma; el estudio de la diversidad genética del germoplasma de *G. barbadense* a fin de orientar los recursos genéticos en los programas de mejoramiento.

Se debería emplear marcadores genéticos asociados a las características a ser seleccionadas en campo para su utilización en el programa de mejoramiento genético. Se sugieren dos tipos de marcadores: Marcadores de factores genéticos de resistencia a enfermedades (marchitez) o nemátodos, y los marcadores de QTL (Quantitative Trait Loci) de tolerancia a los estreses hídricos, recomendados para los algodones a cultivarse en la costa central, lo que permitirá seleccionar para resistencia al estrés hídrico.

5. Bibliografía consultada

Acción Agraria. 2001. Desarrollo del algodón blanco nativo. Proyecto de Desarrollo Alternativo USAID/Perú. Winrock International Institute for Agricultural Development. 30 p.

Basurto, A. 2001. Obtenciones varietales en el PIPS en Algodonero de la UNA La Molina. Facultad de Agronomía. p.30-36.

Belot, J. L. 2000. El Programa de Investigación Algodonera del IPA: Evaluación final y propuestas para el quinquenio 2000-2005. CIRAD. Informe de la Cuarta Visita. 21 p.

Bird, J. B. 1948. Pre-ceramic cultures in Chicama and Virú. American Antiquity Vol. XII: 21-28.

Boza Barducci, T; M. Madoo. 1941. Investigaciones acerca del parentesco de las especies peruanas de algodónero *Gossypium raimondii* Uldrich. Ministerio de Fomento, Dirección de Agricultura y Ganadería. Bol. 22:1-29.

Chicama, P. F.; J. Vreeland; V. Rodríguez; C. Seminario; R. Ferreira; M. Chanco; O. Lostanau. 1985. Informe Especial INIPA: Algodón "del país", un cultivo milenarío norteño. 122 p.

Fryxell, P. 1948. The natural history of the cotton tribe. Texas A. & M. University Press. p.172.

Grobman, A. 2003. "Consultoría sobre biotecnología y organismos genéticamente modificados" Programa BID1442/OC_PE. Programa de Desarrollo de Políticas de Comercio Exterior. 28 p.

Hernández, M. 2003. Impacto del ATPDEA sobre la economía rural del Perú: El caso algodón. AGRUM, UNALM. Año 3 (8). 32 p.

Hutchinson, J.B.; R.A. Silow; S.G. Stephens. 1947. The Evolution of *Gossypium* and the differentiation of the cultivated cottons. Oxford University Press. London. IPA. 2001.

Informe Anual del Programa Investigación del Algodón en la Costa Central del Perú. Informe campaña 2000-2001. 42 p.

Korytkowski, C. 1984. El "gusano rosado" de la India (*Pectynophora gossypiella* Saunders, 1843). Servicio de Asistencia Técnica Fitosanitaria. FUNDEAL, Lima, Perú. Boletín Técnico No. 4. 32 p.

Lostanau, R.O. 1985. El algodón "País" en la pre-historia peruana del valle Jequetepeque. En: Algodón "del país" un cultivo milenarío norteño. Informe Especial N° 33. INIPA-CIPA II.

Mason Meiss, L. 1974. Sugerencias para el aprovechamiento de los suelos salinos y de mal drenaje de la costa árida peruana. Ponencia presentada en el II Congreso Nacional de Investigadores Agrícolas (II CONIAP). ONERN.

Morán, C. 2000. Biotecnología e ingeniería genética. Conversatorio UNALM. 12 p.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2004a. La revolución genética tiene un gran potencial pero no es la panacea para los pobres. Sala de Prensa, ONU. 6 p.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2004b. ¿Se ocupa la biotecnología de las necesidades de los pobres?. Sala de Prensa, ONU. 6 p.

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2004c. La revolución verde contra la revolución genética. Sala de Prensa, ONU. 3 p.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2004d. La Biotecnología en acción. Sala de Prensa, ONU. 2 p.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2004e. Zanzar la brecha molecular. Sala de Prensa, ONU. 3 p.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2004f. Declaración de la FAO sobre Biotecnología. Sala de Prensa, ONU. 3 p.
- Sauer, J. 1967. Geographic reconnaissance of seashore vegetation along the Mexican gulf coast. Technical Report. Nº 56. Coastal Studies Institute, Louisiana State University.
- Snow, A.; D.A. Androw; P. Geps; E. Hallerman; A. Power; J. Tiedje; L. Wolfenbarger. 2004. Genetically engineered organisms and the environment: Current status and recommendations. ESA, Public Affairs Office. 41 p.
- Stephens, S.G. 1975. A re-examination of the cotton remains from Huaca Prieta. North Coastal Peru. *American Antiquity* 40:406-419.
- Vreeland, J. M. Jr. 1985. Algodón "del país" un cultivo milenario norteño. Informe Especial Nº. 33 INIPA-CIPA II.

Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales



Caso: Leguminosas de grano

Félix Camarena, Ing. Agr., Ph.D.
Profesor Principal
Universidad Nacional Agraria, La Molina
Av. La Molina s/n, La Molina, Lima Perú.
camafe@lamolina.edu.pe

Contenido	Página
Resumen Ejecutivo	20
1. Introducción	21
2. Importación de soya y sus derivados al Perú	21
3. Descripción de las leguminosas de grano al Perú	24
Frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	24
Frijol Ñuña o Numia (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	27
Pallar (<i>Phaseolus lunatus</i>)	28
Chocho ó Tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>)	29
Frijol de toda la vida (<i>Phaseolus polyanthus</i>)	30
Ahipa (<i>Pachyrhizus tuberosus</i> / <i>Pachyrhizus ahipa</i>)	31
Frijol de los gentiles (<i>Canavalia ensiformis</i>)	32
Soya (<i>Glycine max</i>)	34
Frijol castilla (<i>Vigna unguiculata</i>)	34
Frijol de palo (<i>Cajanus cajan</i>)	35
Frijol loctao (<i>Vigna radiata</i>)	35
Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	36
Lenteja (<i>Lens esculenta</i>)	36
Haba (<i>Vicia faba</i>)	36
Arveja (<i>Pisum sativum</i>)	37
Zarandaja (<i>Lablab purpureus</i>)	38
4. Impacto potencial de variedades transgénicas de leguminosas.	38
5. Referencias bibliográficas	39

Resumen Ejecutivo

En el Perú, las leguminosas de grano se cultivan en alrededor de 200 000 ha entre especies nativas e introducidas. Entre las nativas se tiene al frijol común, frijol la ñuña o numia, pallar, chocho o tarwi, frijol de toda la vida, ahipa y otras. De estas especies las de mayor importancia económica son el frijol común y el pallar; las otras son de importancia social y cultural. Entre las especies introducidas se tiene: soya, frijol castilla, frijol de palo, frijol chino, garbanzo, lenteja, haba, arveja y la zarandaja, todas de importancia económica y social.

El frijol común, el haba y la arveja, en ese orden, son la especies de mayor área sembrada (30 a 50 mil ha). Les siguen las otras especies, entre ellas la soya, con menos de 7 000 ha. El incremento de la importación de soya es ascendente, especialmente de Argentina (en 2003, la importación fue de aprox. 250 000 t), seguida de Estados Unidos, Bolivia y Brasil con mucho menos volumen. Estas importaciones posiblemente incluyen soya transgénica, principalmente tolerante a herbicidas, proveniente de Argentina y Estados Unidos.

En el género *Phaseolus* se incluye 50 especies de las cuales cinco son cultivadas: *P. vulgaris*, *P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. polyanthus* y *P. acutifolius*. En Argentina se ha encontrado a la especie *P. aborigineus*, conocido como el progenitor silvestre del *P. vulgaris* cultivado. Utilizando técnicas estadísticas multivariadas complementado con el análisis de proteína de la semilla y el análisis molecular, se llegó a determinar dos grupos principales de germoplasma: el mesoamericano y el de los Andes sudamericanos con un total de seis razas, siendo tres de mesoamérica: Durango, Jalisco y Mesoamérica y tres de los Andes sudamericanos: Chile, Colombia y Perú. En el caso del frijol común (*P. vulgaris*) que es el de mayor área de cultivo y de mayor producción cuenta con variedades para consumo nacional tales como Canario, Bayo, Caballero, tipo ñuña y numia y las de exportación como la Alubia, Blanco Fénix, Carioca, Jamapa, Dark. El frijol ñuña y numia (*P. vulgaris*) conocido

como popping beans tiene la característica particular del reventado de su grano; su cultivo es en zonas de altitud media de los Andes y en asociación con maíz.

En el Perú se cultiva el pallar (*P. lunatus*) del cultigrupo big lima que es de grano grande y blanco; la zona de mayor producción es el departamento de Ica. Finalmente se viene incrementando la producción del cultigrupo sieva introducido por el Programa de Leguminosas de la Universidad Nacional Agraria, La Molina. Este cultigrupo presenta una mayor área de adaptación a toda la Costa Peruana.

El chocho o tarwi (*L. mutabilis*), el frijol de toda la vida (*P. polianthus*), ahipa (*Pachirhizus tuberosus* y *Pachirhizus ahipa*), el frijol de los gentiles (*Canavalia ensiformis*), son especies de uso local; usados en la alimentación mayormente como grano seco. De las cuatro primeras especies todavía falta investigar sobre la *Canavalia*.

Las especies introducidas tales como: soya (*Glycine max*), frijol castilla (*Vigna unguiculata*), frijol de palo (*Cajanus cajan*), frijol chino (*Vigna radiata*), el garbanzo (*Cicer arietinum*) y la zarandaja (*Lablab purpureus*) se adaptan a la Costa y Selva (zonas tropicales) y los cultivares de haba (*Vicia faba*), arveja (*Pisum sativum*) y lenteja (*Lens esculenta*) se cultivan en zonas altoandinas. Se viene incrementando el área de cultivo del frijol castilla y del frijol palo por los volúmenes creciente de exportación. En el Perú, no se ha reportado el cultivo de plantas transgénicas de las especies nativas cultivadas. En el caso de la soya, casi en su totalidad se importa de Argentina, para la extracción del aceite comestible y la obtención de la torta para la alimentación animal. El área cultivada de esta especie apenas llega a 3 000 ha en la costa norte y en la selva, todo es para uso doméstico. Si se introduce la soya transgénica para semilla, podría ocurrir cierto cruzamiento con la soya local, sin embargo, esta especie es autógama, reduciéndose al mínimo la posibilidad de cruzamiento.

1. Introducción

En el presente documento se analiza la diversidad y la distribución de las leguminosas de grano alimenticias nativas del Perú, las especies importantes y sus parientes silvestres desde el punto de vista económico, social y cultural.

Se analiza los efectos potenciales de la introducción de cultivos de leguminosas de grano transgénicos sobre la integridad de éstos valiosos recursos genéticos nativos. Se analiza el impacto de la diversidad del germoplasma nativo único y exclusivo en el mundo, adaptado a las condiciones locales y con características muy valiosas de adaptación a las condiciones adversas.

Asimismo, se analiza la magnitud e impacto de los cultivos genéticamente modificados y sus productos comerciales, con especial énfasis en la soya. La soya es considerada como la leguminosa que ha recibido el mayor aporte de los avances científicos y tecnológicos, por su importancia económica que radica en la calidad de su aceite y su pasta proteica, que son industrializados en otros productos de valor agregado. La soya se importa cada vez más, sin tomar en cuenta el impacto que podría ocasionar en la diversidad de las especies nativas locales, que no han sido genéticamente manipuladas. El Perú, actualmente importa soya desde Argentina, Estados Unidos y Bolivia, tanto en granos como en aceite en bruto. Los dos primeros países mencionados, son los mayores productores de soya transgénica en el mundo.

Se espera que con el presente documento se pueda contribuir aclarar este tema controversial con el fin de tomar acciones futuras con relación a los organismos genéticamente modificados en la diversidad de nuestras leguminosas.

2. Importación de soya y sus derivados al Perú

En el Perú, se cultivan aproximadamente 200 000 ha de leguminosas de grano; no hay cultivares transgénicos. Se cultivan: frijol común, pallar, frijol castilla, entre otros. La producción nacional y su exportación son muy limitadas. La soya que se importa de Argentina, Estados Unidos y de otros países, en sus diferentes formas de consumo, posiblemente provienen de fuentes transgénicas en diferente proporción (Cuadros 1a y 1b).

A continuación, se presenta información sobre los volúmenes de importación de soya. También se muestra el área cultivada y la producción nacional de las principales leguminosas de grano en el Perú.

En la Figura 1 se observa, que tanto el frijol común como el haba en grano seco, son las especies con mayor área sembrada, la que fluctúa entre 30 000 y 50 000 ha en los últimos 10 años, constituyéndose así en los principales cultivos; le siguen la arveja (20 000 a 30 000 ha). Finalmente, la soya, el pallar, la zarandaja, lenteja, frijol de palo y frijol castilla, son las leguminosas con menos de 7 000 ha.

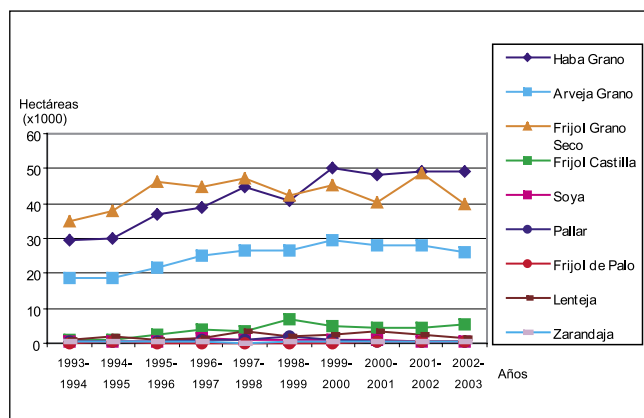


Figura 1. Superficie (ha) sembrada de las principales leguminosas desde 1993 hasta 2003.

En la Figura 2 se observa que el fríjol común es el cultivo más importante con una producción media de 60 000 t hasta el 2002. Luego la producción de las leguminosas se ha reducido drásticamente llegándose a producir menos de 10 000 t en el 2003, mientras que la importación se va incrementando.

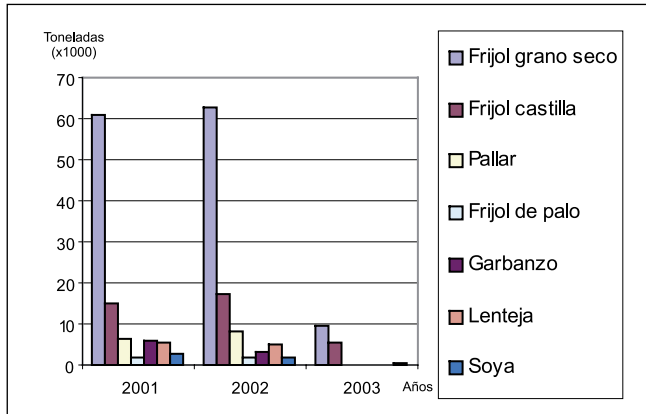


Figura 2. Producción (t) de las principales leguminosas en el Perú en el periodo 2001-2003. Fuente: MINAG-OIA.

En la Figura 3, se observa el incremento de la importación de soya en sus diferentes formas, llegando al 2003 a 268 513 t, siendo Argentina el mayor proveedor.

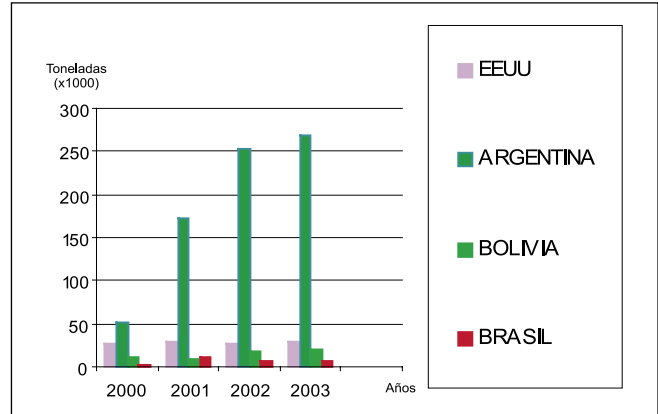


Figura 3. Importación de soya y derivados en el periodo 2000 al 2003. Fuente MINAG – OIA.

Cuadro 1a. Instituciones de Argentina (1991-99) dedicadas a la modificación genética de la soya

INSTITUCIONES	FENOTIPOS DE SOYA
NIDERA S.A.	Tolerante al herbicida glifosato, alto nivel de lisina. Alto nivel de ácido oleico graso. Resistente a lepidópteros. Tolerante a amonio glufosinato.
Monsanto Arg. SAIC	Tolerante al herbicida glifosato. Resistente a Lepidópteros. Alta capacidad de asimilación de nitrógeno (plásmido pMON 37502). Calidad nutricional mejorada para alimentación animal. Alta capacidad de rendimiento para alimentación animal. Alta capacidad de rendimiento. Composición aceitera mejorada. Alto contenido de lisina.
Dekalb Arg. S.A., Morgan, Northrup King y Pioneer	Tolerante al herbicida glicofosfato
Asociados Don Mario	Tolerante a amonio glufosinato
AgrEvo	Tolerante a amonio glufosinato
INTA	Tolerante a amonio glufosinato

Cuadro 1b. Instituciones de Estados Unidos (1993-2003) dedicadas a la modificación genética de la soya

INSTITUCIONES	FENOTIPOS DE SOYA
AgriPro	Tolerante a phosphinothricin, isoxazole y a bromoxynil y Resistente a isoxaflutole
Bayer CropScience	Resistente a Lepidóptera y tolerante a glifosato e isoxazole.
Ciba-Geigy	Tolerante a glifosato y phosphinothricin. Incrementos de niveles de lisina. Proteína de calidad alterada.
Delta and Pine Land	Tolerante a glifosato. Aceite de calidad alterado.
Du Pont	Aceite de calidad alterado. Proteína de calidad alterada. Marcador visual de MG – Metabolismo de carbohidratos alterado.
Iowa State University	Resistencia a VR - SbMV. Resistencia a <i>Phytophthora</i> . Resistencia a VR - SMV. Proteína alterada.
M.S. Technologies, LLC	Resistente a isoxaflutole. Resistente a Lepidóptera. Tolerante a Isoxazole.
Monsanto	Espectro de aceite alterado. Composición de la semilla alterado. Tolerancia al frío. Tolerancia a la sequía. Tolerancia a la sal incrementada. Rendimiento incrementado. Resistencia a Lepidoptera. Tolerante a glifosato, Metabolismo de ácidos grasos alterado, Incremento del nivel de lisina. Resistencia a <i>Sclerotinia</i> . Desarrollo de la planta alterado. Resistente a Moho blanco. Incremento de Stanol. Tasa de crecimiento alterado. Enzimas industriales producidas. Producción de polímeros.
Pioneer	Incremento del almacenamiento de metionina en la semilla. Tolerante a glifosato. Tolerante a phosphinothricin. Madurez alterada. Aumento de rendimiento. Resistente al Moho de la espiga. Tolerante a cianamida. Proteína de calidad producida. Alimentación de calidad animal mejorada. Degradación de fumonisin., Procesamiento de granos mejorado., Esterilidad masculina nuclear. Resistencia a kanamicina. Susceptibilidad a Hongos. Metabolismo secundario incrementado. Resistencia a Lepidóptera. Procesamiento de granos mejorado. Resistencia a <i>Fusarium</i> . Resistencia a <i>Sclerotinia</i> . Resistencia a VR - SbMV. Tallos largos, tallos cortos.
Stine Biotechnology	Resistencia a <i>Sclerotinia</i> . Tolerante a imidazolinone. Tolerancia a Phosphinothricin.
U. of Illinois	Proteína alterada. Tolerancia a Phosphinothricin. Marcador visual de polen. Resistencia a <i>Fusarium</i> . Resistencia a BPMV.
U. of Kentucky	Composición de aminoácidos alterado. Tolerancia a Dicamba. Resistencia a BPMV t. Tolerancia a 2,4-D. Espectro de grasas alterado. Almacenamiento de metionina en la semilla. Composición de aceites alterado. Alteración de la composición de aminoácidos. Metabolismo de ácidos grasos alterados. Marcadores visuales.
U. of Nebraska	Almacenamiento de proteínas alterada. Espectro de aceites alterado. Tolerancia a Dicamba. Tolerancia a cianamida. Resistencia a <i>Sclerotinia</i> . Tolerancia a phosphinothricin. Ácidos grasos alterados. Ácido oleico alterado en la semilla.
Upjohn	Tolerancia a Phosphinothricin. Tolerancia a glifosato, Reducción de Phytate.

3. Descripción de las leguminosas de grano en el Perú

En el Cuadro 2 y la Fig. 18, se presentan las principales leguminosas de grano cultivadas en el Perú, tanto nativas como introducidas, mencionando su importancia económica, social y cultural.

Cuadro 2. Leguminosas de grano cultivadas y su importancia económica, social y cultural en el Perú

Origen	Leguminosas		Importancia (*)		
	Nombre Común	Nombre Científico	Económica	Social	Cultural
Nativo	Fríjol Común	<i>Phaseolus vulgaris</i>	x	x	x
	Ñuña	<i>Phaseolus vulgaris</i>		x	x
	Pallar	<i>Phaseolus lunatus</i>	x	x	x
	Chocho o Tarwi	<i>Lupinus mutabilis</i>		x	x
	Fríjol de toda la vida	<i>Phaseolus polyanthus</i>			x
	Ahipa o Ajipa	<i>Pachyrhizus tuberosus</i> <i>Pachyrhizus ahipa</i>			x
Introducido	Fríjol de los Gentiles	<i>Canavalia ensiformis</i>			x
	Soya	<i>Glycine max</i>	x		
	Fríjol Castilla	<i>Vigna unguiculata</i>	x	x	
	Fríjol de Palo	<i>Cajanus cajan</i>	x	x	
	Fríjol Loctao	<i>Vigna radiata</i>	x	x	
	Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i>	x	x	
	Lenteja	<i>Lens esculenta</i>	x	x	
	Haba	<i>Vicia faba</i>	x	x	
	Arveja	<i>Pisum sativum</i>	x	x	
Zarandaja	<i>Lablab purpureus</i>		x		

Importancia Económica : Basado en datos de exportación (MINAG-OIA, 2004). (*) x = Es importante.
 Importancia Social : Basado en consumo nacional (MINAG)
 Area total cultivada en el Perú : 200 000 ha aproximadamente.

Fríjol común (*Phaseolus vulgaris*), Fig. 4.

Sinonimia. Frejol, poroto.

Requerimiento clima/suelo. Bien adaptado entre los 18 °C a 28 °C. Preferentemente en suelos francos, profundos, fértiles, de buen drenaje y sin problemas de salinidad.

Zonas de producción. Costa y valles interandinos abrigados hasta los 1500 msnm.

Epoca de siembra. Costa norte: marzo a mayo, julio a septiembre. Costa central: febrero a mayo, agosto a octubre. Costa sur: abril a julio / valles interandinos: marzo a mayo.

Diversidad genética. En el género *Phaseolus* se incluyen 50 especies, de las cuales 5 son cultivadas: *P. vulgaris*, *P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. polyanthus* y *P. acutifolius* (Cuadro 3).

Burkart (1952), ha encontrado en Argentina a *P. aborihgineus*, progenitor silvestre de *P. vulgaris*.



Figura 4. Izq.: Granos de frijol común de diferentes colores aptos para exportación. Der.: Vainas y plantas de frijol común en etapa de llenado de grano.

Principales variedades y características.

Cuadro 3. Principales variedades y algunas características del frijol común (*Phaseolus vulgaris*)

Uso	Variedad	Hábito de Crecimiento (DDS)**	Días a Floración (DDS)**	Días a Cosecha (DDS)**
Consumo Nacional	Larán mejorado	II	45	120
	Caballero Peruano	III	40	110
	Q'osqo Poroto*	IV	80	140
	UNAGEM 2*	IV	80	150
	Cristal Blanco Fénix	III	38	100
	Cambridge Countess	III	38	110
Exportación	Alubia	I	35	100
	WAF 78	I	36	100
	BLANKID	III	38	110
	DARK 54	I	38	90
	Royal Red	I	39	90
	RAA 15	I	35	95
	Pinto can	III	38	95
	Olathe	III	39	100
Carioca	III	40	100	
	Jamapa	II	45	100

I : Crecimiento arbustivo determinado

II : Crecimiento arbustivo indeterminado con guías cortas

III: Crecimiento semipostrado indeterminado con guías medianas

IV: Crecimiento indeterminado tipo trepador

* Para consumo nacional

** DDS= Días después de la siembra

La utilización de métodos numéricos por Marechal et al., (1978) y luego confirmado mediante estudios químicos y moleculares por Gepts (1990), establecieron las distancias taxonómicas entre las especies cultivadas de este género, permitiendo observar dos polos distintos. Un polo constituido por el grupo *P. vulgaris*-*P. coccineus*, mientras que en otro polo

bastante alejado del primero, se encuentra *P. lunatus*. *P. acutifolius* ocupa un lugar intermedio, pero es más próximo a *P. vulgaris* que a *P. lunatus*. Es posible entonces determinar los acervos genéticos primario, secundario y terciario, de las especies cultivadas del género *Phaseolus*, para su utilización en mejoramiento genético (Cuadro 4).

Cuadro 4. Pul genético primario, secundario y terciario de las especies cultivadas del género *Phaseolus*

Pool primario	Pool secundario	Pool terciario
<i>P. vulgaris</i>	<i>P. coccineus</i>	<i>P. acutifolius</i> , <i>P. filiformis</i> , <i>P. ritensis</i>
<i>P. coccineus</i>	<i>P. vulgaris</i>	<i>P. acutifolius</i>
<i>P. acutifolius</i>		<i>P. vulgaris</i> , <i>P. coccineus</i>
<i>P. lunatus</i>		<i>P. ritensis</i> , <i>P. metcalfei</i> , <i>P. polystachus</i>

Fuente: Baudoin y Marechal, 1990.

Distribución geográfica (Fig. 5): Análisis estadísticos multivariados, establecen la existencia de dos grupos principales de germoplasma: El de Mesoamérica y el de los Andes sudamericanos. Estos pueden ser divididos en seis razas: tres razas se originaron en Mesoamérica (Durango, Jalisco y Mesoamérica) y, tres en los Andes sudamericanos: Chile, Colombia y Perú (Singh et al., 1991).



Figura 5. Distribución geográfica del frijol común silvestre *Phaseolus vulgaris* L. var. *aborigenus* (Burk.) Baudet.

Fríjol Ñuña o Numia (*Phaseolus vulgaris*). Fig. 6.

Sinonimia. Numia, q'osco poroto, chec'che local, blanco local y ángel poroto.



Figura 6. Planta de fríjol ñuña (popping beans) de tipo indeterminado y largo periodo vegetativo, razón por la que se observan vainas en estado de llenado y también en estado de flor.

Requerimiento clima/suelo. Se cultiva en altitudes de 1800 a 3000 msnm. Bien adaptado alrededor de los 25 °C, preferentemente en suelos francos, fértiles, de buen drenaje y sin problemas de salinidad.

Zonas de producción. Sierra y ceja de selva. Su principal centro de producción es Citacocho, distrito al sur de Cajamarca, pero se cultiva a lo largo de la zona oriental de los Andes.

Características morfológicas. Dentro de las principales coloraciones encontramos: blanco, amarillo, rojo, azul, gris, jaspeado, pinto negro y blanco, pinto rojo y blanco y otros. La morfología de la planta de ñuña, es idéntica a la del fríjol común. Es un tipo indeterminado de dos a tres metros de altura, produce un gran número de vainas auto fertilizadas. Con semillas casi esféricas (ocasionalmente ovals). Se cultiva para autoconsumo y se consume en forma tostada.

Epoca de Siembra. Tanto en la sierra como en ceja de selva: septiembre a noviembre.

Distribución geográfica (Fig. 7):



Figura 7. Distribución geográfica de la diversidad genética del fríjol ñuña o numia (*Phaseolus vulgaris*).

Pallar (*Phaseolus lunatus*). Fig. 8.

Sinonimia. Pallar, fríjol lima, haba de lima, lima bean, haricot de lima.



Figura 8. Izq.: Planta de pallar del cultigrupo sieva de periodo vegetativo precoz y de crecimiento determinado. Der.: Granos de pallar del cultigrupo a) big lima, b) sieva y c) papa.

Requerimiento clima/suelo. Bien adaptado a climas con temperaturas desde 18 °C a 25 °C. Con poca resistencia a temperaturas frías. Se adapta bien a diferentes tipos de suelos, pero con preferencia a suelos francos de diferentes tipos, sin problemas de salinidad y con buena fertilización.

Zonas de producción. Costa central y norte.

Varietades y características principales (Cuadro 5):

Cuadro 5. Principales variedades y algunas características del pallar (*Phaseolus lunatus*)

Varietad	Hábito de Crecimiento	Días a Floración (DDS)*	Días a Cosecha (DDS)*
Ica 1548-71	III	130	200
Iqueño precoz	I	50	130
Sol de Ica	I	50	130
LUN 1002	I	52	130
UC 92	I	50	130

I : Crecimiento arbustivo determinado sin guías

III : Crecimiento semi-postrado indeterminado con guías largas

* DDS : Días después de la siembra

Epoca de siembra. Costa central: enero a mayo / costa norte: febrero a mayo (variedades precoces).

sido rápida. En el Perú, el departamento de San Martín, es una de las pocas zonas donde se puede realizar colectas para fines de colección de germoplasma.

Diversidad genética (Fig. 9). La variabilidad intra- específica de *P. lunatus* es importante. Existen numerosos bancos de germoplasma, principalmente en Estados Unidos (USDA), México (INIFAP), Colombia (CIAT). Se ha recolectado germoplasma para rescatar material tradicional cultivado en varias regiones del trópico americano, donde la desaparición de variedades ha

Mackie (1943), afirma que el centro de origen del pallar es América Central, de donde se dispersa hacia tres vías de diversificación:

- (i) La vía Hopi, que corresponde al cultigrupo Sieva (Granos medianos y aplanados, de climas fríos, al sudeste de Estados Unidos de Norteamérica.

- (ii) La vía Carib, que corresponde al cultigrupo Papa (Granos pequeños y globosos, de zonas calcárea y seca, desde Yucatán a las Antillas).
- (iii) La vía Inca, que corresponde al cultigrupo Big Lima (Granos muy grandes y aplanados); por esta vía desciende hacia el Sur a través de América Central por Colombia, Ecuador hasta Perú.

McBride (1945), encontró al Sudoeste de Guatemala al pallar silvestre de grano grande, aplanado y coloreado. Mackie (1943), sugiere que dicha forma silvestre podría ser el origen del tipo Big Lima. Estas formas son las que llegan a las regiones áridas del Perú, habiéndose adaptado a un medio muy específico tal como, la costa de Ica al sur de Lima.

Baudet (1977), basado en datos arqueológicos y cronológicos, propone a *P. lunatus* var. *silvestre*, para las formas silvestres y, *P. lunatus* var. *lunatus* para las formas cultivadas. A partir de ambas variedades, se constituye la variabilidad de la especie.

Distribución geográfica:



Figura 9. Distribución geográfica de la diversidad genética de los pallares nativos (*Phaseolus lunatus*).

Chocho ó Tarwi (*Lupinus mutabilis*). Fig. 10.

Sinonimia. Tarhui, tauri, chochito, chuchos, altramuza.



Figura 10. Planta con vainas bastante cargadas de chocho o tarwi; colección de la localidad Huánuco.

Requerimiento clima/suelo. Se encuentran a una altitud de 1500–3800 msnm. Buena tolerancia a suelos ácidos. Prefiere terrenos pobres, con poca competencia de malezas y tolera más la sequía que el exceso de humedad del suelo.

Zonas de Producción. Sierra.

Origen y diversidad genética (Fig. 11). Es una especie desconocida fuera de Sudamérica. Se cultiva entre 1800 a 4000 msnm. Entre las numerosas especies del género *Lupinus* que existen en los Andes, la única domesticada es *L. mutabilis*; más aún, es la única especie del género cultivada en América desde épocas precolombinas, desde hace aproximadamente 1 500 años. En base a la gran variabilidad genética que presenta en Ecuador, Perú y Bolivia, es indudable que es esta región su centro de origen; dicha hipótesis se refuerza con el hallazgo de material silvestre de la especie, en nuestro país. Con aproximadamente 63 taxas. Presenta diferencias principalmente de morfología de la planta, adaptación a suelos, precipitación, temperatura y altura; asimismo en precocidad, contenido de proteínas (hasta 50 % del peso de grano), aceite (de 14 a 24 % del peso de grano), alcaloides (alto contenido) y en rendimiento y tolerancia a enfermedades. El color del grano, planta y flor es variable. Las variedades y cultivares conocidos son numerosas; en el Perú: 'Andenes 80', 'Cusco', 'K'ayra', 'Carlos Ochoa',

'Yunguyo', 'Altagracia', 'H6', 'SCG-9', 'SCG-25', 'SLP-1', 'SLP-2', 'SLP-3', 'SLP-4', 'SLP-5'. Su cultivo se mantiene desde Ecuador hasta Chile y el norte de Argentina bajo distintos sistemas de producción. Fue desplazada por la introducción de especies foráneas, y a causa de dicha marginación, el chocho ha sido una de las especies nativas más afectadas.

Distribución geográfica (Fig. 11):



Figura 11. Distribución geográfica de la diversidad genética de chocho o tarwi nativos (*Lupinus mutabilis*).

Frijol de toda la vida (*Phaseolus polyanthus*). Fig. 12.

Sinonimia. Fijol jaeno, conchón, chota, frijol forastero.

Origen y distribución. *Phaseolus polyanthus*, es un híbrido natural resultante del cruce entre *Phaseolus coccineus* y *Phaseolus vulgaris*. Se encuentra distribuido en Perú, Ecuador, Colombia, Costa Rica, Guatemala y México.

Diversidad genética (Fig. 13). En nuestro país, su distribución geográfica abarca las regiones de Piura, Cajamarca, Amazonas (entre los 1800 a 2800 msnm, en zonas húmedas). Taxón de reciente reconocimiento como consecuencia de la identificación de sus formas ancestrales. Se considera que esta especie es la menos evolucionada entre las especies cultivadas de *Phaseolus*, por lo que presentaría un mayor potencial de evolución futura.

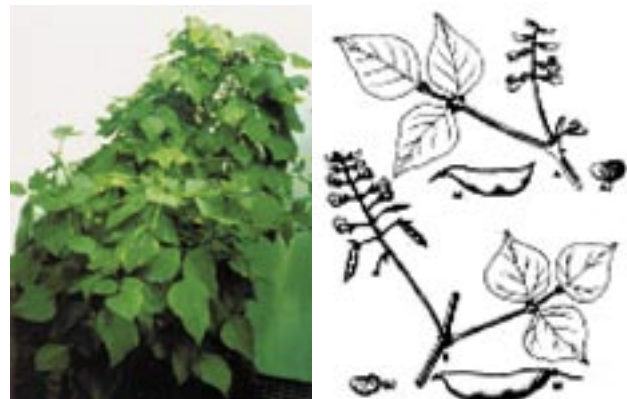


Figura 12. Izq.: Las plantas de "frijol de toda la vida" son de largo periodo vegetativo y de tipo indeterminado al que necesariamente se le debe cultivar con otra planta leñosa como soporte. Der.: En la misma planta: botón floral, flores e inicio de formación de vainas en una misma inflorescencia y también vainas llenas.

Distribución geográfica:



Figura 13. Distribución geográfica de la diversidad genética del “fríjol de toda la vida” nativos (*Phaseolus polyanthus*).

Ahipa (*Pachyrhizus tuberosus* / *Pachyrhizus ahipa*).
Fig. 14.

Sinonimia. Ajipa, ashipa, chuín, jíquima o jacatupé, Yaspo, asipa, bvillu, huitoto.

Particularidades y distribución geográfica. La ahipa, conocida como “la leguminosa de los Andes” (Fig. 15). Esta forma de especie está desapareciendo rápidamente debido a los profundos cambios asociados a la transformación que está sucediendo en las comunidades de la Amazonía. América Latina es la región donde residen los principales recursos genéticos del género (land races). El Perú cuenta con dos especies: (i) *P. tuberosus*, con especies cultivadas y silvestres con una distribución en Ecuador y Perú (al oeste de la Amazonía, de 0 a 1500 msnm en los departamentos de Piura, Amazonas, Loreto, San Martín y Cusco) y, (ii) *P. ahipa* que se encuentra sólo bajo forma cultivada estando su distribución en Perú y Bolivia (de 1500 a 2500 msnm). De ambas especies, se consume tanto los tubérculos como los granos.



Figura 14. Izq.: Plantas de *Pachyrhizus tuberosus* caracterizadas por sus raíces bastantes carnosas y también sus vainas con granos. Der.: Un mercado donde se comercializa los granos del *Pachyrhizus*, además de otros productos.

Distribución geográfica (Fig. 15):



Figura 15. Distribución geográfica de *Pachyrhizus tuberosus* y *P. ahipa*.



Figura 16. Izq.: Planta de "fríjol de los gentiles" con vainas grandes. Der.: Granos blancos y grandes con hilum largo y oscuro.

Fríjol de los Gentiles (*Canavalia ensiformis*). Fig. 16.

Sinonimia. Jack bean, horse bean, gotani bean, feve bean.

Origen y características agronómicas. Probablemente originario de la zona tropical de la región Andina. Se cultiva en áreas marginales hasta los 1800 msnm, particularmente en el trópico. El aspecto limitante para su consumo como grano, son sus inhibidores de proteínas que antes de su consumo deben ser eliminados. El contenido de proteína de la semilla es de 18-30 %, con un perfil de aminoácidos muy similar al de la soya.

Distribución geográfica (Fig. 17):



Figura 17. Distribución geográfica de la diversidad genética de las Canavalias nativas (*Canavalia ensiformis*).

Diversidad genética. Se conoce a la especie *Canavalia gladiata*, que es ampliamente cultivada en el trópico húmedo de África y Asia, especialmente en la India. Existen dos otras especies de *Canavalia* que han sido cultivadas desde tiempos remotos, pero que están cercana a su extinción. En nuestro país, aún se encuentra la *Canavalia plagioperma*, pero *C. regalis* (África) probablemente ya se extinguió.



Figura 19. Izq.: Vainas y granos de soya. Der.: Granos con hilio alargado y oscuro.

Soya (*Glycine max*) Fig. 19.

Sinonimia. Soja, frijol soja.

Requerimiento clima/suelo. Se adapta a una amplia gama de temperaturas. Sus condiciones medias son de 10 °C a 30 °C. Prosperan en diferentes tipos de suelo, obteniéndose mejores resultados en suelos francos, profundos, fértiles y con buen drenaje.

Zonas de producción. Costa y selva

Epoca de siembra. Costa: diciembre a marzo / selva: abril a diciembre.

Origen y diversidad genética. Es originaria del este de Asia. Se cree que el antecesor de la soya cultivada, es la especie *Glycine ussuriensis* que crece en estado silvestre en Japón, Manchuria y Corea. *Glycine glabris*, es intermedia entre *G. max* y *G. ussuriensis*. Las tres especies tienen un número cromosómico de $2n=40$ y son fértiles entre ellas.

Variedades y características principales:

Cuadro 6: Principales variedades y algunas características de la soya (*Glycine max*)

Variedad	Rendimiento (kg/ha)	Maduración (días) (DDS) *	Altura de Planta (cm)
Pelicano	3020	112	83
Mandarín S4-Ica	2970	118	75
Nacional	2900	123	90
Júpiter	2850	122	80
Improved Pelican	2670	108	74

* DDS : Días después de la siembra

Fríjol Castilla (*Vigna unguiculata*)

Sinonimia. Caupi, chileno. Moquegua, boca negra, frijol Chiclayo

Requerimiento clima/suelo. Bien adaptado entre los 20 °C y 35 °C. Buena tolerancia a déficit de agua.

Zonas de producción. Costa y selva.

Epoca de siembra: Costa norte: julio a mayo / Costa central: septiembre a febrero / Selva: marzo a junio

Variedades y características principales (Cuadro 7):

Cuadro 7. Principales variedades y algunas características del frijol castilla (*Vigna unguiculata*)

Variedad	Hábito de Crecimiento	Días a Floración	Días a Cosecha
		(DDS) *	(DDS) *
Vaina Blanca	II	45	90
La Molina	III	48	105
CB 88	II	42	95

II :Crecimiento arbustivo indeterminado con guías cortas

III:Crecimiento semi-postrado indeterminado con guías medianas

* DDS: Días después de la siembra

Fríjol de Palo (*Cajanus cajan*)

Sinonimia. Gandul, chapapollo, chivatito, lenteja de palo, pushpo poroto.

Requerimiento clima/suelo. Generalmente bien adaptado a climas con temperaturas entre 18 °C y 30 °C. Buena adaptación a diferentes tipos de suelo, pero preferentemente en suelos francos, profundos, fértiles y con buen drenaje.

Zonas de producción. Costa y selva.

Variedades y características principales (Cuadro 8):

Epoca de siembra. Para variedades tardías. Costa norte: diciembre a julio / costa central: noviembre a marzo / selva alta: diciembre a mayo.

Fríjol Loctao (*Vigna radiata*)

Sinonimia. Fríjol chino.

Requerimiento clima/suelo. Bien adaptado a climas con temperaturas desde 20 °C a 30 °C. Con poca resistencia a temperaturas frías. Prefiere suelos francos sin problemas de salinidad.

Zonas de producción. Costa norte y selva alta.

Variedades y características principales (Cuadro 9):

Epoca de siembra: Costa: septiembre a marzo / selva: marzo a mayo.

Cuadro 8. Principales variedades y algunas características del frijol de palo (*Cajanus cajan*)

Variedad	Hábito de Crecimiento	Días a Floración (DDS) **	Días a Cosecha (DDS)	
			verde	seco
INIAA-Sipán	II	100	150	200
IS 10	II	100	150	200
GUAN GLAS	II	120	180	240
PROMPEX 2000*	I	50	90	120

I :Precoz de crecimiento determinado

II :Semi-tardío de crecimiento indeterminado

* Variedad de porte bajo, recomendada para zonas bajo riego

** DDS: Días después de la siembra

Cuadro 9. Principales variedades y algunas características del frijol loctao (*Vigna radiata*)

Variedad	Hábito de Crecimiento	Días a Floración (DDS) *	Días a Cosecha (DDS) *
Sel. Vista Florida	II	35	100
V 2272	I	30	90
Motupe	I	35	90

I : Crecimiento arbustivo determinado sin guías

II : Crecimiento arbustivo indeterminado con guías medianas

* DDS: Días después de la siembra

Garbanzo (*Cicer arietinum*)

Sinonimia. Garbanzo.

Requerimiento clima/suelo: Bien adaptado a climas con temperaturas frías moderadas entre 15 °C a 25 °C. Prefiere suelos francos, sin problemas de salinidad.

Zonas de producción. Costa norte y central.

Variedades y características principales (Cuadro 10).

Epoca de Siembra: Costa norte: marzo a mayo / costa central: marzo a abril.

Lenteja (*Lens esculenta*)

Sinonimia. Lentijita, Idaho, Oregón,

Requerimiento clima/suelo. Es de clima templado a moderadamente frío, entre temperaturas de 15 °C a

25 °C las plantas de lenteja presentan un crecimiento óptimo. La temperatura no debe exceder de 22 °C y no ser menor de 7 °C.

Zonas de producción. La mejor época de siembra se presenta en los meses de enero y marzo para Cajamarca y La Libertad si las plantas tienen un crecimiento erecto. En otras zonas se recomienda sembrar entre los meses de octubre, noviembre o diciembre, cuando se inicia las lluvias.

Haba (*Vicia faba*)

Sinonimia. Haba.

Requerimiento clima/suelo. Es un cultivo que tiene un amplio rango de adaptación, desde los 100 msnm hasta los 3800 msnm en zonas andinas. El haba para su mejor desarrollo requiere de un clima moderadamente frío y seco; sin embargo, se ha adaptado a todas las regiones templadas y húmedas. Tolerancia cambios bruscos de temperatura y es poco sensible a las heladas pero susceptible cuando ocurre en plena

Cuadro 10. Principales variedades y algunas características del garbanzo (*Cicer arietinum*)

Variedad	Hábito de Crecimiento	Días a Floración (DDS) *	Días a Cosecha (DDS) *
Culiacancito-INIA	III	55	160
FLIP	III	58	140

III : Semi-tardío de crecimiento indeterminado

* DDS: Días después de siembra

floración. Soporta hasta temperaturas de 4 °C. Así mismo requiere como mínimo 6 °C para germinar, 10 °C para florear y 16 °C para fructificar. El haba puede cultivarse en diferentes tipos de suelos, pero es conveniente sembrarlo en suelos sueltos y ricos en materia orgánica, de textura franco arenosa y rico

en contenido de calcio y fósforo. Prospera bien en pH 6,5 a 8,0 y soporta suelos alcalinos.

Zonas de producción. Costa y sierra.

Variedades y características principales (Cuadro 11):

Cuadro 11: Principales variedades y algunas características del haba (*Vicia faba*)

Variedad	Hábito de Crecimiento	Periodo vegetativo (DDS) *	Días a Cosecha (DDS) *
Amarilla molinera	I	7 meses	210
Reina blanca	I	5,5 - 6 meses	165
Sincos	I	5,5 - 6 meses	165

I : Crecimiento arbustivo determinado

* DDS: Días después de siembra

Epoca de siembra. Variedades tardías: septiembre a octubre / Precoces: noviembre.

Arveja (*Pisum sativum*)

Sinonimia. Arverja.

Requerimiento clima/suelo. Resistente al frío, pero con preferencia a climas templado-caliente y húme-

do, con temperaturas entre los 15 °C a 18 °C. Con buena adaptación a diferentes tipos de suelo, con preferencia a suelos franco arenoso y arcilloso, profundos, bien drenados, provistos de caliza y abundante materia orgánica.

Zonas de producción. Costa - sierra

Variedades y características principales (Cuadro 12):

Cuadro 12. Principales variedades y algunas características de la Arveja (*Pisum sativum*)

Variedad	Hábito de Crecimiento	Precocidad	Promedio de Rendimiento en verde (t/ha)
PROTOR	I	Precoz	2,0
EMINENT	I	Precoz	2,0
UACEN1	I	Semi-Precoz	4,0
UTRILLO	II	Semi-Tardío	4,0
REMATE	II	Semi-Tardío	3,5
RONDO	II	Semi-Tardío	3,0
ALDERMAN	III	Tardío	3,5
BLANCO CHURCAMP	III	Tardío	2,0

I : Arbustivo determinado

II : Arbustivo indeterminado con guías cortas

III: Semi-postrado indeterminado con guías medianas

Epoca de Siembra. Costa: abril a mayo / sierra: septiembre a noviembre.

Zarandaja (*Lablab purpureus*)

Sinonimia. Lenteja bocona, cancate, chileno, chile.

Requerimiento clima/suelo. Para resultados óptimos

temperaturas entre 18 °C a 30 °C. Buena adaptación a diferentes tipos de suelos, con preferencia a suelos con buen drenaje, distintos tipos de francos y fértiles.

Zonas de producción. Costa norte y valles interandinos aledaños a la costa (hasta 1500 m de altitud)

Variedades y características principales (Cuadro 13):

Cuadro 13. Principales variedades y algunas características de la zarandaja (*Lablab purpureus*)

Variedad	Hábito de Crecimiento	Días a Floración (DDS) *	Días a Cosecha (DDS) *
ZAR-PERUANO	III	60	120-160

III: Crecimiento semi-postrado indeterminado con guías largas.

* DDS = Días después de la siembra

Epoca de Siembra. Costa norte: febrero a agosto / valles interandinos: marzo a abril.

4. Impacto potencial de variedades transgénicas de Leguminosas

En el Perú, actualmente no se cultivan variedades transgénicas de leguminosas. La soya procedente de Argentina y Estados Unidos, países que cultivan variedades transgénicas, entra al Perú en forma de grano y aceite en bruto y a partir de éstos, las industrias los transforman en diferentes productos. Por no ser nuestro país, centro de origen ni diversidad, se considera poco probable que la soya transgénica pueda de forma alguna tener efecto sobre la soya que se cultiva en el Perú, que es cada vez menos frecuente por ser un cultivo principalmente de importación. La soya en el Perú ocupa aproximadamente 3 000 ha y es cultivada por pequeños productores. Se encuentra principalmente en Tumbes y en el trópico bajo en general. Si bien éstos tienen algunos genes de adaptación favorables a las condiciones en que se cultivan, no habría alta posibilidad de cruzamiento debido a que son plantas autógamas y - como ya se mencionó - el Perú no es centro de origen ni de diversidad. Sin

embargo, además del posible impacto genético se debe considerar los impactos potenciales sobre el medio ambiente y los efectos de desplazamiento de los cultivos.

Un centro de diversidad es una zona geográfica donde hay una relación particular entre las plantas cultivadas y sus parientes silvestres. Se designa también a la región de origen de un cultivo, así como a la región en que fue inicialmente cultivada y mejorada y donde existieron variedades diferentes. Esto constituye un importante reservorio de material genético que permite la conservación de múltiples medios de lucha contra los ataques constantes de insectos y plantas competitivas. Una gran parte de los centros de diversidad se encuentran en los países en desarrollo.

Una vez liberadas las plantas transgénicas podrían ser confinadas a algunos ambientes, mediante la separación eco-geográfica y/o mecanismos biológicos/genéticos de confinamiento reproductivo, como la esterilidad masculina. El transporte de polen constituye la vía principal de transmisión de genes en el ambiente. Una preocupación es la posibilidad que ciertas variedades de plantas sinpátricas adquieran el transgén y este les confiera competitividad en el

ambiente, lo cual pueden dar ventajas selectivas. Sin embargo, la transmisión de genes sólo es posible en presencia de plantas compatibles. Dichos mecanismos se dan aún en los cultivos de leguminosas, a pesar de su carácter autógamo.

Nuestro análisis entonces, estaría centrado en cultivos nativos tales como el frijol común y ñuña, pallar, chocho, frijol de toda la vida, ahipa y frijol de los gentiles, especies que deben ser estudiadas en relación a la introducción de cultivares transgénicos y su efecto potencial sobre la diversidad del germoplasma nativo único y exclusivo en el mundo, adaptado a las condiciones locales y con características muy valiosas para las condiciones adversas. Si bien las leguminosas, son consideradas como cultivos de plantas autógamas, el cruzamiento natural puede ocurrir en diferentes grados según la variedad, el distanciamiento entre plantas, las condiciones ambientales de la localidad y la época del año. Por ejemplo, en el caso de *Phaseolus vulgaris*, la cruza natural puede fluctuar de entre 0 a 13 %, según diversos estudios realizados. Así también, se ha observado que en dicha especie, el porcentaje de cruza natural es mayor en las variedades cultivadas que en las formas silvestres, este fenómeno guarda cierta relación con la diversidad genética que muestran los grupos mencionados, ya que la diversidad genética es mayor al nivel cultivado que al nivel silvestre. Tales conceptos sugieren que el cruzamiento natural ha intervenido en la recombinación genética y la recombinación subsiguiente, que es donde actúa la selección. Finalmente, si bien la soya transgénica no traería deterioros sobre la diversidad genética de las plantas nativas, se deben considerar otros posibles efectos sobre el ecosistema.

5. Referencias bibliográficas

Actes. 1984. III Congrès International du Lupin. La Rochelle (France). 693 p.

Burkart, A. 1952. Las leguminosas Argentinas silvestres y cultivadas. Ciencias Biológicas, Aeme Agency, Buenos Aires, Argentina. 569 p.

Baudoin, J.; J. Degreef; O. Hardy; F. Janart; I. Zoro. 1998. Development of an *in situ* conservation strategy for wild Lima Bean (*Phaseolus lunatus* L.) populations in the central Valley of Costa Rica. Royal Botanic Gardens, Kew. 417-426 p.

Baudoin, J. P.; R. Marechal. 1990. Wide crosses and taxonomy of pulse crops, with special emphasis on *Phaseolus* and *Vigna*. Workshop Afr. Plant Genet. Resour. Ibadan, 17-20 October 1977. IITA, Ibadan, Nigeria.

Baudet, J. C. 1977. Origine et classification des espèces cultivées du genre *Phaseolus*. Bull. Soc. Roy. Belg. 110 :65-76 p.

Baudoin, J.P. 1991. La culture et l'amélioration de la légumineuse alimentaire *Phaseolus lunatus* L. en zones tropicales. Gembloux, Bélgica. 442 p.

Beebe, S.; O. Toro; A. González; M. Chacón; D. Debouck. 1997. Wild-weed-crop complexes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae) in the Andes of Peru and Colombia, and their implications for conservation and breeding. Kluwer Academy Publishers. Genetic Resources and Crop Evolution. 44: 73-91.

Caicedo, A.; E. Gaitán; C. Duque; O. Toro Chica; D. Debouck; J. Tohme. 1999. AFLP Fingerprinting of *Phaseolus lunatus* L. and related wild species from South America. Crop Science 39: 1497-1507.

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2003. CIAT en Perspectiva 2001-2002. Cali, Colombia. p.7-23.

Comisión para la Promoción de Exportaciones (PROMPEX). 1999. Producción de leguminosas de grano para exportación. Chiclayo, Perú. p. 14-34.

Debouck, D.G. 1989. Early beans (*Phaseolus vulgaris* L. and *P. Lunatus* L.) domesticated for their aesthetic value? *Ann. Repor. Bean Improvement Coop.* 32: 62-63.

Debouck, D.G. 1991. Systematics and morphology. *In Common beans: research of crop improvement.* A. van Schoonhoven; O. Voysest (eds.). Wallingfor. U.K.

- Commonwealth Agricultural Bureaux International, p.55-118.
- Debouck, D.G.; J.H. Liñan Jara; A. Campana Sierra; J.H. De la Cruz Rojas. 1987. Observations on the domestication of *Phaseolus lunatus* L. *FAO/IBPGR Plant Genetic Resources News* 70:26-32.
- Debouck, D.G.; A. Maquet; C.E. Posso. 1989. Biochemical evidence for two different gene pools in lima beans, *Phaseolus lunatus* L. *Ann. Report Bean Improvement Coop.*, 32:58-59.
- Degreef, J.; J. Baudoin; O. Rocha. 1997. Case studies on breeding systems and its consequences for germplasm conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution* 44: 429-438.
- Dubois, S. 1987. Etude de la descendance F2 d' un hybride. Gembloux, Bélgica. 101 p.
- Gepts, P. 1990. Biochemical evidence bearing on the domestication of *Phaseolus* (Fabaceae) beans. *Economic Botany* 44 (3 supp.): 28-38.
- McBride, J.F. 1943. Flora of Peru. Leguminosae. Public. 351, Field Mus. Nat Hist., Bot. Services 13, III (1): 1-507.
- Mackie, W. W. 1943. Origin dispersal and variability of the Lima bean (*Phaseolus lunatus*). *Hilgardia* 15(1): 1-29.
- Marechal, R.; J.M. Masherpa; F. Stainier. 1978. Etude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces des genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques traitées para l'analyse informatique. *Boissiera* 28, 273 p.
- Ministerio de Agricultura – Oficina de Información Agraria (MINAG-OIA). 2004.
- National Academy of Sciences. 1979. Tropical legumes: Resources for the future. Washinton, D.C. 331 p.
- National Academy Press. 1989. Lost Crops of the Incas. Washington, D.C. 415 p.
- Schmit, V.; D. Debouck; J. Baudoin. 1996. Bio-geographical and molecular observations on *Phaseolus glabellus* (Fabaceae, Phaseolinae) and its taxonomic status. *Taxon*. 45: 493-501.
- Singh, S.; P. Gepts; D. Debouck. 1991. Races of Common Bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *The New York Botanical Garden* 45 (3): 379-396.

Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales



Caso: Maíz

Ricardo Sevilla, Ing.Agr., M.S.

Coordinador Ejecutivo

Secretaría Técnica de Coordinación - CGIAR

Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria - INIEA.

Av. La Molina 1981

La Molina, Lima, Perú.

stc_cgjar@inia.gob.pe

Contenido	Página
Resumen Ejecutivo	43
1. El cultivo de maíz en el Perú: importancia económica, social y cultural	44
Producción y consumo de maíz en el Perú	44
Demanda: importaciones y exportaciones	44
El cultivo de maíz como fuente de trabajo	45
Formas de consumo	45
El maíz en la cultura	45
2. Diversidad genética del maíz en el Perú	45
Especies relacionadas	45
Razas nativas	45
Cultivares locales	46
Cultivares mejorados	47
Áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad	48
Conservación de las razas <i>in situ</i>	49
Conservación <i>ex situ</i>	51
3. Efecto del flujo de genes	52
Diseminación	52
Efecto en la diversidad genética	54
Áreas restringidas	54

4. Magnitud actual y potencial de la importación de cultivares transgénicos	55
Semilla híbrida foránea	55
Semilla de cultivares transgénicos	56
Granos de cultivares transgénicos usados como semilla	56
Potencial de uso de cultivares transgénicos	56
Las pruebas de cultivares	57
5. Limitaciones actuales para el aumento de la productividad y competitividad	58
Limitaciones y posibles soluciones	58
Soluciones agronómicas	58
Soluciones genéticas	58
Ampliación de la frontera agrícola	59
6. Conclusiones y recomendaciones	59
7. Referencias bibliográficas	60

Resumen Ejecutivo

El Perú requiere importar la mitad del maíz que consume; aproximadamente un millón de toneladas. El 80 % del grano importado viene de la Argentina y el resto de Estados Unidos; en ambos países se cultiva una extensión considerable de maíz transgénico. Se estima que al país llegan anualmente 300 000 t de maíz transgénico de grano amarillo duro, que se usa principalmente en la industria avícola.

El 36,5 % del maíz que se consume en el Perú es para alimentación animal; aproximadamente el 60 % es para alimentación humana. La sierra es el principal productor de maíz para consumo humano.

La diversidad genética del maíz se clasifica en razas. Hay un total de 51 razas que se conservan debido a factores biológicos, ecológicos y antropológicos. En la sierra se encuentra la mayor cantidad de razas. La sierra usa muy poca semilla mejorada; las variedades de la sierra son tan distintas al resto del maíz del mundo que no se espera que esta diversidad sea afectada con transgénicos simplemente porque no se siembran maíces amarillo duros que son los que han sido transformados y lo serán posiblemente con mayor frecuencia en el futuro. Sin embargo, es necesario más cuidado para aislar la sierra de introducciones foráneas porque ahí se encuentra la mayor diversidad. Hay además en la sierra muchas variedades, nativas y mejoradas.

Considerando la presencia más frecuente de cada una de las razas de la sierra se puede hacer un plan para conservar las razas *in situ* en lugares específicos.

La introducción de polen extraño es muy frecuente en el maíz. Se supone que el maíz de la costa recibe polen de los híbridos y variedades de grano amarillo duro. Sin embargo todavía se mantienen las variedades nativas con un alto nivel de pureza varietal. El análisis de casos más estudiados en otros países permite esperar que la introducción de transgénicos no sea un factor importante en la pérdida de la diversidad del maíz, aún en zonas cultivadas con híbridos, como la costa peruana. Más importante es la pérdida de la variabilidad de caracteres adaptativos por deriva genética debido a la costumbre de usar los granos de pocas mazorcas como semilla.

Como el cultivo de maíz en el Perú está sujeto a muchos factores limitantes bióticos y abióticos, y como el maíz debe ser más competitivo en el marco de disminución del precio de los granos a nivel mundial y la necesidad de bajar los costos de producción del cultivo, es necesario mejorarlo genéticamente. Algunos casos sólo podrán ser exitosos si se usan transgenes. Es necesario por lo tanto implementar pruebas para comprobar la superioridad de las variedades mejoradas para las características modificadas genéticamente.

1. El cultivo de maíz en el Perú: importancia económica, social y cultural

Producción y consumo de maíz en el Perú

El maíz es el cultivo más importante del Perú, tanto por su área cultivada, la mayor del Perú, como por su impacto social. En el 2002 se sembró 481 509 ha para grano y 43 500 ha para choclo (FAO, 2002), lo que constituye en su conjunto, aproximadamente la cuarta parte del área cultivada en el país con cultivos anuales.

Desde el punto de vista del destino de la producción, el maíz se clasifica en maíz amarillo duro y maíz amiláceo. El maíz amarillo duro se produce en la costa y selva y el maíz amiláceo se produce en la sierra y en pequeñas cantidades en algunos valles de la costa, casi exclusivamente para ser usado como choclo o para chicha.

En el 2002 se produjo 1 036 946 toneladas de maíz amarillo duro en el país. Las principales regiones productoras son, en orden de importancia, Lima, La Libertad, Lambayeque, San Martín, la costa de Ancash, Ica, Piura, Loreto y Cajamarca (M. de Agricultura, 2002a).

Anualmente se siembra entre 200 000 y 250 000 ha de maíz amiláceo. Casi todos los agricultores de la sierra baja y media (hasta 3000 msnm) y un porcentaje muy alto de los agricultores de la sierra alta, hasta 3500 msnm, siembran maíz amiláceo en aproximadamente la mitad de sus predios. La productividad es muy baja, fluctúa entre 1 000 y 1 200 kg/ha, dependiendo la productividad principalmente de la cantidad y oportunidad de las lluvias. La productividad del maíz amiláceo en la sierra varía de año en año. El efecto de años es muy importante, por eso el aumento de la productividad no siempre representa una mejora tecnológica.

En promedio, la productividad del maíz en el Perú ha crecido de 1,6 t/ha en 1980 a 2,1 t/ha en 2002. Ese

crecimiento se debe principalmente al aumento de la productividad en algunos valles de la costa (M. de Agricultura, 2002b).

Demanda: importaciones y exportaciones

En promedio de 1995 al 2000, el Perú produjo 931 000 t e importó 958 000 t. Las importaciones representan el 51 % de lo que se consume en el país (FAO, 2002). En ese lapso se exportó un promedio anual de 7 000 t de grano, principalmente de maíz amiláceo, blanco del Cusco o morado en menor cantidad.

En la década de los 80 las importaciones de maíz amarillo duro variaron de 130 000 t hasta casi 600 000 t anuales. A partir de la década del 90 se incrementaron las importaciones; en 1992 se importó 800 000 t. En 1998 se importó 1 170 683 t y en 1999 fue una cantidad similar. Las importaciones bajaron en el 2000 y 2001 (850 000 t) pero han vuelto a crecer en el 2002 (914 995 t) y en el 2003 (924 323 t).

Interesa predecir la tendencia mundial para definir estrategias y estar preparado para darle al cultivo la competitividad que será necesaria cuando se liberen los mercados. Debido al aumento de la productividad de los cultivos de granos en los países de regiones templadas, principalmente en Estados Unidos, Argentina y China, acompañado del escaso crecimiento demográfico en países desarrollados, se espera que aumenten los volúmenes disponibles para exportación a esos países. Por otro lado, la reducción del precio del maíz amarillo duro hará casi imposible competir y en una economía de libre comercio se espera que las importaciones de maíz aumentarán en el país. En el período entre 1960 y 2000, el precio del maíz amarillo duro bajó de casi US \$ 200 / t a mediados de la década del 60, hasta menos de US \$ 100 dólares la tonelada a finales del siglo. Según analistas del International Food Policy Research Institute (IFPRI), el precio del maíz en el 2020 llegará a 84 dólares la tonelada (Pinstrup y Pandya, 1997).

Si el país quiere competir tendrá que aumentar su productividad y bajar sus costos de producción. Consecuentemente la mejor estrategia será incenti-

var el mejoramiento genético y probar la mayor cantidad de cultivares disponibles. En ese escenario, si no se incentiva el mejoramiento genético en el país, será preciso enfrentar el hecho de que muchos de esos cultivares posiblemente serán transgénicos.

El cultivo de maíz como fuente de trabajo

Casi todos los productores de maíz en el Perú son propietarios de sus propias tierras. Debido a la necesaria tecnificación del cultivo, principalmente por la mecanización de la siembra y la cosecha en la costa y selva, no es posible cuantificar en el futuro mediano la cantidad de trabajo que genera el cultivo del maíz en el país simplemente cuantificando los jornales. Si el cultivo es rentable, podemos suponer que aproximadamente un millón de familias obtienen sus ingresos, total o parcialmente del cultivo del maíz. Eso lo hace la actividad que más trabajo genera en el país.

Formas de consumo

El maíz que se produce en el país se destina aproximadamente a la alimentación humana (58,5 %), a la alimentación animal (36,5 %), a la industria (3,0 %) y a semilla (2,0 %).

Todo el maíz amiláceo se destina para alimentación humana directa; en el Perú no se procesa el maíz, como las tortillas en México y Centro América o las arepas de Colombia y Venezuela. Los principales usos del maíz amiláceo son, en orden de importancia, mote, cancha, choclo, mote pelado, chochoca, humitas. El maíz amarillo duro se usa en alimentación de aves y cerdos; menores cantidades se usan en la industria para producir almidón y aceite o se cosecha la planta verde como forraje (chala). Una pequeña cantidad se usa en la elaboración de tamales.

El consumo *per capita* del maíz en el Perú es 13,1 kg/año. El maíz aporta 127 calorías diarias, 3,4 gramos de proteína y 1,5 gramos de grasa (promedio 1995-2000). A eso hay que agregarle el consumo de la carne de aves, cuyo alimento es maíz en muy alta proporción. El consumo per capita de aves en el país es de 11,4 kg/año, que representa 53 calorías y 5,7

gramos de proteína al día (FAO, 2002). Debido a que la carne de pollo se ha convertido en la principal fuente proteica del país, el maíz amarillo duro tiene una importancia capital.

El maíz en la cultura

El maíz es un elemento cultural de la misma importancia que el lenguaje, el vestido, la música, la culinaria, las costumbres y otras manifestaciones culturales.

La vigencia de las razas de maíz es universal. Las razas se mantienen en el tiempo y hay evidencias de que las razas de maíz son más perennes que otras manifestaciones culturales. Se mantienen porque constituyen un fuerte elemento cultural. Si desaparecen las culturas desaparecen también las razas y por lo tanto la diversidad del maíz (Sevilla, 2003).

2. Diversidad genética del maíz en el Perú

Especies relacionadas

No existen especies relacionadas de maíz en el Perú. Sólo se ha reportado la presencia de *Tripsacum australe* (Grobman, 1967). Sin embargo, aunque el *Tripsacum* puede haber jugado un papel importante en el origen del maíz, debe ser considerado como del pool génico terciario por la dificultad en cruzarse con el maíz. Se ha logrado cruzar el maíz con *Tripsacum*, con mucha dificultad, demostrando que era casi imposible el cruzamiento en la naturaleza (Mangelsdorf, 1974). Se puede concluir entonces que no hay en el Perú especies relacionadas del pool génico primario o secundario, que serían las especies que podrían recibir polen de maíz transgénico.

Razas nativas

La diversidad genética del maíz se clasifica en razas. En el país existen 51 razas; 49 fueron clasificadas y descritas por Grobman y colaboradores (Grobman *et al.*, 1961) y posteriormente se clasificaron dos mas

usando técnicas de taxonomía numérica (Vega, 1972). El número de razas es un indicador de la diversidad; por ejemplo en la sierra hay 27 razas, mientras que en la selva hay sólo siete.

Desde que se clasificaron las razas hasta el presente no se ha perdido ninguna raza y con excepción de las tres razas de la sierra de Piura, que no fue explorada en la primera oportunidad, no se ha encontrado ninguna raza nueva. Sin embargo hay ocho razas que son definidas con dificultad; posiblemente son variantes de las razas existentes o corresponden a malformaciones de la mazorca que se encuentran en diferentes razas.

Cultivares locales

Cultivares locales son denominados también variedades nativas o variedades locales. En cada región

hay varias variedades; por ejemplo en el Callejón de Huaylas se identificaron 16 variedades diferentes antes de comprobar la tecnología mejorada en campos de agricultores (Sevilla, 1990). Las variedades nativas más importantes son, Mochero, Alazán, Perla, Chancayano, Amarillo de oro, Umutu, Morocho, San Gerónimo, Cusco Blanco, Amarillo de Ancash, Terciopelo. En el Cuadro 1 se presentan los usos, áreas de adaptación y un estimado del área de siembra de cada cultivar nativo. No hay estadísticas de área de siembra de las variedades locales. Los estimados que se presentan en el Cuadro 1 son basados en la experiencia propia del autor y la percepción a partir de la producción y el uso del producto. Como la clasificación racial se hizo colectando todas las variedades nativas, ellas están representadas en las razas. La unidad de diversidad en esta discusión será consecuentemente la raza y no la variedad.

Cuadro 1.- Variedades locales más importantes, sus usos, área de adaptación y de cultivo

Variedad Nativa	Usos	Area de adaptación	Area de cultivo (ha)
Alazán	Chicha	Costa norte	3000
Mochero	Choclo	Costa norte	2000
Perla	Chala	Costa central	4000
Pardo	Choclo	Costa central	3000
Chancayano	Choclo	Costa central	2000
Blanco Cuatromeses	Choclo	Costa sur	2000
Umutu	Cancha	Cajamarca	1000
		Sierra La Libertad	1000
Blanco Imperial	Choclo	Cajamarca	5000
Morocho	Mote	Cajamarca	5000
Blanco	Choclo	Bambamarca	2000
Blanco	Choclo	Ayabaca	1000
Amarillo de Ancash	Cancha	Callejón Huaylas	2500
Terciopelo	Cancha	Sierra Ancash	500
Rojo Huarotambo	Cancha	Sierra Ancash	500
Morocho	Mote	Sierra central	8000
San Gerónimo	Mote, choclo	Sierra central	8000
Almidón	Mote	Ayacucho	8000
Amarillo de Oro	Mote, chicha	Sierra sur	10000
Blanco del Cusco	Mote, choclo	Sierra sur y central	10000
Morado	Chicha Morada	Sierra baja/media	5000

Cultivares mejorados

En el presente documento los cultivares se clasifican en híbridos y variedades mejoradas, denominadas también variedades de polinización abierta.

a) Variedades mejoradas. La distinción entre variedades locales y variedades mejoradas no es muy clara; por eso en este documento se denominarán variedades mejoradas a aquellas que se han generado usando métodos de mejoramiento genético convencional debidamente documentados. Algunas variedades de maíz peruano como el Blanco del Cusco, son excepcionalmente buenas, pero están en la categoría de variedades locales porque su mejoramiento no ha sido documentado.

Hay sólo dos fuentes importantes de variedades mejoradas: el Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina (PCIM-UNALM) y el Programa de Investigación de

Maíz del INIA (PIM-INIA). Algunas variedades han sido creadas por otros programas de investigación, especialmente de universidades regionales; sin embargo esas no se tomarán en cuenta porque tienen un uso muy local y muy restringido. La relación de los principales cultivares mejorados se muestra en el Cuadro 2. Los estimados de área de siembra de cultivares mejorados se basan en la cantidad de semilla producida y distribuida desde que se liberaron. Se supone que el agricultor siembra semilla cosechada en sus propios predios y que contribuye a la dispersión de la variedad.

b) Híbridos. En el país los híbridos sólo son de grano amarillo duro y sólo se cultivan en la costa. La poca extensión sembrada en la selva no es relevante para esta discusión. Hay cuatro etapas en la introducción de híbridos en la costa peruana. Debemos diferenciarlas para predecir las necesidades de mejores híbridos en el futuro.

Cuadro 2. Cultivares mejorados con mayor área de cultivo

Cultivar	Usos	Área de Adaptación	Area cultivo (ha)	Germoplasma nativo (%)
PMC-561	Choclo y mote	Ancash	400	50
PMC-584	Choclo y mote	Sierra Alta	500	60
PMS-636	Choclo	Sierra Alta Central	2 000	100
PMD-638	Choclo	Sierra Alta Central	3 000	60
PMV-662	Choclo y mote	Sierra Alta Central	5 000	100
PMV-581	Chicha Morada	Sierra Baja y Costa	4 000	100
PMV-582	Chicha Morada	Sierra Media y Alta	400	100
C Amarillo Ancash	Cancha	Sierra Ancash	1 500	100
Opaco Huascarán	Opaco	Sierra Ancash		
		Ayacucho, Arequipa	10 000	40
PMS-267	Opaco	Selva Alta	2 000	80
Choclero 101	Choclo	Sierra Alta	5 000	50
Choclero 201	Choclo	Sierra Media	500	90
Canchero 301	Cancha	Sierra Media	200	80
Canchero 401	Cancha	Sierra Baja	1 000	80
Morocho 501	Amarillo Duro	Sierra Media y Baja	2 000	70
Morocho 601	Amarillo Duro	Sierra Baja	6 000	60
INIA -606	Choclo	Sierra Alta	1 000	60
Marginal 28 T	Amarillo Duro	Selva y Costa Norte	20 000	20

- **Híbridos Perla x Cuba.** Fueron formados por el PCIM-UNALM. Todos fueron híbridos dobles formados con líneas de una o dos generaciones de endocría. En general el progenitor masculino era un híbrido simple con dos líneas Perla y el progenitor femenino un híbrido simple formado con dos líneas de origen cubano. Se formaron cerca de 20 híbridos en las décadas del 60 y 70. Los más sembrados fueron el PM-204, el PM-210 y el PM-212 que todavía se siembra, principalmente para forraje. Los híbridos PM son altos y tardíos, pero son de alto rendimiento, estables y muy resistentes a enfermedades, porque en el proceso de formación, las líneas se exponen a diferentes condiciones ambientales.
- **Híbridos de origen Caribeño.** Principalmente de Cuba. La raza Criollo de Cuba o "Costal Tropical Flint" se adapta muy bien a las condiciones del trópico sudamericano. Esa raza llegó al país como variedad y se sembró en áreas apreciables en la selva, donde todavía se le conoce como "Cuban Yellow". Los híbridos traídos directamente de Cuba como el Poey T64 tuvieron relativo éxito. El PCIM-UNALM generó dos híbridos que todavía se siembran con germoplasma cubano: PM-701 y PM-702. Esos híbridos son muy resistentes a enfermedades tropicales.
- **Híbridos con germoplasma de CIMMYT.** El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) formó en las últimas décadas poblaciones agrupadas por color y textura del grano, precocidad y adaptación. Esas poblaciones tienen muy buena estabilidad porque la selección en base de familias se hace en varias localidades de muchas partes del mundo. Han sido seleccionadas para resistencias, principalmente para resistencia a enfermedades virósicas y para resistencia al gusano cogollero. Después de formadas las poblaciones y seleccionadas, se extrajeron líneas que se probaron por habilidad combinatoria. Una gama muy importante de híbridos están a disponibilidad de programas nacionales y empresas que están usando ese germoplasma sin modificaciones o modificando la habilidad combinatoria y otros caracteres. Los híbridos liberados por el

PIM-INIA, como el PINTI y el INIA 605 tienen ese origen.

- **Híbridos formados en otros países, principalmente Brasil y Argentina.**- Es un grupo importante de híbridos; posiblemente en el futuro híbridos foráneos serán transgénicos. Son híbridos formados con líneas de alta endocría; algunos acusan muy alta productividad en la costa peruana. En general son precoces y de planta baja o media. Sin embargo, por no haber sido seleccionados en las condiciones de la costa peruana, que son muy peculiares especialmente por la alta humedad atmosférica, no tienen en general la resistencia requerida en la costa para enfermedades foliares.

Los híbridos norteamericanos no se siembran en el país porque son muy susceptibles a enfermedades. Los híbridos transgénicos sólo son resistentes a un insecto o grupo de insectos. Por ejemplo los híbridos transgénicos que llevan los genes (cry) aislados del *Bacillus thuringiensis* (Bt), son resistentes a lepidópteros (mariposas y polillas), coleópteros (escarabajos) y dípteros (moscas y mosquitos).

Áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad

La diversidad debe conservarse en todos los agroecosistemas. Está probado que aún en condiciones de agricultura desarrollada con el uso generalizado de híbridos, las variedades o razas locales se conservan si tienen alguna ventaja. Las colecciones que se hicieron en 1979 y 1980 en la costa peruana y en la selva, comparadas con las colecciones que se hicieron en la década del 50, mostraron que las razas de costa no se habían perdido, aunque un porcentaje muy alto del área sembrada, más del 95%, era con híbridos de grano amarillo duro. En la selva no se encontró la raza Enano, pero una prospección más intensa la encontró en Madre de Dios posteriormente. Por ejemplo en la costa, los agricultores siguen sembrando la raza Mochero y sus relacionadas, Tumbesino y Pagaladroga, por su precocidad y su excepcional tolerancia a la sequía; la raza Alazán y Colorado por la calidad como chicha, las razas chocleras, Pardo,

Huachano, Chancayano y Chaparreño (blanco precoz), la raza Perla y Rienda por su calidad chalera. En la selva, a pesar de la difusión masiva de la raza Cuban Yellow y variedades mejoradas de la misma raza, como el Marginal 28 Tropical, se sigue sembrando la raza Piricincó. Así mismo no hay ninguna evidencia de pérdida de la diversidad en la sierra. A medida que crece el mercado de choclo y grano de maíz en las ciudades, se incrementa el cultivo de las variedades chocleras tardías como el Blanco Urubamba o el Amarillo Calca que se usa para mote (Levita, 2003), pero no desaparecen las variedades de otras razas más precoces.

Sin embargo existe una considerable mezcla entre razas, sobre todo en la sierra donde existe la costumbre de sembrar varias razas o variedades en un mismo campo. Las mezclas varietales pueden ser fácilmente

identificables, más aún si la contaminación es con polen de variedades introducidas o de híbridos.

Conservación de las razas *in situ*

Las razas de maíz deben conservarse sin limitar el proceso productivo de los habitantes de la región. Las áreas de conservación *in situ* no son reservas; son zonas agrícolas donde la diversidad de las razas es notable. Los agricultores la aprecian, la conocen y la utilizan a un nivel tal que si desaparecen las razas o una porción de su diversidad, el proceso productivo se vería afectado, y consecuentemente la economía de los productores.

Específicamente las áreas prioritarias para la conservación de las razas de Sierra se muestran en el Cuadro 3 y Figura 1.

Cuadro 3. Áreas para la conservación de las razas de maíz de sierra

Raza	Departamento	Provincia / Distrito
Confite Morocho	Ayacucho	Huamanga, Huanta
Confite Puntigudo	Cusco, Apurímac	*
Confite Puneño	Puno	Lago Titicaca
Granada	Huancavelica	*
Kcully	Ayacucho	*
Paro	Apurímac	Andahuaylas
	Arequipa	La Unión
Chullpy	Cusco, Apurímac	*
Ancashino	Ancash	Huaraz, Carhuaz
Huayleño	Ancash	Huaylas
Shajatu	Ancash	Cabana, Patasca
Marañón	Huanuco	Dos de Mayo, La Unión
San Jerónimo	Junín	Huancayo, Concepción
San Jerónimo Huancavelicano	Ayacucho	Huamanga, Huanta
Huancavelicano	Huancavelica	Tayacaja
Morocho	Ayacucho	Huamanga, Huanta
Cuzco	Cusco, Apurímac	*
Cuzco Cristalino Amarillo	Cusco	Anta
Cuzco Gigante	Cusco	Calca, Urubamba
Uchuquilla	Puno	*
Piscorunto	Cusco	Canchis, Quispicanchis
	Ayacucho	La Mar (Tambo)
	Tacna	Tarata
Sabanero	La Libertad	Santiago de Chuco, Otuzco
	Cajamarca	Cajabamba
Morocho Cajabambino	Cajamarca	Chota
Amarillo Huancabamba	Piura	Huancabamba
Huarmaca	Piura	Huarmaca

* Se requiere un mayor estudio para definir las provincias / distritos específicos.

Existen en el país áreas naturales protegidas que son verdaderos reductos para la conservación de razas nativas de maíz. Por ejemplo, el distrito de Cotahuasi en la provincia de La Unión puede ser una área donde

se puede conservar por mucho tiempo algunas razas de sierra como Piscorunto, Chullpy, Granada y Paro, sobre todo las formas muy precoces y tolerantes a la sequía (Manuel Tejada, comunicación personal).



Figura 1. Areas prioritarias para la conservación de razas de maíz en la costa (amarillo), en la sierra (azul) y selva (rojo).

Estrategias de conservación *in situ*. En el país hay varios proyectos de conservación *in situ* de la diversidad del maíz que están usando diferentes estrategias. Sólo se citarán las más importantes. El proyecto “Conservación de especies cultivadas y sus parientes silvestres”, coordinado por el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP) y ejecutado por el INIA y un grupo de ONGs, está orientado a fortalecer las costumbres conservacionistas de las comunidades y agricultores de las regiones tradicionales del país (Tapia, 2002).

Dos proyectos coordinados por centros internacionales, IPGRI y el CIP, financiados con el aporte del Perú al Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR), tienen resultados más concretos que merecen ser comentados. El proyecto del IPGRI es ejecutado en la selva, específicamente en el Ucayali: “Manejo y monitoreo de cultivos amazónicos”. En él se estudia el rol de las comunidades nativas en la conservación de la diversidad de seis cultivos, entre los que se encuentra el maíz. Se han hecho aproximadamente 250 colecciones de las que la mayoría son de una raza introducida, el Cubano Amarillo. La segunda raza en importancia que conservan los nativos es la raza Piricinco, aunque las formas no son tan típicas como el Piricinco que se encuentra en San Martín. La tercera raza en importancia es Pipoca, una raza de granos reventadores (pop) que proviene de Brasil muy recientemente. Los nativos, principalmente los Shipibos, no valoran la diversidad del maíz como si lo hacen con la de yuca. Ya se inició la etapa de selección, formación de poblaciones y devolución del germoplasma a las comunidades (Collado, 2003).

El proyecto del CIP, desarrollado en la sierra, en los departamentos de Junín, Huancavelica y Ayacucho, demostró que toda la diversidad de maíz de esos departamentos es conservada por los agricultores de la región. Hay un registro completo que incluye fotografías de mazorcas demostrando que las razas existen todavía en la misma forma como se colectaron hace 50 años. Después de clasificadas y caracterizadas, semilla de las razas, en forma individual y como compuestos, se le devolverá a los agricultores con una estrategia para hacer selección participativa y producción descentralizada de semilla (Oscanoa,

2003). La importancia de esta estrategia es que los agricultores no tienen recursos para comprar semilla mejorada y aún teniéndolos no la compran porque sus propias variedades son más apreciadas y mejor adaptadas a sus particulares condiciones.

La estrategia del Programa Cooperativo de Investigación de Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina (PCIM-UNALM) para conservar *in-situ* la diversidad, consiste en formar compuestos raciales y entregar la semilla a los agricultores para que la integren a sus sistemas de producción. Eso es muy necesario porque, debido a que los agricultores usan semilla de pocas mazorcas de las razas nativas, se produce deriva genética que causa la pérdida de alelos de genes adaptativos que se encuentran en baja frecuencia (Sevilla y Holle, 1995). Se estima que ese factor es más importante que el de la introducción de germoplasma externo a la región en forma de variedades mejoradas y aún en forma de transgénicos.

Conservación *ex situ*

La conservación *ex situ* de la diversidad del maíz del Perú se hace en el Banco de Germoplasma del PCIM-UNALM (Sevilla y Chura, 2002). Las semillas que se encuentran en el banco de germoplasma son muestras de semilla de los agricultores que siembran maíz en el Perú. La unidad de conservación es la accesión; la accesión es una colección accesada al banco de germoplasma. En total se colectaron 3 931 muestras desde la década de los 50's; actualmente hay semilla de 3 023 accesiones. La cantidad de semilla varía de menos de medio kilo (99 accesiones) a más de 10 kilos (46 accesiones). Aproximadamente el 65 % de las accesiones tienen más de dos kg de semilla.

Como las colecciones se hicieron con un muestreo que permite captar toda la variabilidad de caracteres fenotípicos, morfológicos y adaptativos, se supone que se ha captado una porción muy alta de la diversidad del maíz en el Perú. Sin embargo, como se discute más adelante, puede haber mucha variabilidad que no se encuentra en el banco de germoplasma.

Debido a que las condiciones de la cámara del banco de germoplasma no permite la conservación

de semilla a largo plazo, no más de diez años, se ha enviado un duplicado de aproximadamente el 80 % de las accesiones (1901 accesiones) al National Seed Storage Laboratory de los Estados Unidos y 912 al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México. En esa forma se garantiza que la viabilidad del germoplasma peruano se mantendrá por los próximos 50 a 100 años.

Todo el germoplasma conservado en el Perú y en los dos bancos de base se ha regenerado en el Perú en 44 campos representativos de la diversidad ecológica del país, desde el año 1985 hasta el presente. Se sembraron en total 7 605 parcelas, se cosechó 5 701 de las que sólo 2 258 tuvieron 100 mazorcas. Para evitar la pérdida de alelos en baja frecuencia, que generalmente corresponden a caracteres adaptativos, no se considera regenerada una muestra hasta alcanzar 100 plantas polinizadas.

Se estima que si se pierde toda la diversidad del maíz en el Perú, se puede recuperar casi totalmente a partir de la semilla almacenada en los bancos, tanto el activo del PCIM-UNALM, como en los bancos base. Sin embargo, debido a que la colección se hizo con pocas mazorcas y debido a que los agricultores usan generalmente pocas mazorcas para la siembra, posiblemente se han perdido alelos irremplazables. Por eso es importante complementar la conservación *ex situ* con la conservación *in situ*. Se ha probado que si los agricultores usan menos de 40 mazorcas para reproducir sus variedades, los alelos presentes en baja frecuencia se pueden perder (Crosa y Vencowski, 1994).

3. Efecto del flujo de genes

Diseminación

El maíz es una especie alógama y monoica. Las flores masculinas que produce el polen que contiene los gametos masculinos se forman en la panoja, y las flores femeninas que contiene los óvulos, que cuando son fertilizados dan lugar al germen de los granos, se producen en una inflorescencia especial denomina-

da mazorca. El polen de una planta, que se produce y libera antes que las flores de la misma planta estén listas para ser fecundadas, es transportado por el viento para polinizar a otras plantas.

El intercambio de gametos se produce al azar dentro de una población. Difícilmente el polen de una población poliniza a otras poblaciones. Sin embargo eso sucede comúnmente en regiones donde hay muchos agricultores pequeños que siembran maíz en campos adyacentes.

Lo que caracteriza genéticamente a las poblaciones es la frecuencia de los alelos específicos de cada gen. La frecuencia de los alelos no cambia a menos que haya selección, mutación, migración y deriva genética. La migración de transgenes provenientes de plantas transgénicas (OVM = Organismo Vivo Modificado) modifica no sólo la característica gobernada por el transgén; junto con ese gen se transfiere todo un componente haploide del genoma completo de la variedad transgénica (organismo donante en el reglamento de la Ley 27104). Sin embargo la diseminación afectaría en general a un porcentaje relativamente pequeño de la población que recibe el polen (organismo receptor).

La migración cambia la frecuencia de los alelos (q_1) en una proporción que depende de la frecuencia del alelo en la población receptora (q_0), de la frecuencia del alelo en la población donante o migrante (Q) y de la proporción de genes que se introducen en la población receptora en una generación (m). En el caso de la migración de un transgén a una variedad local, por ejemplo el gen del Bt que es responsable de la resistencia a los lepidópteros, la frecuencia del alelo de resistencia en la población migrante o variedad transgénica es 1; la frecuencia de ese alelo en la variedad local es 0. Si el valor m es 0,05, quiere decir que el 10 % de la semilla en la variedad local se produce con polen de la variedad transgénica. En una generación la frecuencia del alelo responsable de la resistencia cambia de 0 a: $q_1 = q_0(1 - m) + mQ = 0 + 0,05 \times 1,0 = 0,05$. O sea la frecuencia de ese alelo y todos los alelos del genoma que no existían en la variedad local aumentan en 5 %. Junto con el transgén se transfiere todo el genoma en la misma proporción. Obviamente

el cambio es importante y debe ser tomado en cuenta. La pregunta más importante que se desprende de esa consecuencia es, que tan buenos son esos alelos nuevos para la variedad local.

Una variedad se puede mantener libre de combinación con otras variedades si florea en una época distinta a las demás variedades o si se encuentra suficientemente lejos para impedir que el polen de las otras variedades la contamine. La distancia en la que puede haber alguna contaminación, o sea que por lo menos un grano de polen caiga sobre los estigmas (barbas) de las plantas de otra variedad, depende de varios factores. Se pueden citar como los más importantes, la topografía del terreno, velocidad y orientación del viento y a la humedad atmosférica.

Cuando se produce semilla, se recomienda alejar al semillero de otros campos que florecen a la vez, por lo menos con una distancia de 200 metros. Eso sin embargo no asegura que el semillero esté completamente libre de contaminación de polen extraño; pero la contaminación es mínima y se considera despreciable. Hay que considerar que el aislamiento tiene un costo, que se paga con el precio de la semilla, que en general para los híbridos es diez veces más que el precio del grano comercial y para las variedades de polinización abierta es entre cuatro y seis veces más. No es práctico por lo tanto aislar variedades locales de las posibles contaminaciones con híbridos y variedades mejoradas.

Está demostrado que las variedades locales, sobre todo en la costa, reciben frecuentemente el polen de los híbridos. Sin embargo los agricultores mantienen niveles altos de pureza varietal, si las variedades locales tienen usos especiales, como chicha, choclo, o si son adaptadas a condiciones marginales. La mejor estrategia sería complementar el trabajo de los agricultores con el análisis genético para asegurar que las variedades no tenga material genético exógeno.

Hay varios estudios para definir el aislamiento de poblaciones en maíz, pero no son relevantes en esta discusión porque el aislamiento depende de tantos factores que se define empíricamente en cada caso. Sin embargo se citarán algunos estudios

que se han orientado a estimar el flujo de genes más que el aislamiento de semilleros. Louette (1997) ha realizado el estudio más completo de contaminación entre variedades locales en una región muy diversa donde posiblemente se originó el maíz, en el oeste de México en la costa del Pacífico (Sierra de Manantlán). De un grupo de 26 variedades, seis fueron consideradas locales o tradicionales, todas variantes de la raza Tabloncillo. Los agricultores siembran en promedio 2,5 variedades en la misma parcela (rango: de 1 a 7 variedades). Usando genes de coloración de grano que produce xenia como marcadores, se estimó el porcentaje de granos contaminados con polen extraño. Los resultados mostraron que la contaminación es muy alta en los surcos adyacentes a la variedad que producía el polen marcado, pero se reduce drásticamente a partir del quinto hasta el décimo surco de la variedad receptora, pero después se mantiene estable. El nivel de flujo génico fue pequeño, 1 a 2 % en promedio entre dos parcelas, pero ocurre en todas las parcelas. La continuidad en la variación de caracteres morfológicos fue evidencia de que en conjunto todas las poblaciones tienden a ser un gran pul de genes.

Castillo y Goodman (1997), revisaron la literatura al respecto y concluyeron que en general en los surcos adyacentes el % de granos polinizados con polen extraño varía de 10 a 60 %. A 15 metros de los surcos de bordo hay muy pocos granos conteniendo recombinaciones foráneas de 10 a 300 por cada 10 000.

El caso de la variedad tardía Blanco del Cusco, sembrada en el mismo campo y en la misma fecha que el Confite Morocho en Ayacucho, es una experiencia que se repite todos los años y que puede ser fácilmente verificable. Esas dos variedades no se cruzan a pesar de su cercanía. Posiblemente, aunque nunca ha sido probado en el Confite Morocho, la incompatibilidad se debe a la presencia de genes específicos (Kermicle, 1997). Cuando una variedad como el Confite Morocho es polinizada por polen normal no se produce semilla; el cruce recíproco si es exitoso.

La diferencia entre receptivo y no receptivo es monogénica. El alelo Ga1 es parcialmente dominan-

te. Ga1/Ga1 es responsable de estigmas no receptivos a polen ga1 o polen normal; Ga1/ga1 es parcialmente receptivo. Según Nelson (1994), la mayoría de las razas de granos reventadores (pop) como el Confito Morocho son Ga1/Ga1: Los maíces normales son ga1/ga1. Sólo polen Ga1 fertiliza a estigmas Ga1/Ga1. Posiblemente el fenómeno es más frecuente. Se conocen varios genes Ga de incompatibilidad en casi todos los cromosomas del maíz (Neuffer et al., 1998).

Efecto en la diversidad genética

La pérdida o erosión de la diversidad genética se da en tres niveles: 1) Disminución de la frecuencia de un alelo en una población, hasta su extinción; 2) Disminución de la diversidad de la raza dentro de la región y 3) Extinción o desaparición de la raza en la región. La diversidad genética no se pierde cuando un transgén se incorpora en la variedad normal; lo que produce la pérdida de la diversidad es precisamente todo el resto del genome de la población migrante. Los híbridos o variedades transgénicas son cultivares mejorados; por ello podrían tener ventajas competitivas sobre las variedades locales de manera que las pueden desplazar. Sólo si el transgén tiene tantas ventajas competitivas que hace que la variedad que la porta desplace a las locales normales puede ser causante de la pérdida de la diversidad. En todo caso, la diversidad que se pierde en término de alelos, serían los alelos inferiores a los que aporta la variedad transgénica. Mucho más se podría perder cuando, en zonas de agricultura tradicional de pequeños agricultores, se siembran las variedades con semilla obtenida de pocas mazorcas (Sevilla, 2003). Se estima que se pierden numerosos alelos que están en baja frecuencia, que son precisamente los alelos responsables de muchas características adaptativas (Sevilla y Holle, 1995).

Áreas restringidas

Se denominan áreas restringidas a las regiones agroecológicas donde debe considerarse la exclusión de híbridos o variedades mejoradas, incluyendo OVM, que incluyan germoplasma distinto a las variedades

locales. Tomando en consideración los sistemas de producción, la cantidad de diversidad genérica y las características de las razas existentes en cada región, se dividirá el área maicera del país en seis agro-ecoregiones: costa norte, costa central, sierra norte, sierra central, sierra sur y selva.

Costa norte. Es la región del país donde más posibilidades hay de aumentar la productividad y las áreas de cultivo. También es la región del país donde los híbridos transgénicos pueden ser superiores a los híbridos actuales. Los dos caracteres que actualmente tienen los híbridos transgénicos, resistencia a los insectos, principalmente cogolleros y barrenadores y resistencia a herbicidas de amplio efecto, los haría muy competitivos. Es absolutamente necesario en el caso de la costa, implementar experimentos comparativos de híbridos ya que los híbridos transgénicos sólo tienen algunas características superiores; tienen que demostrar por ejemplo que son resistentes a las enfermedades de hoja y a las enfermedades virósicas.

Costa central. Debido a las condiciones particulares de clima en la costa central, los híbridos que no han sido seleccionados en esas condiciones para resistencia a enfermedades, difícilmente podrán competir con los híbridos actuales, sobre todo los que tienen germoplasma Perla en su genealogía. Como en el caso de la costa norte, los híbridos deben pasar por un período de prueba en experimentos comparativos con todos los híbridos que se ofrecen en el mercado. Los experimentos no deben registrar sólo el rendimiento y otras características agronómicas; principalmente deben demostrar su resistencia a enfermedades de hoja, enfermedades virósicas y pudriciones de mazorca causada por *Fusarium moniliforme*.

Sierra norte. En general el germoplasma de la sierra norte requiere ser mejorado genéticamente usando germoplasma foráneo. Previo a la implementación del Proyecto de Desarrollo de Maíz Amiláceo que se llevó a cabo en ocho departamentos de la sierra del país, se colectó todas las variedades nativas de esos departamentos, se estimó el rendimiento en campos de los agricultores que aportaron la semilla y posteriormente se evaluó el rendimiento en estaciones

experimentales bajo buenas condiciones agronómicas. En esa forma se estimó la calidad genética de las variedades y las posibilidades de aumentar la producción con mejoramiento genético o con prácticas agronómicas (Sevilla et al., 1976). El departamento que mostró la menor calidad genética fue la sierra de La Libertad.

Sierra central. En la sierra central, Junín tiene germoplasma de muy variada calidad genética; algunas variedades son muy productivas. Pero en general la productividad es baja. Huancavelica tiene en general germoplasma de baja productividad. Para mejorar el maíz de esos departamentos será necesario contar con germoplasma foráneo, principalmente resistente a enfermedades virósicas para contrarrestar la introducción de variedades de la raza Cusco que es susceptible. En esa región, el cruzamiento de las variedades nativas peruanas con algunas razas de México produce híbridos de muy buen rendimiento y resistentes a enfermedades virósicas y otras enfermedades de importancia en la región.

Sierra sur. El departamento del Cusco tiene germoplasma de muy buena calidad genética; los departamentos de Apurímac y Ayacucho también, pero hay mucha variación en la productividad. Se supone que esa es la situación en toda la sierra sur. La mejor estrategia en esa región es mejorar las condiciones agronómicas y usar germoplasma local para mejorar las variedades locales.

Selva. Si el país quiere avanzar hacia la autosuficiencia en la producción de alimentos es inevitable el aumento de la productividad del maíz y el aumento de áreas en la selva. Casi todas las razas de la selva son de reciente introducción: Chimlos, Alemán, Chuncho, Cuban Yellow, Perilla. La raza Piricincó debe ser conservada en proyectos de conservación *in situ* como está siendo demostrado actualmente (Collado, 2003). Enano se encuentra en una zona selvática en Madre de Dios que no es zona maicera.

En conclusión, sólo la sierra sur, los departamentos de Apurímac, Cusco, Ayacucho, Puno y la sierra de Arequipa podría considerarse para las áreas restringidas. Los híbridos transgénicos que se adaptarán a

la Costa no tienen ninguna posibilidad de adaptarse a las condiciones de la sierra del país.

Siguiendo las recomendaciones del Foro sobre Flujo de Genes que se llevó a cabo en el CIMMYT, México en 1995 (Serratos et al., 1995), se pueden catalogar las regiones agroecológicas principales en el Perú con la escala de 0 a 3, en la que el grado 0 corresponde a una región donde no hay ningún riesgo del flujo de genes; el grado 1 corresponde a una región donde se siembran pocas áreas con variedades nativas, o sea hay poco riesgo de efecto sobre la diversidad genética del país; el grado 2 corresponde a una región con regular área de variedades nativas y el grado 3, corresponde a una región de alto riesgo sobre una alta proporción de la diversidad, porque se siembra mucha superficie con variedades nativas.

Con el grado 0 se puede calificar sólo a algunas zonas del sur de la costa peruana donde se siembra poco maíz local; el grado 1 le correspondería a la selva, departamentos de Loreto y Madre de Dios y a la costa norte y central; el grado 2 a la sierra del centro, a la sierra norte y al departamento de San Martín en la selva. Toda la sierra sur se considera de grado 3.

4.- Magnitud actual y potencial de la importación de cultivos transgénicos

Semilla híbrida foránea

En el año 2002 se importaron 1 229 toneladas de semilla provenientes de: Argentina (438 t), Bolivia (198 t), Brasil (458 t), Colombia (119 t) y Estados Unidos (16,4 t). En el 2003 se importó un total de 1 051 toneladas de semilla: Argentina (318 t), Bolivia (239 t), Brasil (470) y Colombia (23 t) (Ministerio de Agricultura, 2002b). Si se toma como referencia la superficie sembrada de maíz amarillo duro entre Agosto del 2001 a Julio del 2002 (278 424 hectáreas), y si se considera que el 50 % de esas áreas son sembradas con semilla híbrida a razón de 25 kilos por hectárea, se requiere 3 480 toneladas de semilla anualmente. O sea que

la semilla foránea cubre aproximadamente el 30 % de las necesidades nacionales. La importancia de esa información se deriva del hecho de que posiblemente la semilla foránea en el futuro será mayoritariamente transgénica.

Semilla de cultivares transgénicos

Actualmente en el país no se comercializan semillas de cultivares transgénicos. Hay solicitudes que no se han aprobado simplemente porque todavía no se aplica el reglamento de la Ley de Prevención de Riesgos Derivados del Uso de la Biotecnología.

Granos de cultivares transgénicos usados como semilla

Esta será la primera fuente de diseminación de transgénicos en la costa y selva, donde se siembran variedades e híbridos de maíz amarillo duro. Se puede suponer que una proporción importante del grano importado que llega al Perú desde Argentina y Estados Unidos es transgénico. Del total de importaciones anuales, que en los últimos años ha tenido un promedio aproximado de 900 000 toneladas, aproximadamente el 80 % es de origen argentino y el resto proviene de los Estados Unidos. Si aproximadamente la tercera parte del área sembrada con maíz en esos países es transgénico (James, 2000), se puede suponer que al Perú llegan 300 000 toneladas de granos transgénicos todos los años. Si tomamos en cuenta que las áreas sembradas con híbridos transgénicos en esos países crecen de año a año y que además son los únicos países que tienen excedentes importantes que pueden ser exportados, tenemos que suponer que seguiremos introduciendo al país granos para consumo de aves con transgenes.

En la costa peruana sólo el 22 % de las áreas de maíz se siembran con semilla certificada; un porcentaje bastante alto, que se estima en 20% se siembra con semilla de segunda generación o sea con granos provenientes de la cosecha de esos híbridos. Se puede estimar que un porcentaje bastante alto, alrededor del 10% se siembra con grano cuyo destino original era el molino o las fábricas de concentrados. Si ese

grano es de origen argentino o norteamericano, el transgén debe ser del Bt, el cual hace a las plantas que lo portan resistente a los lepidópteros, principalmente cogollero y cañero, situación que no se ha probado experimentalmente en nuestras condiciones.

La informalidad en el uso de semillas en la costa peruana hace imposible calcular la cantidad de grano que se usa como semilla. Los estimados basados en la opinión de algunos entendidos es tan alto que no es posible usar esa información como referencia. Esa posiblemente es la principal fuente de flujo de polen del maíz con transgenes. El caso más conocido de contaminación de variedades locales de maíz con OVM ocurrió en México. De acuerdo a investigadores del Ministerio del Ambiente, el maíz local de la región de Oaxaca se contaminó con polen producido en plantas provenientes de granos importados que llegó a México para fines industriales. Sin embargo, el nivel tan alto de presencia de transgénicos que mostraron los análisis moleculares, no coincidía con la baja presencia transgénica en las razas nativas de maíz que tuvimos la ocasión de observar personalmente. Resultados recientes han confirmado nuestras observaciones (Ortiz-García et al., 2005).

Potencial de uso de cultivares transgénicos

Para definir el potencial de uso es conveniente revisar los criterios que guían la generación de los cultivares transgénicos o sea los objetivos de un proyecto de mejoramiento genético con la transferencia al genoma del maíz de un gen de otra especie.

¿Qué caracteres debe tener un nuevo cultivar de maíz para aumentar la productividad, disminuir los riesgos, reducir los costos de producción, reducir las amenazas de diseminación ambiental y deterioro del ecosistema y mejorar las posibilidades de ampliar la frontera agrícola sembrando en desiertos, tierras alto-andinas, riberas de los ríos de la selva y otros ecosistemas marginales del país?

Si los nuevos cultivares de maíz que se crearán para mejorar la productividad y ampliar la frontera agrícola, pueden formarse con los genes aportados por el pul genético primario, secundario o terciario no

será necesario recurrir a la ingeniería genética para formar cultivares transgénicos. Hay muchos caracteres adaptativos y otros que le dan valor agregado a las variedades que existen en la diversidad de la especie. Antes de pensar en hacer uso de híbridos foráneos o de tratar de crear en el país OVM debería evaluarse el germoplasma disponible en el país y el que se pueda conseguir del extranjero.

Sin embargo, si la situación sanitaria del cultivo del maíz en el país, principalmente en la costa peruana continúa agravándose por el uso indiscriminado de pesticidas y el poco control que se ejerce a la introducción de semilla de híbridos importados, será inevitable en el futuro contar con niveles de resistencia mucho mayores a los actuales, que difícilmente se podrán conseguir del germoplasma de maíz disponible.

Si consideramos que en el Perú la agricultura se desarrolla en los tres agroecosistemas más difíciles y marginales del planeta, desiertos, altas montañas y selvas, será necesario formar cultivares tolerantes al calor y al frío, a la sequía, al exceso de agua y cualquier otro factor limitante propio de esos agroecosistemas. La selección para tolerancia a factores adaptativos no es fácil, entre otras cosas porque los genes responsables de la tolerancia se encuentran en general en frecuencias muy bajas (Sevilla y Holle, 1995). Si por ejemplo se quiere adaptar al maíz a regiones más altas, situación que se hará prioritaria en el futuro, será necesario contar con genes tolerantes al frío de otras especies.

Las pruebas de cultivares

Todos los híbridos de maíz, transgénicos o normales que se pretendan sembrar en el país deben de ser probados y comparados entre sí.

Es importante que los experimentos incluyan todos los híbridos comerciales que se siembran en la actualidad. Los híbridos transgénicos deben mostrar su adaptabilidad a las regiones donde se sembrarán, su superioridad en condiciones de campo para la característica gobernada por el transgén. Además deben mostrar que por lo menos es igual en rendimiento y otras características agronómicas, principalmente

resistencia a enfermedades, a los híbridos sembrados en el país.

Se sugiere, con cargo a programarlos con más precisión, experimentos con cuatro repeticiones, dos sembrados a media densidad de plantas y dos sembrados a alta densidad. Los experimentos deben ser repetidos dos veces al año, en invierno y verano en dos años sucesivos.

Debido a regulaciones de bioseguridad, el grano que se obtenga en el campo experimental debe ser eliminado. Los lugares donde se ejecuten las pruebas de cultivares que incluyan por lo menos un cultivar transgénico, deben ser sujetos, mientras dure la prueba, a la evaluación de riesgo de acuerdo a los procedimientos establecidos por el Organismo Sectorial Competente.

El informe de los resultados experimentales de esos cuatro experimentos en la región objetivo deberá incluirse en el expediente técnico, que acompañe la solicitud de registro.

De acuerdo a investigaciones previas donde se estimó la interacción cultivar x localidad en costa y selva, los híbridos deben ser recomendados en cada una de las siguientes regiones:

Costa norte: De Tumbes a Lambayeque
 Costa nor-central: La Libertad y Ancash
 Costa central: Lima e Ica
 Departamento de Loreto
 Departamento de San Martín
 Departamento de Ucayali
 Región oriental de los departamentos de Huánuco, Junín y Pasco
 Región oriental de los departamentos de Apurímac y Cusco

Se sugiere que para el caso del maíz, se debe describir en la solicitud de registro del cultivar, la técnica para transferencia de genes utilizada. Si el transgén se ha insertado en sitios no predeterminados, debe ser mayor el control por eventuales efectos de posición, interacciones epistáticas y efectos pleiotrópicos del transgén expresados en condiciones agronómicas o climáticas especiales.

5. Limitaciones actuales para el aumento de la productividad y competitividad

Limitaciones y posibles soluciones

La productividad del maíz en el Perú es muy baja; 2 000 kilos por ha en promedio. Muchas son las causas de esa situación. Algunas causas, si son tecnológicas, pueden tener solución a corto plazo. Otras, más relacionadas al sub-desarrollo del país, como la falta de carreteras, almacenes y sistemas organizados de comercialización, dependen más del desarrollo integral del país. Las potencialidades del cultivo así como las posibles soluciones a las limitaciones, dependen de la región.

Soluciones agronómicas

En la costa debemos tomar en cuenta que la mecanización, sobre todo de siembra y cosecha debe generalizarse en los próximos años. Las soluciones agronómicas que no aumenten los costos de producción y que sean compatibles con la conservación del ecosistema y la salud ambiental deben estar orientadas a conservar la fertilidad natural del suelo, controlar las malezas con oportunidad, mantener y si es posible aumentar la fauna benéfica para fortalecer el control integrado de plagas, y al uso eficiente del agua. Si eso no es posible, hay que pensar en soluciones genéticas. Las soluciones genéticas que se discutirán a continuación deben estar orientadas a cada una de las regiones maiceras del país y deben estar precedidas de las posibilidades de solucionar las limitaciones con estrategias agronómicas.

El mantenimiento de la fertilidad del suelo podría solucionar muchos de los problemas agronómicos que se presentan en los cultivos en el Perú. Si la fertilidad natural del suelo se sigue perdiendo al ritmo actual, la productividad seguirá siendo baja aún contando con híbridos superiores. Se reitera que los híbridos transgénicos hacen a los híbridos superiores sólo en la característica gobernada por los genes incorporados o transgenes.

La investigación ha mostrado que la productividad de los híbridos y variedades mejoradas puede ser muy alta si los otros factores de la producción no son limitantes (Davelois et al., 2003). En general se usan más insumos de los que recomienda la experimentación. Eso ha sido consecuencia en parte del uso de paquetes tecnológicos sin tomar en cuenta el mantenimiento del ecosistema.

Soluciones genéticas

La mayoría de las características adaptativas, como la adaptación a los suelos de baja fertilidad, son muy complejas y gobernadas por muchos genes. Esas características no pueden por lo tanto ser mejoradas con la incorporación al genoma de maíz de un gen de otra especie. Se ha demostrado que se puede con métodos convencionales, generar cultivares de maíz tolerantes a suelos ácidos de alta concentración de aluminio (Magnavaca y Bahía, 1995; Narro et al., 2003), cultivares tolerantes a la sequía y que responden mejor a la aplicación de fertilizantes (Edmeades et al., 1997), tolerantes al frío (Sevilla, 1995). En Estados Unidos, se logró un nivel de resistencia al barrenador similar al que se adquiere con un Bt, cruzando una línea norteamericana con la raza Mochero del Perú (Craig et al., 1997).

El rendimiento y otros caracteres agronómicos se pueden aumentar considerablemente usando selección recurrente y la heterosis cruzando germoplasma de diferente origen. Sevilla y colaboradores (1976), analizaron la potencialidad genética de las razas de maíz colectadas en la década del 70, para definir estrategias de mejoramiento del cultivo en la sierra del país. Sólo las razas del Cusco mostraron un nivel superior; todas las demás son susceptibles de mejora genética.

Una seria dificultad de los países diversos es que el mejoramiento debe ser hecho en muchas poblaciones y para muchas características a la vez. Eso reduce la intensidad de selección; la intensidad de selección está relacionada directamente con la ganancia de selección. Por esa razón en los países diversos, la mejor estrategia de mejoramiento es tener a la mano

debidamente evaluada, la mayor cantidad de diversidad posible (LAMP, 1995).

Ampliación de la frontera agrícola

El Perú tiene que aumentar su frontera agrícola para hacer frente al crecimiento poblacional y a la escasez de alimentos que se espera en el futuro. Es difícil aumentar la frontera agrícola en desiertos, altas montañas y selvas, ecosistemas que ocupan casi todo el territorio nacional. En el germoplasma disponible no se tienen todos los genes responsables de la adaptación del maíz a esas condiciones marginales. Es necesario una prospectiva tecnológica que, estimando la cantidad de área nueva que necesita el cultivo de maíz en el futuro, sienta las bases para la generación de los nuevos cultivares de maíz en el Perú.

6. Conclusiones y recomendaciones

- El Perú importa el 50 % de maíz amarillo duro que consume. Las importaciones provenientes mayoritariamente de Argentina y USA son de alrededor de un millón de toneladas anuales.
- Como Argentina y Estados Unidos siembran aproximadamente el 30 % de sus áreas maiceras con maíces transgénicos, se supone que al Perú ingresan todos los años alrededor de 300 000 toneladas de maíz amarillo duro que se usan principalmente para alimentación avícola.
- En la sierra del Perú se siembran entre 200 000 a 250 000 hectáreas de maíz amiláceo anualmente. Casi toda la superficie se siembra con variedades nativas o variedades mejoradas que tienen un porcentaje muy alto de germoplasma local.
- La diversidad genética del maíz se clasifica en razas. En el Perú hay 51 razas. No existen especies relacionadas. Una serie de mecanismos biológicos, ecológicos y antropológicos aseguran la persistencia de las razas. Las razas que se colectaron en la década de 1950 se mantienen actualmente en las mismas regiones.
- En la costa peruana sólo el 22 % de las áreas de maíz se siembran con semilla certificada. Se estima que 20 % del área se siembra con semilla de segunda generación de los híbridos. Se estima también que el 10 % de la superficie se siembra con granos amarillo duros cuyo destino es el molino o la granja.
- En la sierra hay muchas posibilidades de conservar las razas nativas en regiones o ecosistemas que no están expuestas, ni estarán expuestas en un futuro mediato a la introducción de cultivares mejorados con germoplasma foráneo.
- Hay varios proyectos de conservación *in situ* que asegurarán la persistencia de la diversidad del maíz en campos de agricultores sin pérdidas ni modificaciones. La conservación *in situ* se complementa con la conservación *ex situ* en el Perú y en el extranjero.
- El maíz es una planta alógama y por lo tanto la tasa de intercambio génico es muy alta. El nivel de flujo génico entre poblaciones es pequeño pero frecuente. Hay sin embargo una serie de mecanismos que aseguran un alto nivel de pureza varietal.
- La región con menor riesgo de pérdida de la diversidad biológica por flujo de polen con transgénicos, es la costa sur. La diversidad del maíz del Perú en la selva y la costa norte tiene poco riesgo de pérdida; mayor riesgo hay en la sierra norte, sierra sur y el departamento de San Martín porque hay mayor diversidad biológica. La sierra sur acusa un alto riesgo por lo que hay que evitar en lo posible la introducción de germoplasma foráneo y transgénico.
- La necesidad de mejorar genéticamente el maíz en el Perú es imperiosa e impostergable. Por lo pronto la tendencia mundial a la reducción del precio del maíz en los próximos años en un marco de economía globalizada obligará a una mayor competitividad. Es necesario que los híbridos sean resistentes a enfermedades, deben ser más eficientes en el uso de los nutrientes del suelo y más precoces.

- En la sierra es necesario introducir a las variedades nativas y cultivares mejorados genes de resistencia a enfermedades, tolerancia a la sequía y al frío, estabilidad y mayor potencial de rendimiento. Sin embargo es casi imposible usar el germoplasma foráneo sin malograr el tipo, tamaño y textura del maíz amiláceo, haciendo recomendable usar la transgénesis de genes provenientes de razas foráneas, de la misma especie o de especies relacionadas.
- La utilización de cultivares transgénicos en la costa y selva debe estar precedida de pruebas en las que el híbrido transgénico debe demostrar su superioridad para la característica gobernada por el transgén. Además debe mostrar que por lo menos es igual a los híbridos cultivados en el país, en rendimiento, resistencia a enfermedades y plagas y otras características agronómicas.

7. Referencias bibliográficas

- Castillo, F.; M. Goodman. 1997. Research on gene flow between improved maize and landraces. En: J. Serratos; M. Willcox; F. Castillo (eds.). Gene Flow Among Maize Landraces, Improved Maize Varieties and Teosinte. Implications for Transgenic Maize. CIMMYT. México D.F. p. 67-75.
- Collado, L. 2003. Informes de actividades preliminares y resultados del proyecto de "Manejo y monitoreo de variedades locales de cultivos amazónicos". Pucallpa, Perú.
- Craig, A.; R. Wilson; L. Pollak; W. Salhuana. 1997. Peruvian maize resistance to European Corn Borer. A preliminary Report.
- Crosa, J.; R. Vencovsky. 1994. Implication of the variance in effective population size on the genetic conservation of monoecious species. *Theor. Appl. Gen.* 89 : 936-942.
- Davelois, J.; R. Sevilla; A. Valdez; H. Sánchez. 2003. El proceso de investigación agronómica y niveles tecnológicos de producción de maíz en el Perú. Documento preliminar publicado en las Memorias de 50 años del PCIM-UNALM. Lima, Perú.
- Edmeades, G. O.; M. Banziger; H. R. Mickelson; C. B. Peña (eds.). 1997. Developing Drought and Low N Tolerant Maize. Proceeding of a Symposium. México, March 1996. CIMMYT.
- FAO. 2002. Estadísticas. Roma, Italia.
- Grobman, A. 1967. *Tripsacum* in Peru. *Bot. Mus. Harvard University* 21: 285-287.
- Grobman, A.; W. Salhuana; R. Sevilla. 1961. Races of Maize in Peru. *Nat. Ac. of Science. Nat. Research Council. Pub.* 915. Washington, USA.
- Kermicle, J. 1997. Cross compatibility within the genus *Zea*. En: J. Serratos; M. Willcox; F. Castillo (eds.). Gene Flow Among Maize Landraces, Improved Maize Varieties and Teosinte. Implications for Transgenic Maize. CIMMYT. México D.F. p. 40-43.
- Levita, R. F. 2003. Comparativo Agrobotánico de Razas de Maíz conservadas in-situ con muestras conservadas ex situ colectadas hace 25 años. Tesis Ing. Agrónomo. Un. Nac. San Antonio Abad del Cusco. Cusco, Perú.
- Louette, D. 1997. Seed exchange among farmers and gene flow among maize varieties in Traditional Agricultural Systems. En: J. Serratos; M. Willcox; F. Castillo (eds.). Gene Flow Among Maize Landraces, Improved Maize Varieties and Teosinte. Implications for Transgenic Maize. CIMMYT. México D.F. p. 56-66.
- James, C. 2000. Global Review of Commercialized Transgenic Crops. 2000. ISAAA Briefs N° 21 Preview. Ithaca, N.Y. USA.
- Magnavaca, R.; A. F. Bahía Filho. 1995. Melhoramento de Milho para Tolerancia ao Alumínio. En: Simposio Internacional sobre Estresse Ambiental: O milho em perspectiva. Marzo 1992. Belo Horizonte, Brasil.
- Mangelsdorf, P. 1974. Corn: Its origin, evolution and improvement. The Belknap press of Harvard Univ. Press. Cambridge, Massachusetts. USA.

- Ministerio de Agricultura. 2002a. Estadísticas de Producción 2002. Dirección General de Información Agraria. Lima, Perú.
- Ministerio de Agricultura. 2002b. Perú: Recursos y Panorama Económico. Dirección General de Información Agraria. Lima, Perú.
- Ministerio de Agricultura. 2003. Estadísticas de Producción 2003. Dirección General de Información Agraria. Lima, Perú.
- Narro, L.; C. de León; F. Salazar. 2003. Generation of Improved Maize Germplasm Tolerant to Biotic and Abiotic Stresses. En: Arnel R. Hallauer. Int. Sym. on Plant Breeding. CIMMYT. México D.F., México.
- Nelson, O. 1994. The gametophytes factors in maize. En: M. Freeling y V. Walbot (eds.). The Maize Handbook. Springer-Verlag. USA p. 496-503.
- Neuffer, M.; L. Jones ; M. Zuber. 1968. The Mutant of Maize. Crop Science Soc. of America. Madison, Wisconsin. USA.
- Oscanoa, C. 2003. Informe Parcial del Proyecto "Selección participativa y Producción de semilla descentralizada. Caso Maíz: EE Santa Ana. INIA, Lima Perú.
- Ortíz-García, S.; E. Ecurra; B. Schoel; F. Acevedo; J. Soberón; A. A. Snow. 2005. Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, Mexico (2003-2005). Aprobado para publicación en Proc. Nat. Acad. Sciences (USA), 21 Junio 2005.
- Pinstrup-Andersen, P.; R. Pandya-Lorch. 1997. Can everybody be well fed by 2020 without damaging natural resources? CIMMYT Economic Program. México D.F.
- Proyecto Latinoamericano de Maíz (LAMP). 1995. LAMP. CIPIA, PCIM, UNA La Molina. CIMMYT. Lima, Perú.
- Serratos, J.; M. Willcox; F. Castillo (eds.). 1995. Gene Flow Among Maize Landraces, Improved Maize Varieties and Teosinte Implications for Transgenic Maize. México D.F.
- Sevilla R.; A. Cerrate; L. Carrión; L. Narro; A. Valdez; J. Arizola; V. de la Colina. 1976. Factores de Producción y Nivel Tecnológico del cultivo de Maíz en la Sierra del Perú. Inf. del Maíz. Especial de Inv. Vol II. p. 69-83.
- Sevilla, R. 1990. Comprobación de la tecnología desarrollada para el cultivo de Maíz en la Sierra del Perú. En: Curso Corto: Sistema de Producción, Investigación en Campos de Agricultores. Guaranda, Ecuador, Agosto 1989.
- Sevilla, R. 1995. Germoplasma foráneo de maíz tolerante al frío en los primeros estados de desarrollo para adaptar las variedades de la sierra del Perú a siembras tempranas. En: III Reunión Latinoamericana y XVI de la Zona Andina de Investigadores en Maíz. Cochabamba, Santa Cruz, Bolivia.
- Sevilla, R.; M. Holle. 1995. Recursos Genéticos Vegetales. UNA La Molina. Lima, Perú
- Sevilla, R.; J. Chura 2002. Informe: La Colección de Germoplasma de Maíz del Perú. PCIM, UNALM. Lima, Perú.
- Sevilla, R. 2003. El maíz en la cultura contemporánea. Seminario: El maíz "Sara-Hara". Historia y Posibilidades. U.N. Ricardo Palma. Instituto de Etnobiología. Nov 2003.
- Tapia, M. 2002. Informe del Proyecto "Conservación *in-situ* de las plantas cultivadas en el Perú y sus parientes silvestres" IIAP. Lima. Perú.
- Vega, M. A. 1972. Análisis discriminante para la determinación de las razas del maíz. Tesis Ing. Estadístico. UNALM, La Molina. Lima, Perú.

Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales

IV

Caso: Papa

Alberto Salas, Ing. Agr., M.Sc.,
Investigador Asociado,
Centro Internacional de la Papa.
a.salas@cgiar.org

William Roca, Biol., Ph.D.
Investigador Principal
w.roca@cgiar.org
Centro Internacional de la Papa.
Av. La Molina 1895, La Molina, Lima, Perú.

Contenido	Página
Resumen Ejecutivo	64
1. Introducción: Organismos genéticamente modificados en la papa	65
2. Diversidad de la papa	65
Tubérculos	65
Tallos	66
Hojas	67
Flores	70
Frutos	71
3. Origen y distribución geográfica de la papa	72
4. Hábitat de la papa	77
5. Taxonomía de la papa	80
6. Cruzabilidad de la papa en el Perú	83
Cruces intra específicos	84
Cruces inter específicos	85
7. Referencias bibliográficas	89

Resumen Ejecutivo

La ingeniería genética permite el acceso y manipulación directa de los genes rompiendo las barreras impuestas por las especies. Esta tecnología permite transferir genes procedentes de las mismas u otras especies. Para evaluar los riesgos de la introducción de genes es necesario caracterizar los aspectos geográficos, morfológicos, citológicos, diversidad y compatibilidad entre los componentes de las poblaciones.

La papa cultivada y silvestre varían enormemente en morfología. Así, el grado relativo de disección y formas de sus folíolos, el color de los frutos, los colores y formas de la corola son muy variables todos estos caracteres de alta heredabilidad.

Las papas silvestres crecen en 16 países, desde el suroeste de los Estados Unidos, México, Centro América y los Andes Sudamericanos, además de Brasil, Paraguay, Uruguay, Argentina, hasta la costa central de Chile. La mayoría de las 187 especies de papas silvestres son raras y extremadamente endémicas. En general, ocurren entre 38 °N y 41 °S. La alta riqueza de especies ocurre al norte de Argentina, centro de Bolivia, Ecuador, México, y en el norte, centro y sur del Perú. Las especies silvestres crecen desde el nivel del mar hasta 4400 msnm, pero viven con mayor frecuencia entre altitudes de 2000 y 4000 msnm.

Durante miles de años, las especies silvestres de papa han desarrollado características hereditarias valiosas para su supervivencia, incluyendo

resistencia a factores biológicos y abióticos, así como atributos de calidad culinaria o industrial.

La papa se reproduce en forma sexual y asexual. Las plantas generadas por reproducción sexual crecen a partir de semillas que se desarrollan en frutos. La reproducción asexual o vegetativa, da lugar a descendientes genéticamente idénticos a la planta inicial y son llamados "clones".

En muchos casos, es difícil obtener híbridos de papas silvestres y cultivadas, debido a barreras, como niveles de ploidía, compatibilidad intra e inter específica, balance de genes en el endospermo.

Las barreras a la hibridación dan lugar a que falle la germinación del polen, o a que no crezcan los tubos polínicos, fenómeno conocido por incompatibilidad que puede ser auto o cruzada. Aún cuando exista compatibilidad entre el polen y el pistilo y tenga lugar la fecundación, el desarrollo del endospermo puede ser anormal lo que causa el aborto del embrión. El potencial de cruzabilidad entre papas cultivadas y papas silvestres en centros de origen y diversidad biocultural de la papa, hace necesario tener un conocimiento apropiado de los factores bio-geográficos culturales sobre el cultivo y diversidad de la papa en el Perú. Se debería considerar la exclusión de transgénicos en áreas de alta diversidad dedicadas a la conservación y al manejo local como sustento socio económico y cultural.

1. Introducción: Organismos genéticamente modificados en la papa

Los Organismos Genéticamente Modificados (OGM's) son el producto de la ingeniería genética. La ingeniería genética permite el acceso directo de los genes rompiendo las barreras impuestas por las especies. Esta tecnología permite introducir genes procedentes de otras especies vegetales y también de especies animales y microorganismos. De esta manera se obtienen plantas transgénicas, es decir, portadoras de uno o varios genes exógenos que se denominan "transgenes". Con las plantas transgénicas se puede:

- Incrementar la productividad al aumentar la protección de los cultivos contra plagas, enfermedades, la acción de herbicidas, heladas, sequías, salinidad elevada del suelo, etc.
- Regenerar suelos contaminados por metales pesados usando plantas transgénicas tolerantes o fijadoras de metales.
- Producir medicamentos, anticuerpos monoclonales, vacunas y otras proteínas terapéuticas, en plantas transgénicas.
- Retrazar la maduración de los frutos para dilatar el tiempo de almacenamiento y facilitar su transporte.

La cordillera de los Andes atraviesa el continente sudamericano, incluyendo Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela. En esta región está el centro de origen de la papa y de mayor diversidad de especies de papa. El entrecruzamiento entre especies cultivadas y silvestres ha ocurrido y ocurre intensamente (Rabinowitz et al., 1990).

Para evaluar y gestionar el riesgo potencial del flujo de genes se necesita caracterizar el cultivo desde aspectos geográficos, morfológicos, diversidad y cruzabilidad. Se deben considerar factores como:

- La distancia que el polen debe viajar hasta la planta objetivo.
- La frecuencia con que el polen híbrido produce

descendencia, y la viabilidad de éstas.

- La adaptación relativa de la descendencia transgénica, y la dispersión espacial del gen en la población.

Las papas cultivadas y silvestres producen tubérculos y pertenecen a la Sección *Petota* del Género *Solanum*. Contienen una diversidad rica de 8 especies cultivadas, que contiene aproximadamente 4 500 cultivares nativos y casi 190 especies silvestres tuberíferas que representan un depósito enorme parcialmente explorado y único del germoplasma útil para el cultivo de la papa. Estas especies poseen rasgos deseables tales como resistencia al calor y helada, a hongos, bacterias, virus, nematodos e insectos. La mayoría de estas especies son compatibles al cruzarse.

2. Diversidad de la papa

Las especies de papa continúan siendo el foco de atención, tanto para su colección, como para la investigación taxonómica. Esto hace que el conocimiento en el número de especies y en sus correlaciones, continúa cambiando. Es por tanto difícil hacer un resumen taxonómico de las especies silvestres y cultivadas.

Una de las descripciones más tempranas de la estructura de la planta de papa fue dada por Gerard (1597), que proporcionó una descripción corta de la morfología exterior de la planta. Mas recientemente Cutter (1992) proporciona un tratado sobre la morfología externa y de la anatomía interna de la papa, e indicó que la estructura y el desarrollo de la papa, es muy compleja y no están entendidos completamente. Esta introducción, sin embargo, cubrirá solamente los detalles básicos de la diversidad externa de la papa.

Tubérculos

El tubérculo de papa es un tallo subterráneo modificado que es usado como tubérculo-semilla y en la alimentación. Los tubérculos de papa, tienen

brotos que contienen yemas, manteniéndose inactivos o dormantes hasta que las condiciones estén listas para el crecimiento de los nuevos tallos. El tubérculo de papa tiene varios ojos, y de cada brote se producirán nuevos tallos. La nueva planta produce: estolones, los cuales son tallos subterráneos, que se modificarán por almacenamiento de biomasa para

formar los tubérculos nuevos. Los tubérculos tienen una gran diversidad de formas y colores, y en algunas especies silvestres son moniliformes, que asemeja a cuentas a lo largo de su longitud, especialmente de las especies de la Serie *Piurana* (Fig. 1); tubérculos no moniliformes tal como *S. saxsatilis* (sax) de la Serie *Tuberosa*.



Figura 1. Formas y colores diversos de tubérculos de papas silvestres: Moniliformes: *S. acroglossum* (acg), *S. ancophilum* (acp), *S. ambosinum* (amb); ovalados: *S. acroscopicum* (acs), *S. augustii* (agu), *S. bukasovii* (buk); redondos: *S. acaule* (acl), *S. amayanum* (amy) y *S. bill-hookeri* (bhk).

La papa puede también reproducirse a través de la semilla sexual. Los tubérculos de las especies cultivadas nativas varían considerablemente en su forma, color, profundidad de ojos, color de brotes y color de la carne, con el anillo vascular tenue o intensamente pigmentados (Fig. 2). La mayoría de los cultivares mejorados son de piel blanca. Los cultivares modernos se han seleccionado por la uniformidad relativa en forma y color.

Tallos

Los tallos pueden ser de color verde hasta el púrpura, y mezclas de estos colores. Pueden tener o no alas, formas cilíndricas a triangulares, recubierto de pelos o no. En el ángulo entre los tallos y los pecíolos se producen las inflorescencias conformadas por racimos de flores.

Hojas

La forma de hojas de las especies cultivadas y silvestres varían enormemente, en color, disección y forma. Las formas de las hojas varían desde (i) enteras, en las que está presente el foliolo terminal muy desarrollado, (ii) foliolos laterales ausentes, como en el caso de *S. simplicissimum* (smp), *S. guzmanguense* (gzm) (iii) hojas poco diseccionadas con 1-2 pares

de foliolos laterales, con foliolo terminal más grande que estos, como se observa en *S. dolichocremastrum* (dcm), *S. hastiforme* (hsf), *S. megistacrolobum* (mga); mientras que (iv) en *S. acroglossum* (acg), *S. cantense* (cnt), *S. chiquidenum* (chq) presentan mayor número de foliolos laterales, variando en forma y tamaño los foliolos terminales (Fig. 3). (v) Hojas con formas especiales y presencia de alas a lo largo del raquis como en el caso de *S. ingifolium* (igf) (Fig. 3).



Figura 2. Diversidad de formas y colores de tubérculos de las papas nativas cultivadas.

Las especies silvestres presentan hojas similares a las de las especies cultivadas tetraploides, éstas últimas con alto número de pares de foliolos laterales, e interhojuelas, siendo el foliolo terminal muy parecido a los laterales en forma y tamaño (Fig. 4); este es el caso de *S. augustii* (agu), *S. gracilifrons* (grc), *S.*

wittmackii (wtm), presentándose hojas exóticas como es el caso de *S. anamatophilum* (amp), *S. xblanco-galdosii* (blg), *S. pillahuatense* (pll) y otras semejantes a las diploides como el de *S. huancabambense* (hcb), *S. multiinterruptum* (mtp), *S. sandemanii* (snd).

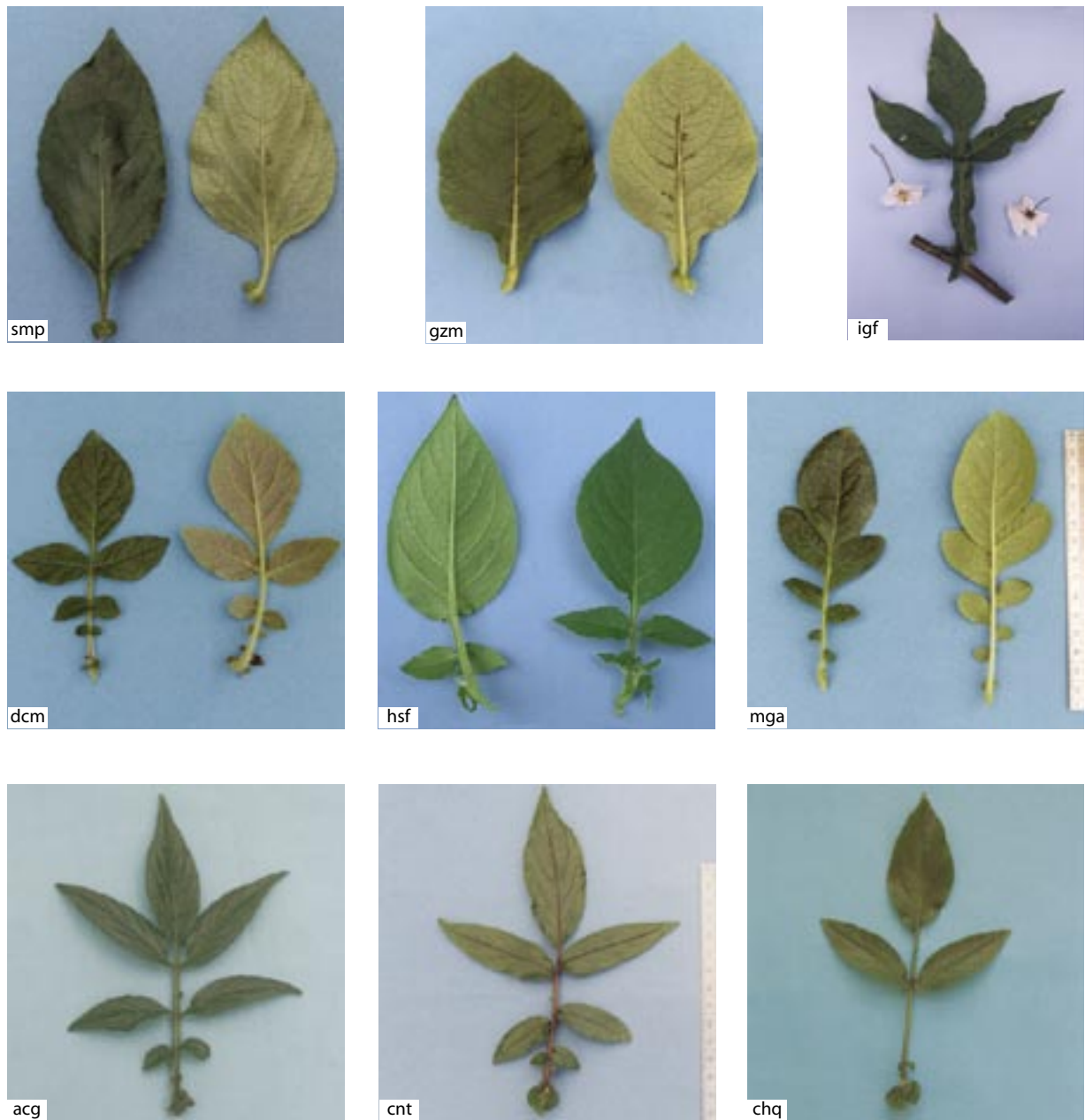


Figura 3. Diversidad de las hojas: forma, tamaño y número de pares de folíolos de algunas especies silvestres de papa. Enteras: *S. simplicissimum* (smp), *S. guzmanguense* (gzm) y con folíolos laterales: *S. dolichoctrum* (dcm), *S. hastiforme* (hsf), *S. cantense* (cnt), *S. megistacrolobum* (mga), *S. acroglossum* (acg), *S. chiquidenum* (chq); con alas *S. ingifolium* (igf) .

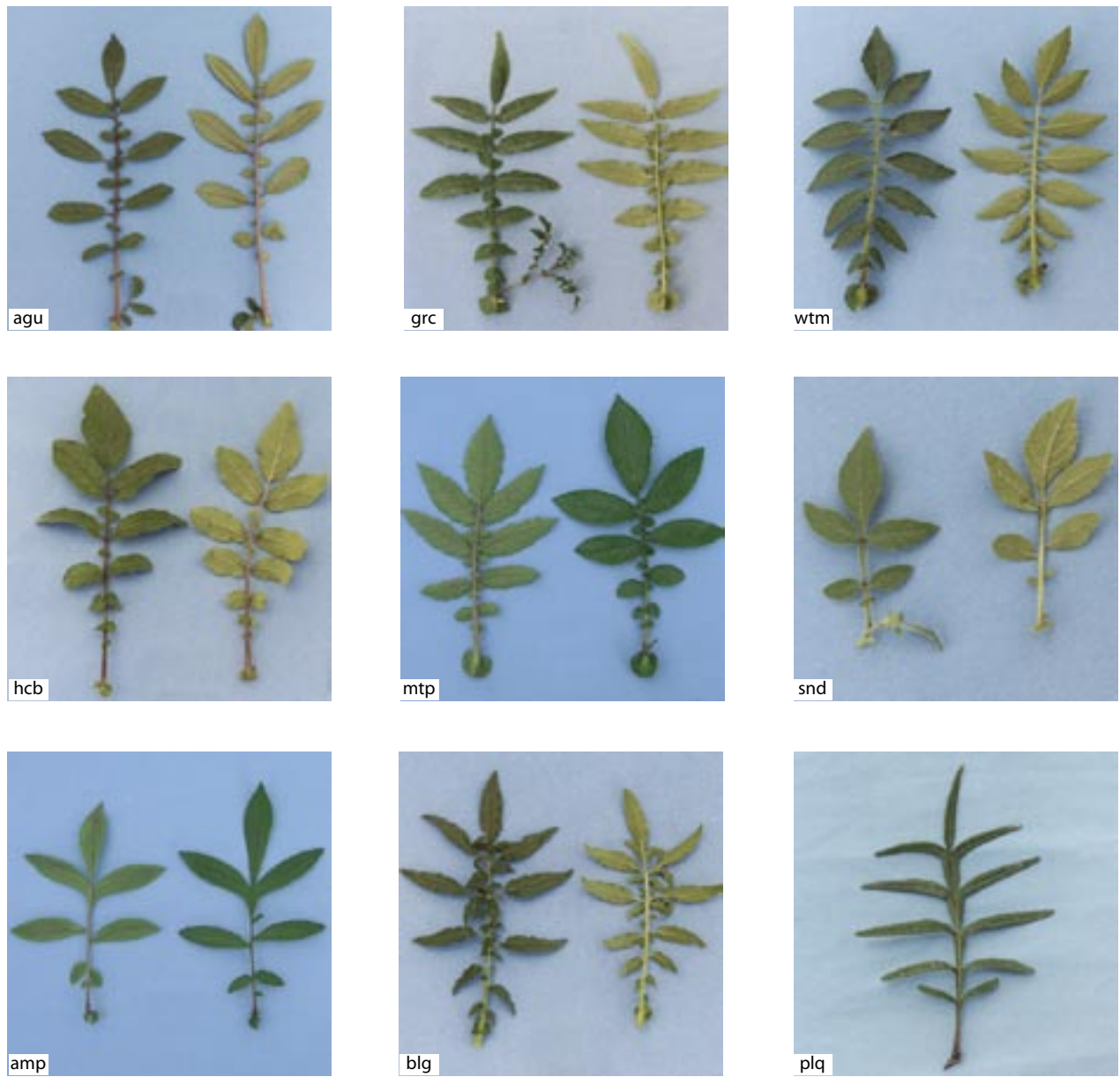


Figura 4. Diversidad de formas de hojas de especies silvestres de papa; semejantes a las cultivadas con 4-6 pares de folíolos laterales: *S.augustii* (agu), *S.gracilifrons* (grc), *S. wittmackii* (wtm) o con menor pares de folíolos: *S. huancabanbense* (hcb), *S.multiinterruptum* (mtp), *S.sandemanii* (snd); exóticas: *S. anamatophilum* (amp), *S.xblanco-galdosii* (blg), *S.peloquinianum* (plq).

Flores

Los colores y las formas de la corola son también muy variables. Un grupo de especies muestran características presumiblemente de las papas primitivas; tienen corolas en forma de estrella y generalmente son de color blanco, o blanco teñido con azul o púrpura (Fig. 5); este es el caso de *S. cardiophyllum* (cph), *S. brachistotrichum* (bst). Otras son de forma pentagonal como de *S. augusti* (agu), *S. boliviense* (blv), *S. xblanco-*

galdosii (blg), *S. chiquidenum* (chq) y rotaceas como las de *S. ancophilum* (acp), *S. coelestispetalum* (cop) *S. avilesii* (avl); semirotaacea *S. anamatophilum* (amp). Estas últimas formas se encuentran representadas en las cultivadas. Los colores de la corola son más típicamente azules a púrpura. En *S. boliviense* (blv), *S. anamatophilum* (amp) y casos muy especiales como en *S. avilesii* (avl), se aprecia la estrella de la corola visiblemente muy pigmentada.



Figura 5. Diversidad de formas y colores de flores de papas silvestres. Primitivas, estrelladas y blancas *S. cardiophyllum* (cph), *S. stenophyllum* (sph); semiestrelladas *S. boliviense* subsp. *astleyi* (ast), *S. albornozii* (abz); pentagonales *S. augustii* (agu), *S. boliviense* (blv), *S. blanco-galdosii* (blg), *S. chiquidenum* (chq); rotaceas *S. ancophilum* (acp), *S. anamatophilum* (amp), *S. coelestispetalum* (cop), *S. avilesii* (avl).

Frutos

Los frutos de la mayoría de las especies silvestres y cultivadas de papa son globosas (Fig. 6), como se observa en *S. acroglossum* (acg), *S. cantense* (cnt). Algunas son cónicas, como las de *S. limbaniense* (lmb), *S. jalcae* (jlc); hay formas intermedias que son ovoides,

como en el caso de *S. rhomboideilanceolatum* (rhl). Otras son de forma alargada-capsicoides como de *S. circaeifolium* (crc), *S. circaeifolium* var. *capcisibaccatum* (cap). El color de los frutos puede variar de verde a púrpura, y a casi blancos en su superficie entera, o con combinaciones jaspeadas o punteadas de estos colores.



Figura 6. Diversidad de formas y colores de fruto de algunas papas silvestres: Capsicoides como las de *S. circaeifolium* (crc), *S. circaeifolium* var. *capcisibaccatum* (cap); cónicas *S. commersonii* (cmm), *S. berthaultii* (ber), *S. limbaniense* (lmb), *S. jalcae* (jlc); oval cónicas *S. verrucosum* (ver), *S. acroglossum* (acg), *S. rhomboideilanceolatum* (rhl), redondos *S. simplicissimum* (smp), *S. cantense* (cnt), *S. ambosinum* (amb).

3. Origen y distribución geográfica de la papa

La papa se ha originado en la cuenca del Titicaca, conocida como la meseta del Collao, en lo que actualmente es territorio del Perú y Bolivia. En esta región ocurren cerca del 50 % de las especies silvestres y las 8 especies cultivadas (Cuadro 1).

Las especies silvestres están distribuidas en 16 países, desde el Suroeste de Estados Unidos, México, El Salvador, Honduras, Costa Rica, Panamá, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Paraguay, Uruguay, Argentina hasta la costa central de Chile (Fig.

7). La mayoría de las 187 especies de papas silvestres son raras y endémicas. En general, habitan entre 38 °N y 41 °S, con más especies en el hemisferio meridional. La mayor riqueza de especies ocurre al norte de Argentina, centro de Bolivia, centro del Ecuador, centro de México y norte, centro y sur del Perú. Las papas silvestres crecen desde el nivel del mar hasta 4400 msnm, pero con mayor frecuencia entre altitudes de 2000 y 4000 msnm (Hjimans y Spooner, 2001).

En el Perú las papas silvestres y cultivadas están distribuidas a lo largo de su territorio, de acuerdo a la gran diversidad de ecosistemas debido a la presencia de la cordillera de los Andes y la corriente marina de Humboldt.

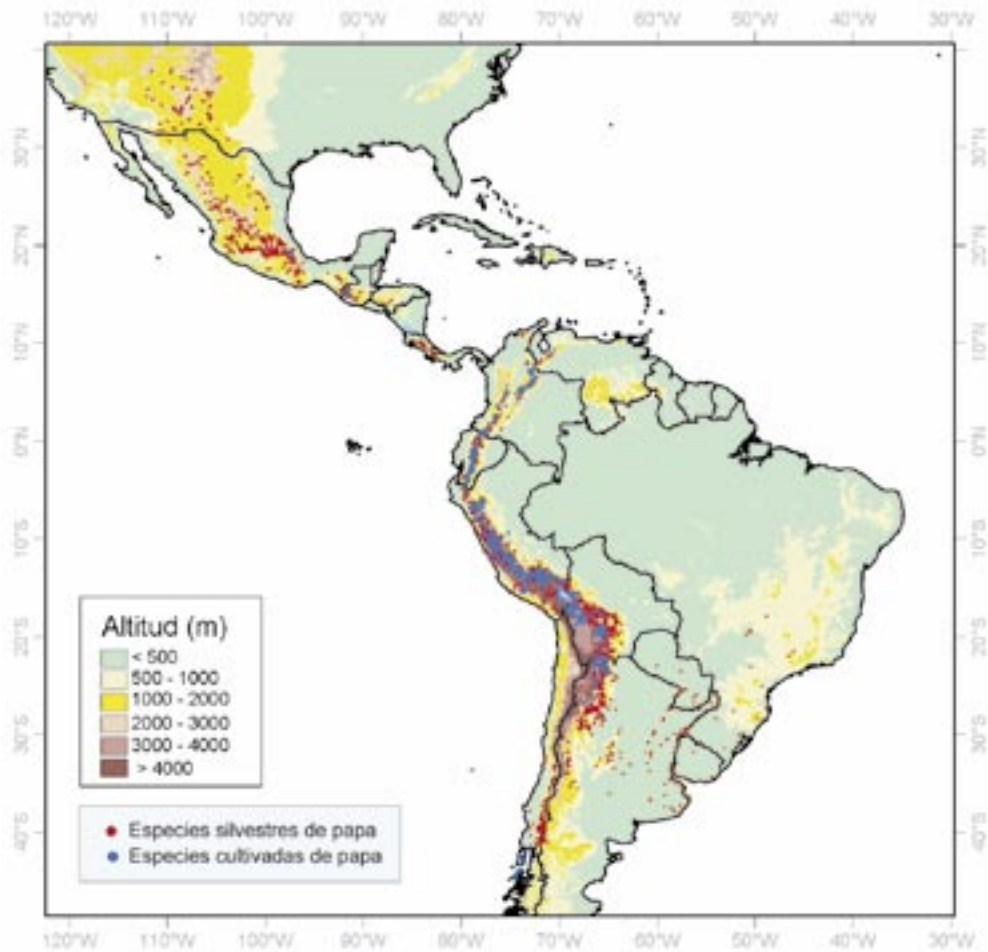


Figura 7. Distribución de las especies cultivadas y sus parientes silvestres en el continente americano.

En el Perú, las especies de papa están distribuidas en 20 de los 24 departamentos del Perú: Amazonas, Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cuzco, Huancavelica, Huanuco, Junín, La Libertad, Lambayeque, Lima, Moquegua, Pasco, Piura, Puno, San Martín y Tacna (Fig. 8).

Cuzco, Huancavelica, Huanuco, Junín, La Libertad, Lambayeque, Lima, Moquegua, Pasco, Piura, Puno, San Martín y Tacna (Fig. 8).

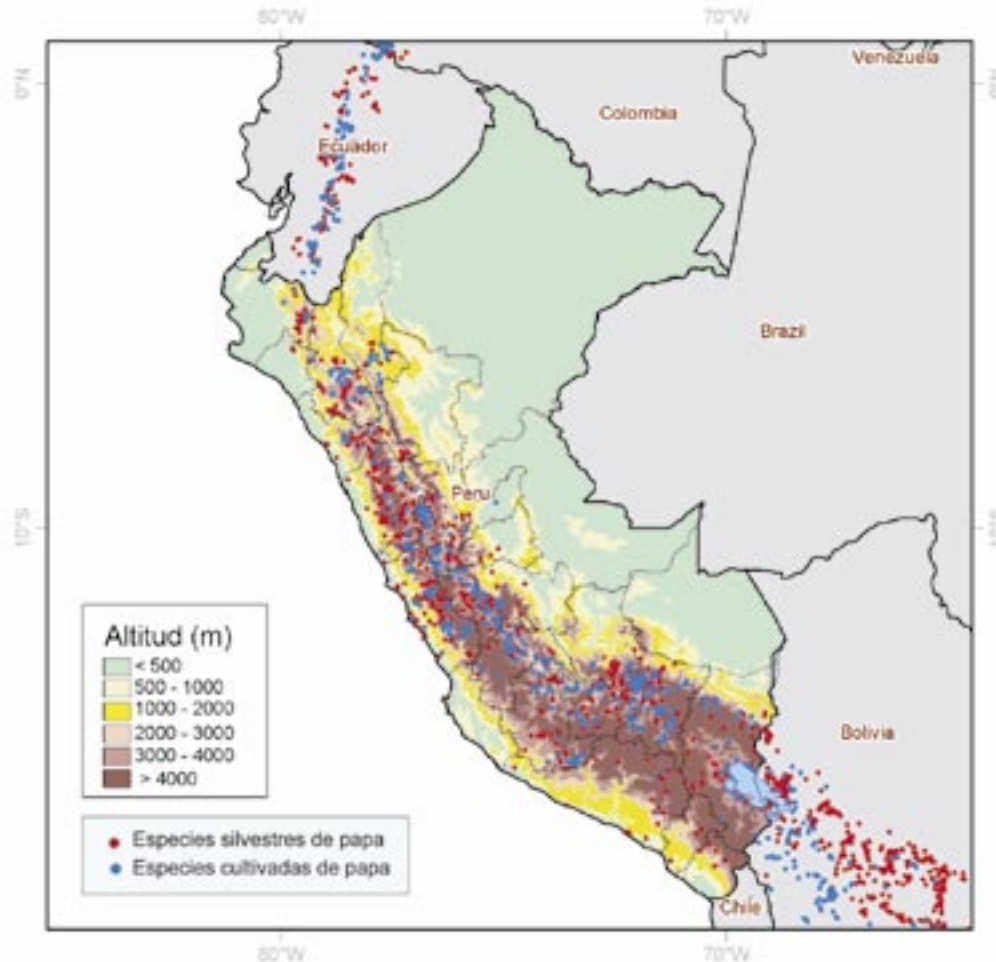


Figura 8. Distribución de especies silvestres y cultivadas en el Perú.

Las especies silvestres encontradas en el Perú, mayormente son endémicas, representadas por pocas y pequeñas poblaciones, en hábitat específicos, localizados en cada uno de los departamentos del Perú. Sin embargo algunas especies están ampliamente distribuidas, representadas por grandes poblaciones y estas por numerosos individuos en muy diversos hábitats, variando de acuerdo a la latitud y altura. Esto ocurre con las especies *S. acaule* (acl), *S. bukasovii* (buk); son más frecuentes las de hábitat zonificado, como se indica a continuación:

- Norte: *S. albicans* (alb), *S. chomatophilum* (chm), *S. sogarandinum* (sgr).
- Centro: *S. imite* (imt), *S. multiinterruptum* (mtp).
- Sur: *S. sparsipilum* (spl), *S. raphanifolium* (rap), *S. marinasense* (mrn).

Muchas de estas especies espacialmente viven entre los cultivos en los valles interandinos (spl, rap), en las punas o jalcas (acl, buk, chm). Además dentro del territorio peruano se han domesticado las 8 especies cultivadas agrupadas como sigue:

- (i) Diploides ($2n = 2x = 24$): *S. xajanhui*, *S. goniocalyx*, *S. phureja*, *S. stenotomum*.
- (ii) Triploides ($2n = 3x = 36$): *S. xchaucha*, *S. xjuzsepsuckii*.
- (iii) Tetraploide ($2n = 4x = 48$): *S. tuberosum* Subsp. *andigena* y la pentaploide ($2n = 5x = 60$) *S. xcurtilobum*.

encuentran siete especies; de éstas, cuatro son endémicas: *S. huancabambense*, *S. ingifolium*, *S. piurae* y *S. raquialatum*.

En el departamento de Junín se encuentra el hábitat de seis especies; de estas dos son endémicas de las vertientes orientales de la cordillera de los Andes; una *S. neovargasii*, vive en el valle tropical, de bosque húmedo en Chanchamayo y la otra *S. rhomboideilanceolatum* se le encuentra habitando al este de Huancayo en la ladera oriental del Nevado Huaytapallana (Fig. 10).

En los mapas siguientes se puede apreciar la distribución geográfica de las papas silvestres en algunos departamentos del Perú. En el departamento de Piura, en las Provincias orientales tropicales húmedas, de Ayabaca y Huancabamba (Fig. 9) se

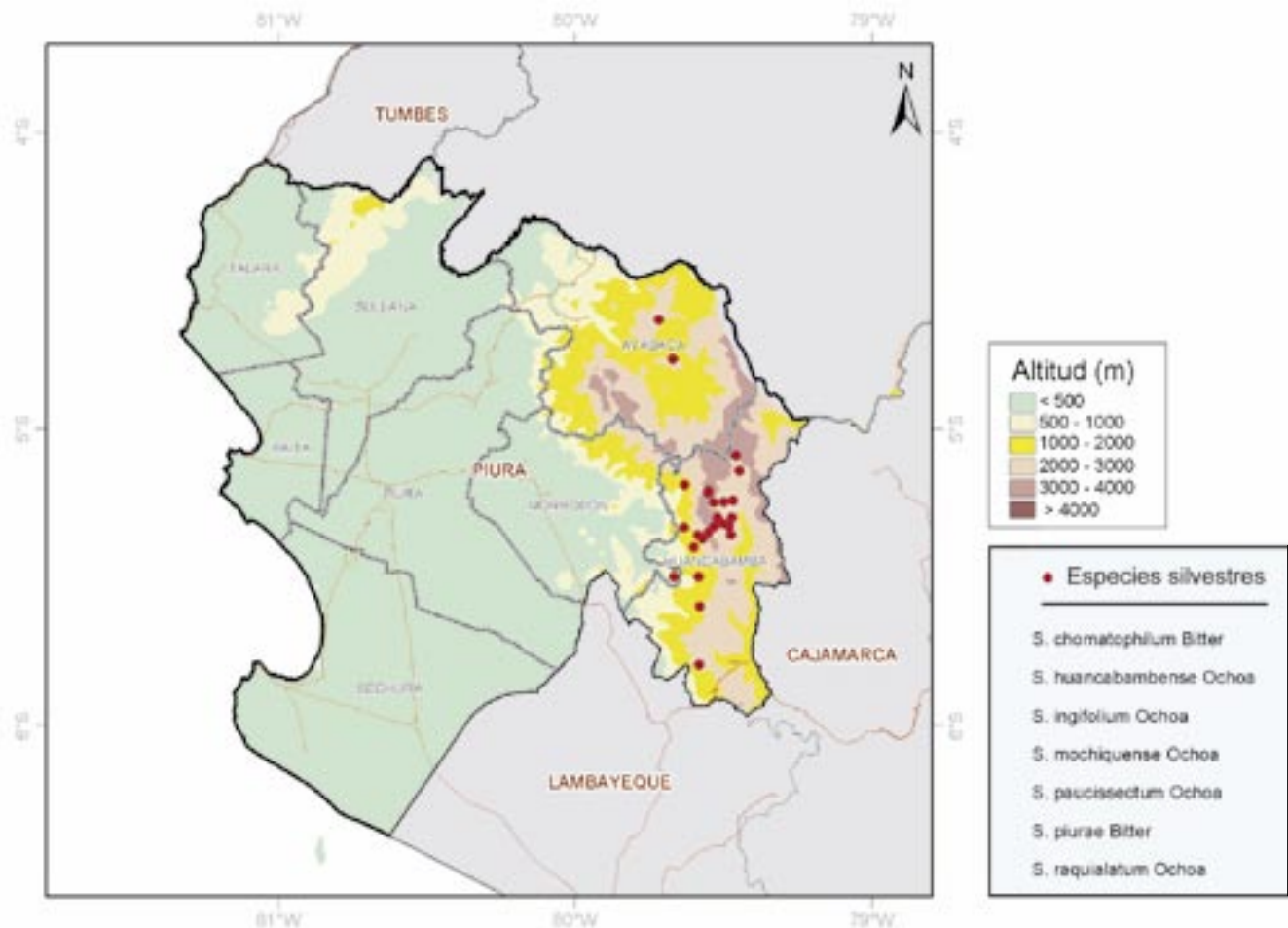


Figura 9. Distribución de especies silvestres de papa en el departamento de Piura.

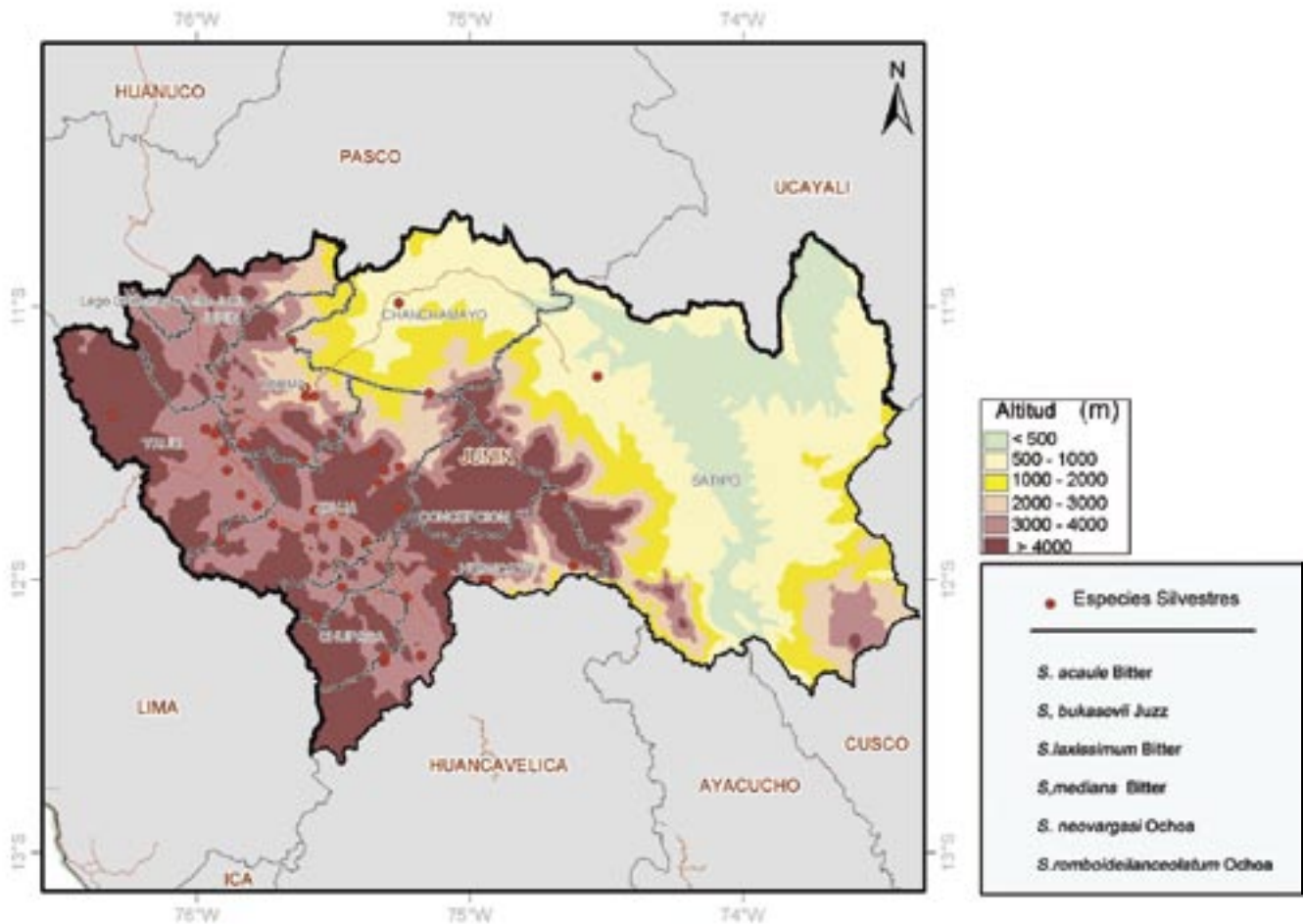


Figura 10. Distribución de especies de papas silvestres en el departamento de Junín.

El departamento de Lima, tiene dos regiones naturales: costa y sierra; en éstas habitan, 17 especies de *Solanum* tuberíferos silvestres, de las cuales 6 son endémicas. En la costa, en las formaciones denominadas Lomas; hacia el norte en Lachay, vive *S. chancayense*. Hacia el sur en las Lomas al este de San Bartolo y Mala habita *S. xneoweberbaueri* en las vertientes occidentales de la cordillera de los Andes que la atraviesa, entre 2000

a 3000 msnm. En las laderas de los valles de Pativilca, Chancay, Chillón, Santa Eulalia y Rimac habitan *S. wittmakii* y *S. cantense*. En los valles de Chancay, Chillón y Caca que pertenecen a la cuenca del valle de Cañete, se encuentra *S. simplicissimum*; en la cuenca del Chillón, en la micro cuenca de Arahuy, vive la especie *S. xarahuayum*. (Fig. 11).

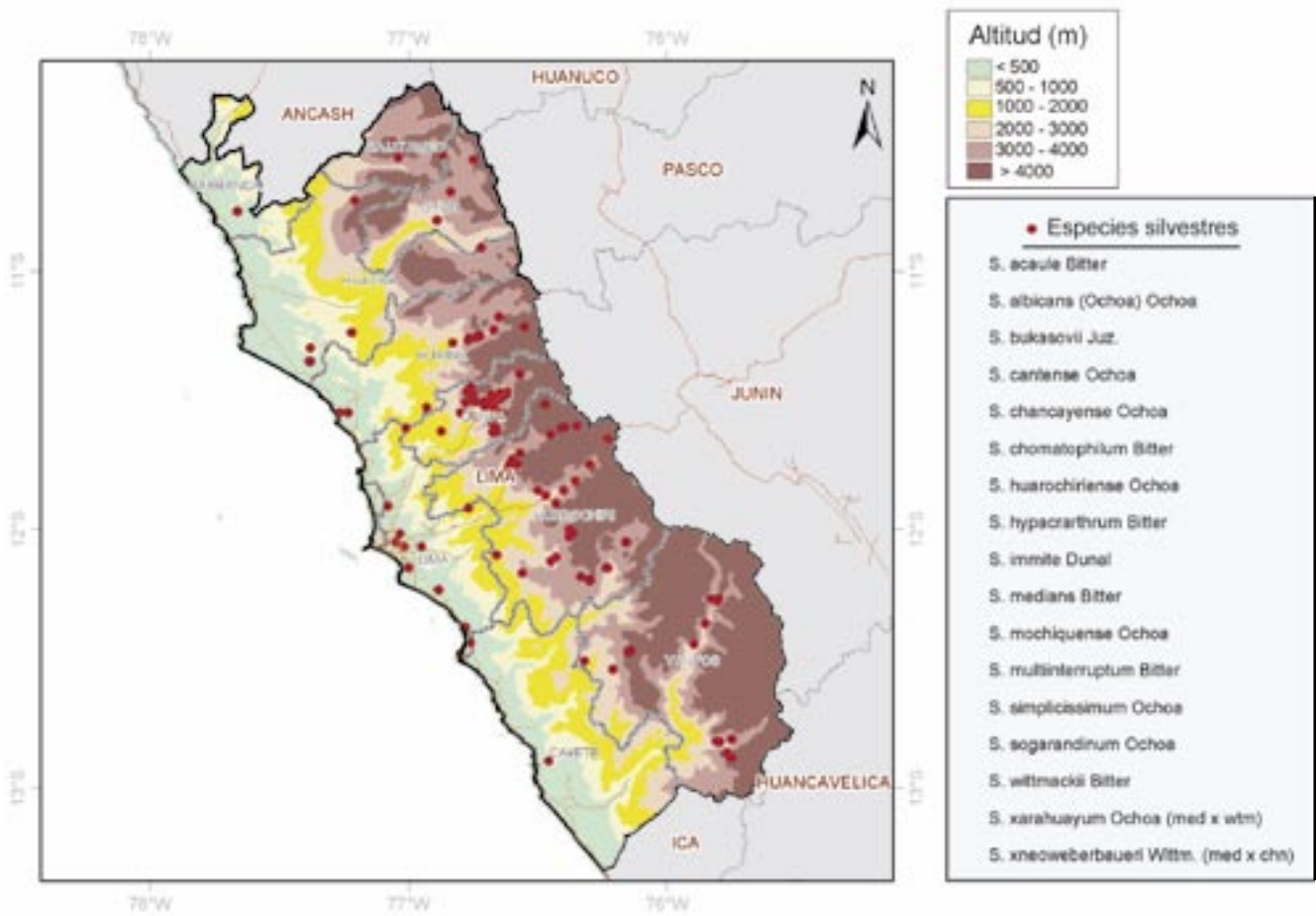


Figura 11. Distribución de especies silvestres de papas en el departamento de Lima.

En el departamento del Cusco hay dos regiones naturales definidas: sierra y selva y en sus territorios se han reportado 17 especies de papas silvestres que habitan ambas regiones, en una gran diversidad de habitats. De estas, ocho son endémicas y viven en la cuenca del río Urubamba en diferentes ecosistemas: (i) *S. buesii*, *S. incasicum* en las zonas altas frías y húmedas, entre las ruinas de Puyupatamarca y Runkurakkay, (ii)

S. lignicaule cerca a las ruinas de Intihuatana, Pisac y en Chojlla, Paruro, (iii) *S. santolallae* en bosque húmedo, cerca a Wiñaywayna; (iv) *S. tarapatanum* en zonas xerófitas de Tarapata, cerca de la ciudad de Urubamba y cerca a Machupicchu y en el valle del Mapocho, en bosques tropicales arbóreos húmedos vive *S. urubambae*; en la cuenca del Paucartambo la especie *S. pillahuatense* (Fig. 12).

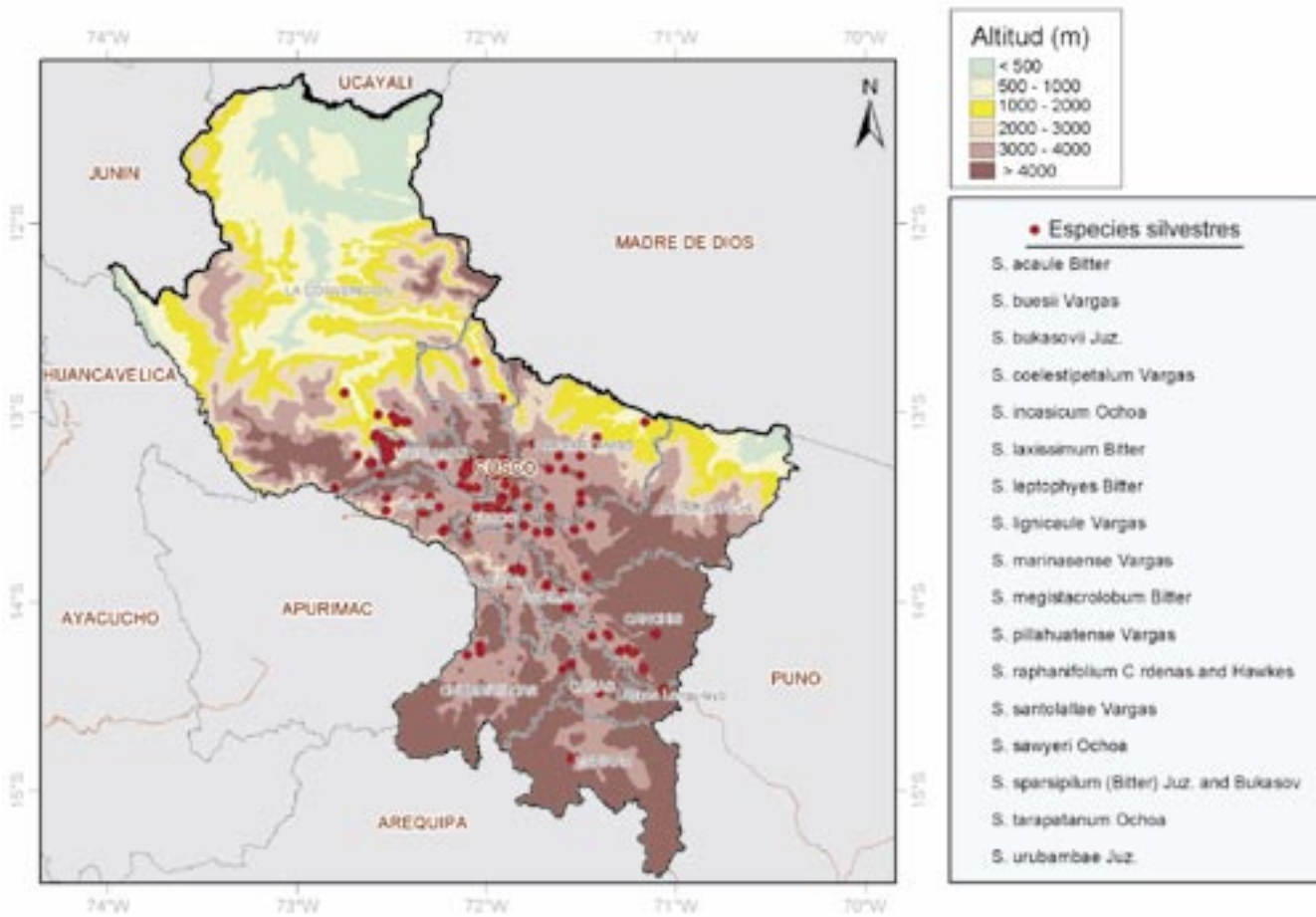


Figura 12. Distribución de especies de papas silvestres en el departamento del Cusco.

4. Hábitats de la papa

Las especies de papa crecen en una variedad asombrosa de hábitats. En los climas muy estacionales como en las formaciones especiales de las lomas de la costa árida peruana se presentan en:

- Departamento de La Libertad, Provincia Trujillo, Lomas de Cerro Campana donde vive *S. mochiquense* (mcq) (Fig.13).
- Departamento de Lima, Provincia de Chancay, Lomas de Lachay, localidad Tipo de *S. chancayense* (chn), (Fig. 14); Provincia de Huarochiri, Distrito Santo Domingo de los Olleros, Lomas al Este San Bartolomé, localidad Tipo de *S. imite* var. *vernale* (vrn), (Fig. 13); estas formaciones se presentan en Arequipa, Moquegua y Tacna. En años de

ocurrencia del fenómeno climático del Niño, estos territorios son mucho más extensos.

En la vertiente occidental semiárida de la cordillera de los Andes:

- En el norte, viven las especies exóticas: *S. olmosense*, en bosques secos cerca del paso de Porculla, Olmos, Lambayeque y *S. guzmanguense* en Getón, laderas del Cerro Chungarran, Guzmango, Contumaza, Cajamarca.
- En el centro viven: *S. augustii* (agu), Cuesta de Mellizo, cerca del margen izquierdo del río Aldabe, Aija, Ancash; *S. wittmackii* (wtm) (Fig. 15) Cuesta de Huamantanga, Canta, Lima; en el sur en Moquegua y Tacna es hábitat de *S. tacnaense* y *S. acroscopicum*.



Figura 13. Diferentes hábitat de algunas especies de papas silvestres peruanas: *S. mochiuense* (mcq), *S. imite* (imt), *S. hastiforme* (hsf), *S. imite* var. *vernale* (vrl), *S. lopez-camarenae* (lpc).

En la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, tienen como hábitat un gran número de especies muy importantes adaptadas a condiciones tropicales húmedas, con presiones muy altas de plagas y enfermedades.

- En el norte: *S. humectophilum*, Leymebamba, Chachapoyas, Amazonas; el hábitat de *S. piurae* (pur), *S. raquialatum* (raq) (Fig. 15), bosque húmedo tropical de las laderas de Cuello del Indio, Canchaque, Huancabamba, Piura.
- En las denominadas Jalcas entre 3800 – 4000 msnm, habitan *S. sogarandinum* (sgr) en Macullida, Sánchez Carrion, La Libertad (Fig. 15), *S. hastiforme* (hsf) entre los cultivos de papas nativas, Pampa de Huaguil, Sánchez Carrion, La Libertad, *S. López-camarenae* (lpc), en Pampa de la Rioja, Socota, Cutervo, Cajamarca (Fig. 13).
- En el centro vive *S. laxissimum* en montañas tropicales húmedas y arbóreas, correspondientes a las laderas orientales de la cordillera de Tucto, cerca a la localidad de Calabaza, Pampa Hermosa, Satipo, Junín. En condiciones xerófitas, en suelos pedregosos, semiáridos, se encuentra *S. gracilifrons* (grc) (Fig. 14) entre bosques secos de la localidad llamada Balconccacca, Colcabamba, Tayacaja, Huancavelica.
- En el Sur *S. pillahuatense*, *S. santolallae*, *S. urubambae*, en la cuenca media del valle Vilcanota, en las laderas del complejo arqueológico de Machupicchu, Urubamba, Cusco. En la frontera nor-oriental de Puno, Perú con La Paz, Bolivia se encuentra a *S. yungasense*, en los bosques húmedos tropicales del río Tambopata, en el valle de San Juan del Oro, Sandia, Puno.



Figura 14. Diferentes tipos de habitats de especies silvestres de papas peruanas. *S. anamatophilum* (amp), *S. dolichocremastrum* (dcm), *S. chomatophilum* (chm), *S. chancayense* (chn), *S. huarochiriense* (hro), *S. gracilifrons* (grc).



Figura 15. Hábitat de especies silvestres de papas como: *S. piurae* (pur), *S.raquiolum* (raq), *S. peloquinianum* (plq), *S. augusti* (agu), *S. wittmakii* (wtm) y *S. rhomboidelanceolatum* (rhl).

En los valles interandinos, a diferentes latitudes y alturas:

- En el centro del Perú, Departamento de Ancash, tienen como hábitat *S. anamatophilum* (amp) Chiquian, Bolognesi; *S. dolichocreamstrum* (dcm) en laderas del Huascarán, Carhuaz; *S. chomatophilum* (chm) Yurac Corral, Parque Nacional de Llanganuco, Yungay; *S. huarochiriense* (hro) en la localidad de Pacomanta, Izcomarca, Huarochiri, Lima (Fig. 14).
- En la zona sur, en Cusco *S. marinasense*, Apurímac *S. pampasense*, Puno *S. sparsipilum*.
- En las regiones altas del norte (Jalca) se encuentran en Cajamarca: *S. albicans*, *S. chomatophilum*, *S. jalcae*, entre o bordes de los cultivos de papa nativas y comerciales; ampliamente distribuidos desde Ancash hasta Puno.
- En las Punas, entre 3400 – 4500 msnm en diversos nichos, conformado por grandes poblaciones en bordes o entre los cultivos nativos y comerciales se encuentra a *S. acaule* y *S. bukasovii*.

- En Puno, *S. megistacrolobum*, *S. tapojense* y en Ayacucho, Parinacochas a *S. sarasarae*.

5. Taxonomía de la papa

El género *Solanum* es uno de los más grandes de plantas con flores incluyendo quizás 1 500 especies de hierbas, arbustos, trepadoras y árboles. Considerado como uno de los géneros más importantes económicamente del mundo e incluyen la papa (*S. tuberosum* L.), el tomate (*L. lycopersicum* L.), la berenjena (*S. melongena* L.) y las frutas tropicales de menor importancia tales como pepino (*S. muricatum* Aiton).

La taxonomía de las papas silvestres y cultivadas localizadas en el Perú tienen el siguiente esquema de clasificación:

Genero:	<i>Solanum</i> L.,
Subgénero:	<i>Potatoe</i> (G. Don) D Arcy,
Sección:	<i>Petota</i> Dumortier
Subsección:	<i>Potatoe</i> G. Don.

Contienen 11 Series o Grupos.

Acaulia Juz.,

Conicibaccata Bit.,

Cuneolata Haw.,

Ingaefolia Ochoa,

Lignicaulia (Buk.) Gorbatenko.,

Megistacroloba Card. y Haw.,

Olmosiana Ochoa,

Piurana Haw.,

Simplicíssima Ochoa,

Tuberosa (Rydbb.) Haw.

Yungasensa Haw.

Citológicamente la Subsección *Potatoe* G. Don., contiene un complejo de especies poliploides, conformada por diploides (2x), triploides (3x), tetraploides (4x), pentaploides (5x) y exaploides (6x) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Relación de especies cultivadas y silvestres del Perú

I.-CULTIVADAS					
SERIE	ESPECIE	AÑO	ABR	NC	EBN
TUB	<i>S. goniocalyx</i> Juz. et Buk.		gon	24	2
TUB	<i>S. phureja</i> Juz. et Buk.	1929	phu	24	2
TUB	<i>S. stenotomum</i> Juz. et Buk.	1929	stn	24	2
TUB	<i>S. tuberosum</i> subsp. <i>andigena</i> (Juz. et. Buk.) Hawkes	1956	adg	48	4
TUB	<i>S. xajahuiri</i> Juz. et Buk. (mgaxstn)	1929	ajh	24	2
TUB	<i>S. xchaucha</i> Juz. et Buk. (stnxadg)	1929	cha	36	
TUB	<i>S. xcurtilobum</i> Juz. et Buk. (juzxadg)	1929	cur	60	
TUB	<i>S. xjuzepczukii</i> Buk. (aclxstn)	1929	juz	36	
II.-SILVESTRES					
SERIE	ESPECIE	AÑO	ABR	NC	EBN
ACA	<i>S. acaule</i> Bitter.	1913	acl	48	2
ACA	<i>S. acaule</i> f. <i>incuyo</i> Ochoa.	1994	inc	48	2
PIU	<i>S. acroglossum</i> Juz.	1937	acg	24	2
TUB	<i>S. acroscopicum</i> Ochoa	1953	acs	24	
ACA	<i>S. albicans</i> Ochoa	1960	alb	72	4
TUB	<i>S. amayanum</i> Ochoa	1989	amy	24	2
TUB	<i>S. ambosinum</i> Ochoa	1954	amb	24	2
CUN	<i>S. amatophilum</i> Ochoa	1964	amp	24	2
TUB	<i>S. ancophilum</i> (Corr.) Ochoa	1983	acp	24	2
TUB	<i>S. ancoripae</i> Ochoa.	1999	anp	24	
PIU	<i>S. aridophilum</i> Ochoa	1972	adp	24	2
TUB	<i>S. augustii</i> Ochoa	1956	agu	24	1
CON	<i>S. ayacuchense</i> Ochoa	1959	ayc	24	2
TUB	<i>S. aymaraesense</i> Ochoa	1987	aym	24	
TUB	<i>S. bill-hookeri</i> Ochoa	1988	bhk	24	
CON	<i>S. buesii</i> Vargas	1943	bue	24	2
TUB	<i>S. bukasovii</i> f. <i>multidissectum</i> (Hawkes) Ochoa.	1999	mlt	24	2
TUB	<i>S. bukasovii</i> Juz.	1929	buk	24	2
CON	<i>S. burkartii</i> Ochoa	1972	brk		
TUB	<i>S. cajamarquense</i> Ochoa	1959	cjm	24	1
TUB	<i>S. candolleianum</i> Berthault	1911	cnd	24	2
PIU	<i>S. cantense</i> Ochoa	1959	cnt	24	2
TUB	<i>S. chancayense</i> Ochoa	1959	chn	24	1
TUB	<i>S. chillonamum</i> Ochoa	1989	cil	24	
PIU	<i>S. chiquidenum</i> f. <i>amazonense</i> Ochoa.	1994	ama	24	
PIU	<i>S. chiquidenum</i> Ochoa	1954	chq	24	2
PIU	<i>S. chiquidenum</i> var. <i>gracile</i> Ochoa.	1994	gcl	24	2
PIU	<i>S. chiquidenum</i> var. <i>robustum</i> Ochoa.	1994	rob	24	
CON	<i>S. chomatophilum</i> Bitter	1924	chm	24	2
CON	<i>S. chomatophilum</i> f. <i>sausianense</i> Ochoa.	1994	sau	24	2

CON	<i>S. chomatophilum</i> var. <i>subnivale</i> Ochoa.	1994	sbn	24	2
TUB	<i>S. coelestipetalum</i> Vargas	1956	cop	24	2
CON	<i>S. contumazaense</i> Ochoa	1964	ctz	24	2
MEG	<i>S. dolichocremastrum</i> Bitter	1913	dcm	24	1
TUB	<i>S. gracilifrons</i> Bitt.	1916	grc	24	
SIM	<i>S. guzmanguense</i> Whalen & Sagást.	1986	gzm	24	1
MEG	<i>S. hastiforme</i> Correll	1961	hsf	24	2
TUB	<i>S. huancabambense</i> Ochoa	1959	hcb	24	2
TUB	<i>S. huancavelicae</i> Ochoa.	1999	hcv	24	
TUB	<i>S. huarochiriense</i> Ochoa	1962	hro	24	2
PIU	<i>S. humectophilum</i> Ochoa	1969	hmp	24	1
PIU	<i>S. hypacarthrum</i> Bitter	1912	hcr	24	1
TUB	<i>S. immite</i> Dunal	1852	imt	24	1
TUB	<i>S. immite</i> var. <i>vernale</i> Corr.	1961	vrl		
TUB	<i>S. incahuasinum</i> Ochoa	1979	inh	24	1
TUB	<i>S. incasicum</i> Ochoa	1981	ins	24	
ING	<i>S. ingifolium</i> Ochoa.	1959	igf	24	1
CON	<i>S. irosinum</i> f. <i>tarrosom</i> Ochoa.	1999	trr	24	2
CON	<i>S. irosinum</i> Ochoa	1981	irs	24	2
CON	<i>S. jaenense</i> Ochoa	1960	jnn	24	2
ING	<i>S. jalcae</i> Ochoa	1954	jlc	24	2
ING	<i>S. jalcae</i> var. <i>pubescens</i> Corr.	1961	psc	24	2
CON	<i>S. laxissimum</i> Bitter	1916	lxs	24	2
TUB	<i>S. leptophyes</i> Bitter	1913	lph	24	
LIG	<i>S. lignicaule</i> Vargas	1949	lgl	24	1
CON	<i>S. limbamiense</i> Ochoa	1974	lmb	24	2
TUB	<i>S. longiusculus</i> Ochoa	1987	lgs	24	
TUB	<i>S. lopez-camarenae</i> Ochoa	1974	lpc	24	1
JUG	<i>S. lycopersicoides</i> Dunal	1912	lyc	24	
TUB	<i>S. marinasense</i> Vargas	1956	mrn	24	2
TUB	<i>S. medians</i> Bitter	1912	med	36	
TUB	<i>S. medians</i> var. <i>autumnale</i> Ochoa	1961	atm	24	2
MEG	<i>S. megistacrolobum</i> Bitter	1912	mga	24	2
MEG	<i>S. megistacrolobum</i> subsp. <i>megistacrolobum</i> f. <i>purpureum</i> Ochoa	1994	ppr	24	2
MEG	<i>S. megistacrolobum</i> subsp. <i>toralapanum</i> (Cárd.& Hawk.) Ochoa.	1994	tor	24	2
TUB	<i>S. mochiquense</i> Ochoa	1959	mcq	24	1
TUB	<i>S. multiinterruptum</i> Bitter	1913	mtp	24	2
TUB	<i>S. multiinterruptum</i> var. <i>machaytambinum</i> Ochoa.	1960	mtb	24	
TUB	<i>S. multiinterruptum</i> var. <i>multiinterruptum</i> f. <i>albiflorum</i> Ochoa.	1999	abf	24	2
CON	<i>S. nemorosum</i> Ochoa	1983	nmr	72	4
CON	<i>S. neovargasii</i> Ochoa	1962	nvg	24	
CON	<i>S. nubicola</i> Ochoa	1970	nub	48	2
OLM	<i>S. olmosense</i> Ochoa	1965	olm	24	1
TUB	<i>S. orophilum</i> Corr.	1961	orp	24	2
TUB	<i>S. pampasense</i> Hawkes	1944	pam	24	2
CON	<i>S. pascoense</i> Ochoa	1959	psc	24	2
PIU	<i>S. paucissectum</i> Ochoa	1960	pcs	24	2
CUN	<i>S. peloquinianum</i> Ochoa	1980	plq	24	2
CON	<i>S. pillahuatense</i> Vargas	1956	pll	24	2
PIU	<i>S. piurae</i> Bitt.	1916	pur	24	2
TUB	<i>S. puchupuchense</i> Ochoa.	1999	pch	24	
MEG	<i>S. raphanifolium</i> Cárdenas & Hawkes	1946	rap	24	2
ING	<i>S. raquiialatum</i> Ochoa	1959	rac	24	1
CON	<i>S. regularifolium</i> Corr.	1961	rgf		
CON	<i>S. rhomboideilanceolatum</i> Ochoa	1952	rhl	24	2

CON	<i>S. salasianum</i> Ochoa	1989	sls	24	
TUB	<i>S. sandemanii</i> Hawkes	1954	snd	24	
CON	<i>S. santolallae</i> Vargas	1943	san	24	2
TUB	<i>S. sarasarae</i> Ochoa	1988	srs	24	2
TUB	<i>S. sawyeri</i> Ochoa	1981	swy	24	2
TUB	<i>S. saxatilis</i> Ochoa.	1992	sax	24	2
TUB	<i>S. scabrifolium</i> Ochoa	1972	scb	24	
SIM	<i>S. simplicissimum</i> Ochoa.	1989	spc	24	1
MEG	<i>S. sogarandinum</i> Ochoa	1954	sgr	24	2
TUB	<i>S. sparsipilum</i> (Bitt.) Juz. et Buk.	1937	spl	24	2
TUB	<i>S. tacnaense</i> f. <i>decurrentialatum</i> (Ochoa) Corr.	1961	dct	24	2
TUB	<i>S. tacnaense</i> Ochoa	1953	tcn	24	2
TUB	<i>S. tapojense</i> Ochoa	1980	tpj	24	2
TUB	<i>S. tarapatanum</i> Ochoa	1977	trp	24	
CON	<i>S. taulisense</i> Ochoa	1981	tau	24	
TUB	<i>S. trinitense</i> Ochoa	1964	trt	24	1
CON	<i>S. urubambae</i> f. <i>chajchabambense</i> Ochoa.	1999	chj	24	2
CON	<i>S. urubambae</i> f. <i>velutinum</i> (Corr.) Ochoa.	1999	vlv	24	2
CON	<i>S. urubambae</i> Juz.	1937	uru	24	2
TUB	<i>S. wittmackii</i> Bitt.	1913	wtm	24	1
CUN	<i>S. xblanco-galdosii</i> Ochoa (ampxplq)	1973	blg	24	2
TUB	<i>S. xneoweberbaueri</i> Wittm. (medxchn)	1999	nwb	36	
PIU	<i>S. yamobambense</i> Ochoa	1960	ymb	24	
YUN	<i>S. yungasense</i> Hawkes	1954	yun	24	2

Año: Año de colecta

ABR: Abreviación de la especie

NC: Número de cromosomas

EBN: Número de balance del endospermo

6. Cruzabilidad de la papa en el Perú

En la reproducción sexual se requiere la participación de los órganos reproductivos femeninos y masculinos de las flores. Las plantas generadas por la reproducción sexual, crecen a partir de semillas verdaderas. En la reproducción asexual o vegetativa, se reproducen descendientes genéticamente idénticos, o clonales, a la planta inicial.

Durante miles de años, las especies silvestres de papa han estado sometidas a selección natural en condiciones diversas y muchas veces desfavorables. Muchas han desarrollado características hereditarias valiosas para su supervivencia, que incluyen resistencia a agentes biológicos adversos -insectos, virus, nematodos, bacterias y hongos- y a factores desfavorables abióticos, como el frío, calor, sales o sequía.

Entre las propiedades hereditarias de las especies también se encuentran atributos provechosos para su calidad culinaria o industrial, como un alto contenido de materia seca, proteínas y vitaminas.

En muchos casos, es difícil obtener híbridos de papas silvestres y cultivadas, debido a barreras naturales, como niveles de ploidia, compatibilidad intra e ínter específica, balance de genes en el endospermo etc., que impiden la unión de sus células reproductivas femeninas y masculinas. Para que esta se produzca, es necesario que el tubo polínico del polen depositado por insectos, el viento o el agua, en el *estigma* de los pistilos lleguen a los óvulos, donde ocurre la fecundación, la que sólo sucede cuando hay correspondencia entre la información genética que lleva el polen y el pistilo, es decir compatibilidad. De lo contrario, cada etapa de ese avance del polen puede actuar como un obstáculo que impide el cruzamiento, presentándose la incompatibilidad.

Las mencionadas barreras a la hibridación dan lugar a que falle la germinación de los granos de polen, o a que no crezcan los tubos polínicos de una especie en los pistilos de la otra, fenómeno conocido por *incompatibilidad cruzada*, para diferenciarlo de la incompatibilidad que ocurre entre plantas de la misma especie. Aún cuando exista compatibilidad entre el polen y el pistilo y tenga lugar la fecundación, el desarrollo del endospermo o tejido de reserva de la semilla híbrida puede ser anormal e impedir que cumpla con su función nutritiva, lo que causa el aborto del embrión. Tal fenómeno, frecuente en la hibridación de las papas, generalmente se debe a un desequilibrio de genes en el endospermo, que se produce cuando se cruzan plantas con distinto número de cromosomas. Ello afecta al endospermo, porque este se origina igual que el embrión, por la unión de una célula del grano de polen con otra del saco embrionario del óvulo.

A continuación se muestran algunos resultados de cruces intra e inter específicos, entre especies cultivadas y silvestres, dirigidos en condiciones controladas, en los

invernaderos de la Estación del CIP en Huancayo. La cruzabilidad inter/intra específica es la base para que el flujo de genes pueda tener algún impacto.

Cruces intra específicos

A). Autofecundación de algunos clones de *S. stenotomum* ($2n = 2x = 24$), del Grupo 'Pitiquina', 'Mauna', cuyo hábitat son los departamentos de Cusco y Puno en el sur del Perú. Las progenies, caracterizadas morfológicamente en plantas y tubérculos, se cree que resultaron en genotipos diploides, triploides y tetraploides, por la alta frecuencia de gametos no reducidos ($2n$) androgenoides, en esta especie. La ploidía de estos serán confirmados por medio de la investigación citológica y conteo de cromosomas en puntas de raíz. En la Figura 16 se muestran las progenies semejantes a los cultivares diploides (a) 'Kewillo', (b) 'Amarilla', triploides, con anillo vascular pigmentado, del grupo 'Wamanero' y (c) tetraploides del Grupo de las 'Imillas' o 'Kkompis' del sur del Perú.

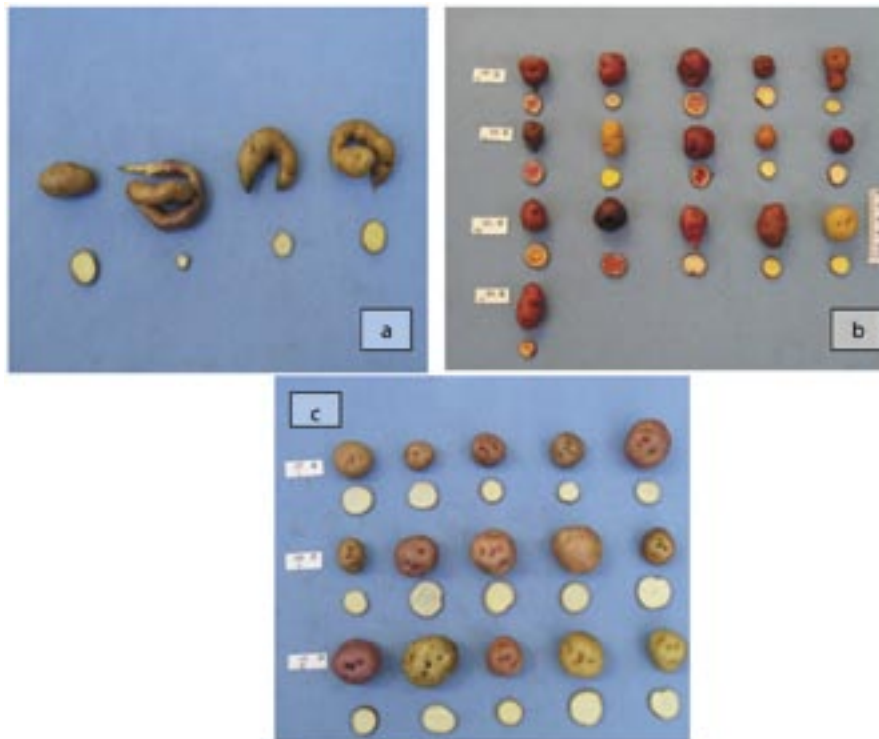


Figura 16. Genotipos de autofecundación de *S. stenotomum*, que han generado cultivares. Progenies semejantes a cultivares (a) "Kewillo", (b) "Amarilla" (con anillo vascular pigmentado) y (c) "Imillas" o "Kkompis".

B). *S. tuberosum* subsp. *andigena* var. 'Arakka' ($2n = 4x = 48$), habita como maleza en los valles interandinos de Sudamérica, encontrándose la mayor diversidad en el territorio peruano. Progenies resultantes de plantas hermanas de esta especie y variedad procedentes del Departamento Cusco, Provincia Paruro, Distrito Colcha; caracterizado morfológicamente, son muy semejantes a los cultivares nativos tetraploides: (a) 'Murusuytu', (b) 'Yurakk kusi', (c) 'Yana lomo' y (d) 'Alkka bole' (Fig. 17). Estos cultivares ampliamente distribuidos en el sur del Perú, en los Departamentos de Apurímac, Ayacucho, Cusco y Puno, demuestran la dinámica de la diversidad de los cultivares nativos.

Cruces inter específicos

A). Entre silvestres y cultivadas de diferentes series, especies, interploidos y diferente balance de endospermo. Como : **Acaulia** (ACA): *S. acaule* (acl) $2n=4x=48$, *S. albicans* (alb) $2n=6x=72$. **Conicibaccata** (CON), *S. chomatophilum* (chm) $2n=2x=24$. **Megistacroloba** (MEG), *S. megistacrolobum* (mga), *S. raphanifolium* (rap) $2n=2x=24$ y de la Serie **Tuberosa** (TUB) a) Silvestres: *S. bukasovii* (buk), *S. sparsipilum* (spl), b) Cultivadas: *S. goniocalyx* (gon), *S. phureja* (phu), *S. stenotomum* (stn) $2n=2x=24$, *S. tuberosum* subsp. *andigena* (adg) $2n=4x=48$, *S. xcurtilobum* (cur) $2n=5x=60$ e híbridos comerciales tetraploides $2n=4x=48$. Los resultados de cruces recíprocos dirigidos entre especies silvestres y cultivadas se muestran en el Cuadro 2.



Figura 17. Progenies de cruce entre plantas hermanas de *S. tuberosum* subsp. *andigena* var. Arakka. Progenies muy semejantes a cultivares nativos: (a) "Murusuytu", (b) "Yurakk Kusi", (c) "Yana Lomo" y (d) "Alkka Bole".

Cuadro 2. Resultados de cruces recíprocos interespecíficos entre especies silvestres y cultivadas, de diferentes niveles de ploidía y balance de endospermo (2x, 4x. 5x)

		ESPECIES SILVESTRES						ESPECIES CULTIVADAS							
		ACA		CON	MEG		TUB		TUB						
		acl	alb	chm	mga	rap	buk	spl	gon	Phu	Stn	Adg	cur	HIB	
		4x / 2	6x / 4	2x / 2	2x / 2	2x / 2	2x / 2	2x / 2	2x / 2	2x / 2	4x / 2	4x / 4	5x	4x / 4	
ESPECIES SILVESTRES	acl	●	●	●	●	●	●		●	●		●		●	<i>S. acaule</i>
	alb	●	—	○	▲		●			○	○			●	<i>S. albicans</i>
	chm	▲	○	—	○	○				▲	○	○		○	<i>S. chomatophilum</i>
	mga	●	○		—	●	●			●	▲	▲	▲	△	<i>S. megistacrolobum</i>
	rap		○			—				●		○			<i>S. raphanifolium</i>
	buk	▲	○	●	●		—	●	●	●		○	○		<i>S. bukasovii</i>
	spl						●	—		●	●	○	△		<i>S. sparsipilum</i>
ESPECIES CULTIVADAS	gon	▲					●		—						<i>S. goniocalyx</i>
	phu	△	△	▲		●	●	●							<i>S. phureja</i>
	stn		○	▲	●		●	●							<i>S. stenotomum</i>
	adg	○	●				●	●							<i>S. tuberosum subsp. andigena</i>
	cur	△			△		○	▲							<i>S. xcurtilobum</i>
	HIB	▲	●	●	○	●	●	▲							Híbridos

- ▲ No produjo bayas
- △ No produjo semillas
- Semillas >20
- Semillas >10<20
- Semillas <10

B). Los cruces íter series son compatibles, como en el caso de *S. acaule* tetraploide de la Serie *Acaulia*, que como hembra produce semillas viables con especies diploides y tetraploides, silvestres y cultivadas de las series *Megistacroloba* y *Tuberosa* respectivamente. Sus recíprocos tienen menor éxito como con *S. phureja* y *S. xcurtilobum*; produciéndose introgresiones, observadas en la morfología de las hojas, principalmente en el foliolo terminal y los tubérculos de las

progenies obtenidas. El polígono de cruzabilidad (Fig. 18) muestra los posibles cruces recíprocos entre tub x aca, con, meg y tub. Con la especie diploide *S. chomatophilum* de la Serie *Conicibaccata* se obtuvo semillas viables en ambas vías cuando se cruzaron con especies diploides de la Serie *Megistacroloba* y *Tuberosa* y con especies tetraploides y pentaploides de la serie *Tuberosa* (Fig. 19).

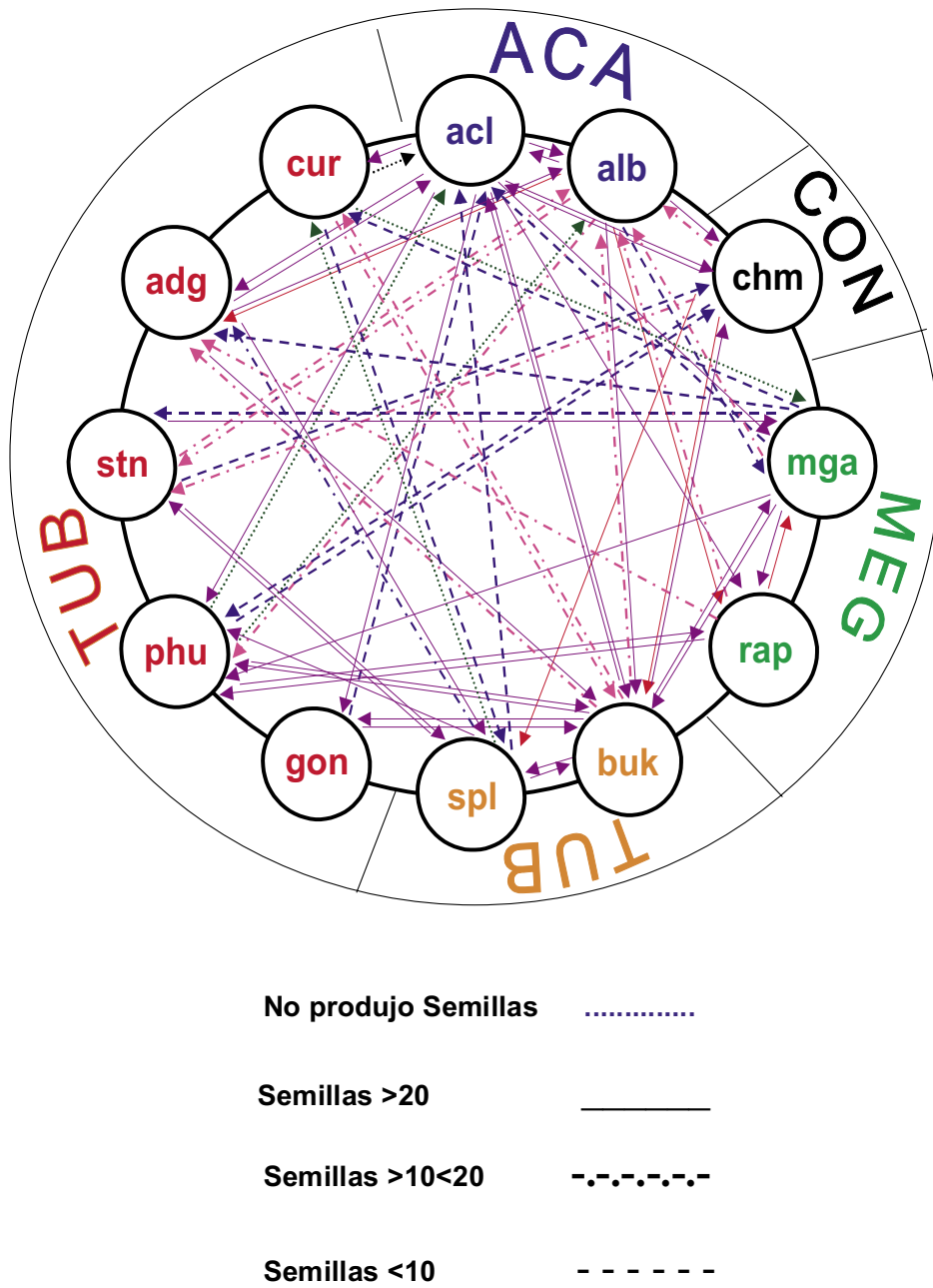


Figura 18. Polígono de cruces interespecíficos, entre especies silvestres y cultivadas.

C). En los cruces entre las especies diploides cultivadas *S. goniocalyx* (gon), *S. phureja* (phu), *S. stenotomum* (stn), así como en los cruces con las especies silvestres *S. acaule* (acl), *S. albicans* (alb), *S. chomatophilum* (chm), *S. megistacrolobum* (mga), *S. bukasovii* (buk), *S. sparsipilum* (spl), no se encuentran barreras de incompatibilidad, obteniéndose semilla sexual viables, comprobándose los posibles flujo de genes en ambas vías (Fig. 18). En la morfología de las hojas y tubérculos

se observa introgresión recíproca entre las progenies de *S. albicans* (alb) x *S. stenotomum* (stn), silvestre hexaploide y cultivada diploide, respectivamente (Fig. 19).

Estos entrecruzamientos en condiciones naturales han generado y siguen generando nuevos cultivares que los agricultores seleccionaron por sus características de adaptabilidad y favorables para el consumo.

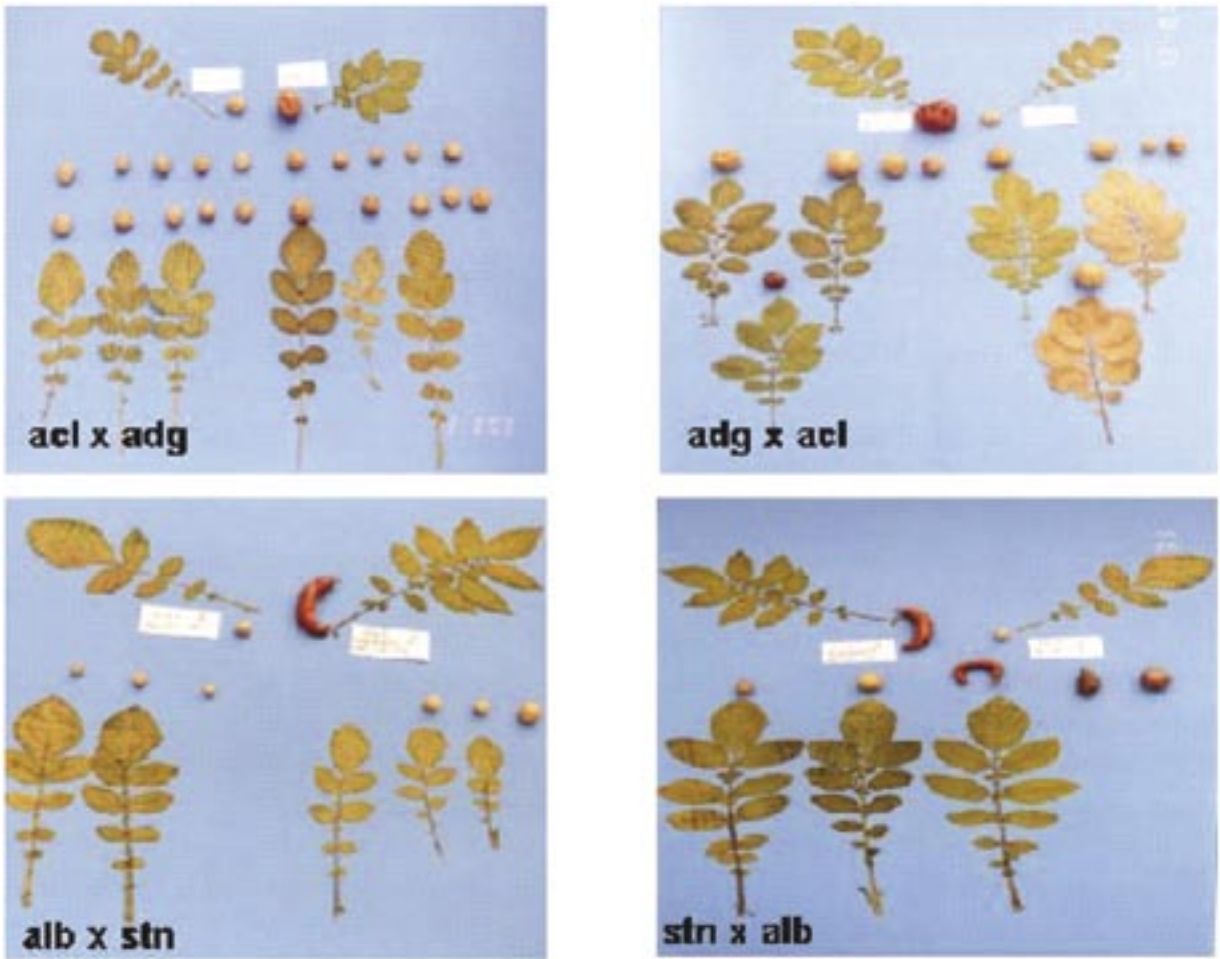


Figura 19. Cruces interespecíficos recíprocos de especies silvestres y cultivadas: *S. acaule* (acl) ($2n=4x=48$) x *S. tuberosum* subsp. *andigena* (adg) ($2n=4x=48$); *S. albicans* (alb), ($2n=6x=72$) x *S. stenotomum* (stn), ($2n=2x=24$).

Hemos demostrado que la cruzabilidad entre papas cultivadas y silvestres es posible, y que el grado de cruzabilidad, así como el impacto sobre la biodiversidad depende de una serie de factores: simpatria entre poblaciones, biología reproductiva (ploidía, número EBN, gametos no reducidos, etc), compatibilidad genética a nivel del estigma y el estilo, viabilidad del embrión híbrido y persistencia del rasgo en la nueva población (habilidad competitiva del rasgo).

El manejo de los cultivos transgénicos (riesgo y gestión) requiere de un conocimiento adecuado de los factores que arriba se mencionan. Además, y en especial en el caso del Perú como centro de origen y diversidad biológica y cultural de la papa, es importante considerar la ocurrencia frecuente de áreas dedicadas a la conservación de la biodiversidad y de la biocultura de la papa.

7. Referencias bibliográficas

- Bonierbale, M.; W. Ganal; S.D. Tanksley. 1990. Applications of restriction fragment length polymorphisms and genetic mapping in potato breeding and molecular genetics. *In*: M.E. Vayda and W.D. Park (eds.). The molecular and cellular biology of the potato, Wallingford, U.K. CAB International. p. 13-24.
- Bukasov, S.M. 1933. The potatoes of South America and their breeding possibilities. *Lenin Acad. Agr. Sci., U.R.S.S. Inst. Plant Indus. (Suppl. 58 to Bull. Appl. Bot., Genet., & Pl.-Breed, Leningrado)*, 192 p., Illus. (In Russian, English summary).
- Brucher, E.H. 1959. La importancia de las variedades autóctonas y de las especies silvestres de *Solanum* de la República Argentina para la Fitotecnia Internacional. *Rev. Argentina Agron.* 26: 53-55.
- Carrasco, E.; A. Devaux; W. Garcia; R. Ibarra; N. Estrada. 1996. Evaluación de papas transgénicas con un gen anticongelante por su tolerancia a heladas. Cochabamba, Bolivia. Oct 1996. p. 8-11.
- Castillo, R.; D.M. Spooner. 1997. Phylogenetic relationships of wild potatoes, *Solanum* series *Conicibaccata* (section *Petota*). *Systematic Botany* 22:45-83.
- Centro Internacional de la Papa. 1998. Desarrollo y utilización de papas transgénicas resistentes a enfermedades bacterianas: Memorias del Taller. Lima, Perú. Nov 1998. p. 24-26.
- Contreras, A.; D.M. Spooner. 1999. Revision of *Solanum* section *Etuberosum*. *In*: M. Nee; D.E. Symon; J.P. Jessop (eds.). *Solanaceae IV: Advances in biology and utilization*, Kew, U.K.: Royal Botanic Gardens, p. 227-245.
- Corell, D.S. 1962. The Potato and Its wild relatives. Section *Tuberarium* of the Genus *Solanum*. Published by Texas Research Foundation, Renner, Texas. Book. p. 606.
- Cribb, P.J.; J.G. Hawkes. 1986. Experimental evidence for the origin of *Solanum tuberosum* subspecies *andigenum*. *In*: W.G. D'Arcy (ed.). *Solanaceae: biology and systematics*. New York, New York: Columbia University Press, p. 384-404.
- Cutter, E.G. 1992. Structure and development of the potato plant. *In*: P. M. Harris, (ed.). The potato crop: The scientific basis for improvement. London, U.K.: Chapman and Hall, p. 65-161.
- D'Arcy, W.G. 1991. The Solanaceae since 1976, with a review of its biogeography. *In*: J.G. Hawkes, R.N. Lester, M. Nee, and N. Estrada (eds.). *Solanaceae III: Taxonomy, chemistry, evolution*, Kew, U.K.: Royal Botanic Gardens, p. 75-137.
- Debener, T.; F. Salamini; C. Gebhardt. 1990. Phylogeny of wild and cultivated *Solanum* species based on nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). *Theoretical and Applied Genetics*. 79:360-368.
- Dodds, K.S. 1962. Classification of cultivated potatoes. *In*: D.S. Correll (ed.). The potato and its wild relatives. Contributions from Texas Research Foundation: Botanical Studies 4:517-539.

- Dodds, K.S.; G.J. Pasman. 1962. The genetic system of cultivated potatoes. *Evolution* 16:154-167.
- Dunal, M.F. 1852. *Solanum*. In: A.P. DeCandolle (ed.). *Prodromus* 13, A.P. DeCandolle (ed.). Paris, France: Treuttel and Würtz, p. 27-387.
- Greuter, W.; J. McNeill; F.R. Barrie; H.M. Burdett; V. Demoulin; T.S. Filgueiras; D.H. Nicolson; P.C. Silva; J.E. Skog; P. Trehane; N.J. Turland; D.L. Hawksworth (Eds. and Compilers). 2000. *International Code of Botanical Nomenclature (St. Louis Code)*. *Regnum Vegetabile* 138:1-474.
- Grun, P. 1990. The evolution of cultivated potatoes. In: P.K. Bretting (ed.). *New perspectives on the origin and evolution of New World domesticated plants*, *Economic Botany (3 Supplement)* 44:39-55.
- Hawkes, J.G. 1990. *The potato evolution, Biodiversity and genetic resources*. Belhaven Press (a division of Printer Publisher), London. 259 p.
- Hawkes, J.G.; J. Francisco-Ortega. 1992. The potato in Spain during the late 16th century. *Economic Botany* 46:86-97.
- Hettterscheid, W.L.A.; W.A. Brandenberg. 1995. Culton vs. taxon: conceptual issues in cultivated plant systematics. *Taxon* 44:161-175.
- Hijmans, R.; D.M. Spooner. 2001. Geographic distribution of wild potato species. *American Journal of Botany* 88:2101-2112.
- Hosaka, K. 2003. T-type chloroplast DNA in *Solanum tuberosum* L. subsp. *tuberosum* was conferred by some populations of *S. tarijense* Hawkes. *American Journal of Potato Research* 80:21-32.
- Hosaka, K.; R.E. Hanneman, Jr. 1988. The origin of the cultivated tetraploid potato based on chloroplast DNA. *Theoretical and Applied Genetics* 76:172-176.
- Huamán, Z.; J.G. Hawkes; P.R. Rowe. 1982. A biosystematic study of the origin of the diploid potato, *Solanum ajanhuiri*. *Euphytica* 31:665-675.
- Huamán, Z.; D.M. Spooner. 2002. Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* section *Petota*). *American Journal of Botany* 89:947-965.
- Juzepczuk, S.W.; Bukasov, S.W. 1929. A contribution of the question of the origin of the potato. *Proc. U.S.S.R. Cong. Genet. Plant and Animal Breed.* 3: 593-611. In *Russian*. English summary, p. 600-611.
- Kardolus, J.P. 1999. Morphological variation within series *Acaulia* Juz. (*Solanum* section *Petota*). In: M. Nee; D.E. Symon; R.N. Lester; J.P. Jessop (eds.). *Solanaceae IV, Advances in biology and utilization*, Kew, U.K.: Royal Botanic Gardens, p. 257-274.
- Ochoa, C. 1962. *Los Solanum Tuberiferos Silvestres del Perú (Sec. Tuberarium, sub-secc. Hyperbasarthrum)*. Lima-Perú. 297 p.
- Ochoa, C. 1990. *The Potatoes of South America: Bolivia*, Cambridge University Press, London. 512 p.
- Ochoa, C. 1999. *Las Papas de Sudamerica: Perú*, Allen Press, Lawrence, Kansas, USA. 1036 p.
- Raker, C.; D.M. Spooner. 2002. The Chilean tetraploid cultivated potato, *Solanum tuberosum*, is distinct from the Andean populations; microsatellite data. *Crop Science* 42:1451-1458.
- Ruiz de Galerreta, J.I.; A. Carrasco; A. Salazar; E. Barrena, E. Iturrutxa; R. Marquinez; F.J. Legorburu; E. Ritter. 1998. Wild *Solanum* species as resistance sources against different pathogens of potato. *Potato Research* 41:57-68.
- Salas, A.R.; D.M. Spooner; Z. Huamán; R.V. Torres-Maita; R. Hoekstra; K. Schöler; R.J. Hijmans. 2001. Taxonomy and new collections of wild potato species in central and southern Peru in 1999. *American Journal of Potato Research* 78:197-207.
- Salazar, L.F. 1979. *Virus, viroides y micoplasma en papa*. Lima, Centro Internacional de la Papa. 15.

- Spooner, D.M.; R.G. van den Berg. 1992a. An analysis of recent taxonomic concepts in wild potatoes (*Solanum* section *Petota*). *Genetic Resources and Crop Evolution* 39:23-37.
- Spooner, D.M.; R.G. van den Berg. 1992b. Species limits and hypotheses of hybridization of *Solanum berthaultii* Hawkes and *S. tarijense* Hawkes: morphological data. *Taxon* 41:685-700.
- Spooner, D.M.; J.B. Bamberg. 1994. Potato genetic resources: sources of resistance and systematics. *American Potato Journal* 71:325-337.
- Spooner, D.M.; R. Castillo. 1997. Reexamination of series relationships of South American wild potatoes (*Solanaceae*: *Solanum* sect. *Petota*): evidence from chloroplast DNA restriction site variation. *American Journal of Botany* 84:671-685.
- Spooner, D.M.; A. Salas; Z. Huamán; R.J. Hijmans. 1999. Wild potato collecting expedition to southern Perú (Departments of Apurímac, Arequipa, Cusco, Moquegua, Puno, Tacna) in 1998: taxonomy and genetic resources. *American Journal of Potato Research* 76:103-119.
- Spooner, D.M. ; R. Hijmans. 2001. Potato systematics and germplasm collecting, 1989-2000. *American Journal of Potato Research* 78:237-268; 395.
- Trehane, P.; C.D. Brickell; B.R. Baum; W.L.A. Hetterscheid; A.C. Leslie; J. McNeill; S.A. Spongberg; F. Vrugtman. 1995. International code of nomenclature of cultivated plants. *Regnum Vegetabile* 133:1-175.

Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales

V

Cultivos transgénicos en centros de origen y diversidad

William Roca, Biol., Ph.D.

Investigador Principal

Centro Internacional de la Papa

w.roca@cgiar.org

Alberto Salas, Ing. Agr., M.Sc.

Investigador Asociado

Centro Internacional de la Papa

a.salas@cgiar.org

René Gómez, Ing. Agr., M.Sc.

Investigador Asociado

Centro Internacional de la Papa

r.gomez@cgiar.org

Av. La Molina 1895,

La Molina, Lima, Perú

Contenido	Página
1. Introducción	94
2. Factores del flujo de genes mediante el polen	94
3. Posible impacto del flujo de genes	95
4. Evaluación de riesgo en centros de origen	95
5. Papel de los agricultores y las comunidades locales	96
6. Algunos temas de investigación	96
7. Bibliografía seleccionada	97

1. Introducción

La región Andina alberga 2 de los 25 megacentros de biodiversidad del mundo, y 2 de los 8 centros Vavilov de origen. Sólo en lo que actualmente es territorio del Perú y Bolivia, se han originado y diversificado unas 80 especies, y domesticado entre 174 a 182 especies de plantas.

Las variedades de cultivos comerciales liberadas en centros de origen y diversidad genética, por muchos años han contenido los mismos rasgos o caracteres que ahora se incorporan en las variedades modificadas por ingeniería genética, también llamados Organismos Genéticamente Modificados (OGMs). Algunas de las variedades mejoradas de papa, maíz y otros cultivos hace 30-40 años, han sido adoptadas por los agricultores y desde entonces forman parte del acervo que manejan como cultivos de mezclas varietales o como cultivos monovarietales. Por lo tanto, las hipótesis y estudios sobre el impacto potencial de los OGMs sobre la biodiversidad deberían usar la experiencia, conocimiento y observaciones ganadas con aquellas liberaciones.

El flujo de genes, mediante la transferencia de polen, es un proceso natural de la evolución de las plantas y contribuye significativamente a la riqueza biológica, incluyendo las variedades nativas y las especies silvestres, sobre todo en los centros de origen y diversidad. Por lo tanto, el flujo de genes por sí mismo no es dañino y no puede, ni debe, ser detenido. Entonces la preocupación actual sobre el flujo de genes no se refiere al flujo en sí mismo, sino a las posibles consecuencias, en gran medida todavía teóricas, que pueda tener en las poblaciones de parientes silvestres o de variedades nativas. Algunas preguntas que surgen respecto al flujo de genes, incluyen: los rasgos de los OGMs actuales son diferentes a los rasgos manipulados por años mediante el mejoramiento convencional?; se alteraría la integridad genética de las poblaciones silvestres como consecuencia del flujo de genes?; o el flujo afectará los rasgos, adaptaciones y usos de las variedades nativas?. No debemos olvidar que otros factores como la pérdida o cambio de hábitat, que podrían ser causados por el pastoreo, urbanismo, las carreteras, la minería, el aclareo del

bosque, la agricultura misma, el uso excesivo de pesticidas, todos pueden potencialmente contribuir a la pérdida de la biodiversidad.

2. Factores del flujo de genes mediante el polen

En el flujo de genes, mediante la transferencia de polen, debe distinguirse el "flujo potencial", el cual se mide por la dispersión del polen y el "flujo real", que se mide por el grado de fertilización de las poblaciones de plantas receptoras. Debemos considerar que la polinización por el viento es imprecisa comparada a la polinización por insectos; en el primer caso se debe tener en cuenta la concentración, el peso y la viabilidad del polen. La dispersión de semilla híbrida, su persistencia en el suelo, y la ocurrencia de "voluntarios" son otros factores a considerar.

Entre los factores y procesos a considerar en el flujo de genes, tenemos: (i) la deposición y germinación del polen en el estigma de los parientes silvestres, (ii) la introgresión del rasgo en plantas compatibles, (iii) la estabilización del rasgo que ocurre cuando la población receptora cambia en uno o más caracteres y (iv) la persistencia de la población receptora en el ambiente, lo cual a su vez depende de la capacidad competitiva de los rasgos adquiridos. Los transgenes no son iguales en su potencial de adaptación al ambiente; algunos rasgos pueden ser neutros (ej. genes marcadores), detrimentales (ej. esterilidad masculina, maduración del fruto, etc.), variables (ej. resistencia a insectos o a ciertas enfermedades o a herbicidas) cuya adaptación dependerá de la presión de selección sobre el rasgo introducido, o transgenes que potencialmente ofrecen ventajas en el ambiente (ej. tolerancia a heladas, a sequía, etc.).

Por lo tanto, para el análisis de cada caso necesitamos conocer con suficiente profundidad aspectos de la biología reproductiva de las especies involucradas, su amplitud ecológica y los diversos modos y prácticas de cultivo, sus relaciones con sus parientes silvestres, la presencia de polinizadores, y la genética de la compatibilidad sexual, entre otros.

Así, es de esperar que los cultivos de polinización cruzada tengan mayor potencial para el flujo de genes mediante el polen que los de autopolinización o los cultivos clonales. Por lo tanto, los transgenes y rasgos introducidos a cultivos de polinización cruzada conducen a una mayor exposición al ambiente, con mayor consecuencia potencial del flujo de genes. La dispersión de la semilla híbrida, dependiendo del tipo de semilla, su persistencia en el suelo, y la ocurrencia de “voluntarios” es otro factor a tener en cuenta. El movimiento de “semilla clonal”, principalmente en los cultivos de propagación vegetativa, podría también constituirse en un medio de flujo de transgenes. Este riesgo potencial puede reducirse mediante el control y certificación de semilla, el aumento de la rotación y otras prácticas de cultivo.

3. Posible impacto del flujo de genes

El posible impacto del flujo de genes de OGMs en los centros de origen y diversidad depende de que el rasgo o carácter introgresado en el genoma de una especie compatible, pueda expresarse y cambiar la característica de la especie receptora de tal manera que aumente su persistencia en el ambiente, y le permita establecer una población exitosamente, y así competir con poblaciones silvestres y especies relacionadas. Para que esto ocurra, varias barreras deberán ser superadas.

Un mayor conocimiento sobre la biología de las especies de cultivos nativos y sus parientes silvestres, su distribución ecogeográfica y relaciones ambientales contribuirán a aumentar la confianza en las decisiones de evaluación y gestión de riesgo. El registro y caracterización de parientes silvestres y variedades nativas; su distribución geográfica; la biología reproductiva y la genética; el potencial de flujo de genes entre los cultivos comerciales, variedades nativas y poblaciones silvestres; ocurrencia de tipos de maleza; ocurrencia e interacción con polinizadores y competencia de polen; diversidad de otras especies en el ambiente (flora, fauna, microorganismos) deben tenerse en consideración. Así por ejemplo, la inter-

fertilidad de la papa depende de factores como el nivel de ploidía (papas cultivadas: 2X, 3X, 4X, 5X; papas silvestres: 2X, 3X, 4X, 5X, 6X) y del número de balance del endospermo (EBN). Este último está dado por la relación de factores hembra : macho del endospermo, la cual determina el funcionamiento o colapso del embrión. El desarrollo normal ocurre cuando la relación genómica hembra : macho es de 2:1; las especies de papa que se cruzan tienen el mismo EBN, independientemente de su ploidía. Pero el EBN puede ser “ajustado”, al disminuir o aumentar el número de cromosomas, para alcanzar la relación 2:1 en el endospermo; y este ajuste en la práctica se consigue mediante el doblamiento del número de cromosomas o a través de la intervención de gametos no reducidos (2n).

Trabajando en cruza dirigidas y polinizaciones abiertas entre papas cultivadas y silvestres, 2X y 4X, M. Scurrah, S. Chumbiauca, A. Salas y C. Selis (Informe de Proyecto INCO-Dev, 2004) encontraron que los cultivares 2X se cruzan sin barreras con las especies silvestres 2X, y en un sentido a las 4X; y que se detectó semilla híbrida de cruza y observó la sobrevivencia de F1s en campo del agricultor. Este estudio demostró que el flujo de genes entre papas cultivadas y silvestres es posible y que la frecuencia depende de la especie y el nivel de ploidía, mayor con 2Xs que con 4Xs. La papa ofrece ahora un modelo relevante para estudiar el posible impacto del flujo de genes en la estructura y composición de la diversidad de especies silvestres y cultivares nativos en microgenocentros de origen Andinos.

4. Evaluación de riesgo en centros de origen

En la evaluación del riesgo del flujo de genes en centros de origen, se debería seguir un enfoque de caso por caso y, dependiendo del rasgo o carácter y del agroecosistema, usar el principio de que el riesgo potencial depende del producto entre el daño y la exposición al factor de riesgo. Por ejemplo, los rasgos que no aumentan la adaptación en ambientes bajo cultivo, o en ambientes no intervenidos, serían

significativamente de menor riesgo en comparación a aquellos que por el contrario impactan rutas ecológicas importantes y aumentan la adaptación. Por lo tanto, un mismo transgén (o rasgo) podría tener diferente calificación de riesgo (el riesgo cero no existe) dependiendo del ambiente agroecológico; además el organismo receptor del transgén y la modificación genética ejercida por el transgén también interactúan con los factores del medio ambiente.

La evaluación de riesgo, debería tener en cuenta algunas premisas que permitan un análisis sistemático; entre éstas tenemos: (i) el estado maleza (que resulta del estado de domesticación del cultivo y de los parientes silvestres), que se pre-determina mediante el examen de un grupo de rasgos o caracteres; Baker (1965, 1974) sugiere un grupo de 14 rasgos para tipificar una maleza, (ii) la biología invasiva del cultivo, la cual es función de su estado maleza y de la presencia de especies silvestres sexualmente compatibles en el área, (iii) los transgenes no son iguales en su potencial de adaptación; algunos son neutros en el ambiente y (iv) la dispersión del rasgo a través del pariente silvestre está relacionado al potencial de adaptación del transgén. En la evaluación se documentará: la presencia de parientes silvestres compatibles, el grado relativo de maleza (o asilvestramiento) del cultivo, o sea si éste podría escapar y persistir; si el transgén es neutral o detrimental en el ambiente nativo; posibilidad de control agronómico del receptor silvestre, y otros.

5. Papel de los agricultores y las comunidades locales

Los agricultores y las comunidades campesinas han jugado y juegan un papel importante en la conservación de la biodiversidad de los cultivos; además de prevenir extinciones, sus prácticas agrícolas aseguran el mantenimiento de la diversidad de las variedades nativas y la conservación del paisaje; el intercambio de semilla a nivel local influye sobre el flujo de genes. El manejo de las variedades transgénicas necesita tener estos puntos en cuenta.

En aquellos centros de origen y diversidad, donde existen áreas y microgenocentros dedicados a la conservación de la diversidad biológica y cultural, y a sustentar modos de vida locales, se debería considerar realizar análisis cuidadosos que permitan sopesar los beneficios potenciales para los agricultores y el medio ambiente con los riesgos potenciales de reducción de la biodiversidad, posibles disturbios socio-culturales y cuando se trata de llegar a decisiones sobre exclusión de OGMs. Estas áreas podrían ofrecer la oportunidad de obtención de datos sobre el manejo de cultivos, de los procesos y factores del flujo de genes, sobre el análisis beneficio / costo para el agricultor y las comunidades, sobre el efecto del intercambio de información dentro y entre las áreas de conservación, y otros estudios socio-económicos-culturales y éticos. Todos contribuirán al mejor entendimiento del papel de las comunidades locales en la dinámica de la conservación *in situ* y sus relaciones con la conservación *ex situ* y el uso sostenible de la biodiversidad.

6. Algunos temas de investigación

Dado que el flujo de genes está fuertemente influenciado por factores genéticos-biológicos, ecogeográficos y climáticos, de manejo de cultivos y también factores culturales y socio-económicos, es importante documentar, conocer y estudiar factores y procesos como los que se presentan a continuación:

- (i) Registrar la distribución y densidad de vars. cultivadas, sus parientes silvestres y la presencia de polinizadores.
- (ii) Documentar y/o estudiar la biología reproductiva y la genética de las especies, incluyendo la ocurrencia de fenotipos similares al genotipo transgénico.
- (iii) Analizar posibles estrategias de manejo: barreras y/o separación de los cultivos, manejo integrado del cultivo, efecto de las prácticas locales de manejo, métodos y marcadores para segregar material transgénico de la misma variedad, etc.
- (iv) Investigar posibles mecanismos de contención

biológica, tales como la disponibilidad de vars. macho-estériles para la transgénesis; la esterilidad masculina inducida por transgenes; la cleistogamia; la inserción de transgenes en los plástidos y la apomixis genéticamente inducida, entre otros.

(v) Para el caso de la papa y basados en el conocimiento ganado hasta la fecha sobre flujo de genes: (a) documentar la cruzabilidad de variedades cultivadas y diversas especies silvestres, (b) registrar la diversidad y el comportamiento de los polinizadores, (c) realizar estudios de introgresión dirigida y libre más allá de la F2, (d) documentar el efecto de factores bióticos (plagas, enfermedades, etc.) y abióticos (heladas, sequía, etc.) sobre la persistencia de híbridos entre silvestres y cultivadas, (e) evaluar la introgresión y capacidad adaptativa de genes (rasgos) foráneos, introducidos en poblaciones de papas silvestres y cultivares nativos, por medio de variedades mejoradas e incorporadas hace décadas por los agricultores y comunidades locales Andinas.

7. Bibliografía seleccionada

Baker, H.G. 1965. Characteristics and modes of origin of weeds. In: H.G. Baker; G.L. Stebbins (eds.). *The Genetics of Colonizing Species*, 147-168. New York: Academic Press.

Baker, H.G. 1974. The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5:1-23.

Easthain, K.; J. Sweet. 2002. Genetically modified organisms. The significance of gene flow through pollen transfer. European Environmental Agency, Environmental Issue. Report # 28. EEA, Copenhagen 75 p.

Ellstrand, N.C.; H.C. Prentice; J.F. Hancock. 1999. Gene flow and introgression from domesticated plants into wild relatives. *Annual Review of Ecology and Systematics* .30:539-563.

Hancock, J.F. 2003. *Plant evolution and origin of crop species*. CABI publishing, Cambridge, Massachusetts.

Nuffield Council on Bioethics. 2003. *The use of genetically modified crops in developing countries*. London. 89 p.

Scurrah, M.; S. Chumbiauca; A. Salas; C. Selis; R. Visser; H. Atkinson; J. Franco. 2004. Evaluating the risk of gene flow in the potato crop in Peru. Report (Manuscript) of the INCO-Dev project. CIP, Lima.

Spooner, D.M.; N.L.A. Hettterscheid; R.G. van den Berg; W. Brandenburg. 2003. Plant nomenclature and taxonomy: An horticultural and agronomic perspective. *Horticultural Reviews*, 28:1-60.

Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales

VI

Comercialización y consumo de organismos genéticamente modificados y sus productos derivados en el Perú

Alexander Grobman, Ing. Agr., Ph.D.
Consultor Internacional
Lima, Perú.
alexander.grobman@gmail.com

Contenido	Página
1. Introducción	100
2. Direccionalidad de las operaciones reguladoras de la Biotecnología Moderna	101
3. Algodón transgénico	102
4. Maíz transgénico	103
5. Soya transgénica	108
6. Referencias bibliográficas	110

1. Introducción

La biotecnología moderna está llamada a representar una de las mayores oportunidades del Perú para aplicarla a su desarrollo económico, influyendo así en el incremento del bienestar y la seguridad de sus habitantes. Esta posibilidad tiene un amplio reconocimiento y acuerdo en el gobierno, los estamentos académicos, organizaciones empresariales y muchos ciudadanos conscientes de la necesidad de incrementar la competitividad del Perú.

El Perú dispone de una gran diversidad biológica con gran valor potencial y que podría aprovecharse mucho más. Ella podría servir para la extracción de productos útiles en la alimentación, la salud y la industria mediante investigación y desarrollo basados en la biotecnología.

Es importante tomar en cuenta que el incremento de la población mundial y la proyección de sus necesidades de alimentos requieren de la provisión de poderosos nuevos medios científicos y tecnológicos que ayuden a garantizar el abastecimiento de alimentos para satisfacer la demanda de la población mundial en este nuevo siglo. La aplicación de la biotecnología moderna a la producción agrícola, señalan FAO y 25 científicos ganadores del Premio Nobel (entre ellos Norman Borlaug, James Watson, Timothy Hunt, Oscar Arias Sánchez, Paul Berg y Marshall Nirenberg), es la garantía futura de una seguridad alimentaria permanente para poblaciones cada vez mayores.

La economía global en la que el Perú está inmerso, ofrece retos y oportunidades. Esas oportunidades deben ser visualizadas claramente y aprovechadas con decisión. Entre ellas se presenta la de asegurar, incrementar las actuales exportaciones y ampliar nuevos rubros de exportaciones a diversos mercados. La aplicación de la biotecnología moderna y especialmente de la ingeniería genética, permitirá acceder a muchos de los mercados en condiciones de valor agregado y de mayor seguridad de acceso. Para ello se requiere organizar cadenas productivas de alta eficiencia en el Perú con tecnologías complementarias en cada eslabón, que en última instancia serán las que compitan con las cadenas productivas de otros

países. En tales cadenas productivas y en más de uno de sus eslabones aparecerán aplicaciones de la biotecnología. Ejemplos de dichas cadenas pueden ser la avicultura, la producción de fibras de alpaca mejoradas, la exportación de frutas a mercados distantes en ventanas de oportunidad estratégicamente diferenciadas o la producción de etanol en base a eficiente captación de la energía de la fotosíntesis en biomasa y en la eficiencia del proceso de fermentación alcohólica y del uso del bagazo.

Mientras que muchas de las aplicaciones de la biotecnología requerirán del desarrollo de investigación y de innovación generados en el Perú en las universidades, institutos de investigación y empresas, otras aplicaciones aprovecharán información, tecnologías, productos y servicios desarrollados en otros países. Los procesos y productos importados pueden ser licenciados en el Perú permitiendo el uso de genes útiles patentados para introducirlos en plataformas genéticas de cultivos desarrollados por genética convencional en el Perú, de procesos de biotecnología y de bioingeniería o también la importación de organismos genéticamente modificados, moléculas de nucleótidos y proteínas modificadas, microorganismos, semillas y otro tipo de material de propagación biológico, plantas, tejidos, embriones o animales genéticamente modificados, equipos ligados a procesos de biotecnología, planos, procedimientos y procesos y programas de bioinformática o de modelamiento de proteínas, entre otros.

Un importante grupo de técnicas de la biotecnología moderna utiliza a la manipulación de ADN y ARN recombinante. A estas técnicas se les designa como ingeniería genética. Los procesos de evaluación y manejo del riesgo potencial que pudieran derivarse de la incorporación de genes de un organismo en el genoma de otro formando organismos genéticamente modificados (OGMs), constituyen en esencia la bioseguridad de la biotecnología. Ellos se extienden igualmente a los productos derivados de los OGMs.

Los sistemas reguladores de bioseguridad en algunos países ya han madurado; siendo que ellos han cumplido más de 20 años acumulando una gran expe-

riencia de funcionamiento. De todos ellos se puede aprender, tanto de los que lo hacen bien, como de los errores que algunos han cometido. Otros sistemas reguladores, bajo el impacto de presiones políticas, se han vuelto sofocantes y socavadores del desarrollo de la biotecnología, al mostrar excesiva rigidez y dureza, al mismo tiempo que debilidad en el uso de pruebas científicas cuando se trata de aprobaciones a las solicitudes de registro de eventos transgénicos particulares^[1]. La decisión crucial está en como compatibilizar la eficiencia y la responsabilidad en el manejo de la bioseguridad con el pragmatismo requerido para establecer niveles de riesgo aceptables para el ambiente y para la salud humana, considerando que el riesgo cero es inexistente.

En el Perú, el Consejo Nacional del Ambiente viene coordinando un Marco Estructural Nacional de Bioseguridad para cumplir con las obligaciones del Perú emanadas de la firma del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad y su propia normatividad en la biotecnología.

Un sistema regulador de la bioseguridad es importante que funcione bien, no precisamente porque los productos OGMs sean inherentemente riesgosos, sino para dar confianza a los consumidores de que realmente no lo son una vez que han sido aprobados. En casos en que se detecte que algún producto es potencialmente riesgoso para el ambiente o la salud, el sistema regulador definirá las características del riesgo y su modo de manejo y en caso de que el riesgo sea de una magnitud y/o probabilidad alta de daño, tal producto será retirado y no aceptado para su liberación. También se regula para evitar fraudes, aun cuando los productos no sean peligrosos. En otros casos se regula con el fin de proteger a animales de laboratorio en cuanto a su uso, dentro de parámetros éticos.

El público está distanciado en muchos países de los

niveles de discurso académico sobre la biotecnología y le tiene un cierto recelo por ignorancia y por lo novedoso e impresionantes que son sus logros. Por ser una tecnología que lidia con la vida, tiene aún mas oportunidad de ser considerada riesgosa. Es preciso, por consiguiente, que se trate con la mayor transparencia el tema de mantener canales de comunicación abiertos con el público. Es aún más importante desarrollar programas y actividades para la educación pública sobre la importancia, alcance y beneficios de la biotecnología moderna, abarcando temas éticos y los temores que tocará disipar. Toca al sistema regulador de la bioseguridad de la biotecnología ganarse la confianza del público y mantenerse en contacto con él.

La decisión política imprimirá el rumbo y la modalidad que tome el desarrollo de la biotecnología en el Perú. Independientemente de las políticas que se sigan, estas deben interpretarse por el sistema regulatorio, para que sus funciones queden enmarcadas dentro de los objetivos de la política de estado, pero manteniendo total objetividad y transparencia.

2. Direccionalidad de las operaciones reguladoras de la Biotecnología Moderna

En el aspecto de las operaciones reguladoras de la bioseguridad debemos distinguir entre, por una parte, los OGMs y sus productos derivados que se encuentran actualmente en los mercados mundiales, cuyos eventos han sido aprobados en varios países y cuyas características son conocidas por constar en los documentos sometidos para su aprobación y registro y por la otra parte, los eventuales OGMs que irán apareciendo en el mercado, pero que se encuentran aún en proyecto, o en ensayo o para los cuales no se han definido aún planes comerciales.

^[1] Evento de transgénesis es el conjunto de un gen funcional básico, genes marcadores y nucleótidos adjuntos que forman una unidad cuyo conjunto es transferido a un organismo receptor para expresar determinado rasgo deseado. Un mismo evento, por ejemplo, el NK 603, puede ser deliberadamente introducido por el proceso de transgénesis en diversos cultivares de la misma especie o en diferentes especies de plantas cultivadas.

Los primeros que tienen interés inmediato para el Perú por su gran volumen de importación e importancia económica, son los productos de tipo commodity: algodón, maíz y soya genéticamente modificados (GM) y sus productos derivados. Eventualmente, en el corto plazo, podrían también agregarse colza (Canola MR) y aceite y torta de colza, que ya se han importado al Perú aunque en menores cantidades. No se espera que nuevos OGMs o productos GM derivados de ellos, como arroz, trigo, cebada, sorgo y otros productos transgénicos de gran volumen de transacción, aparezcan en el mercado en el corto plazo. Los productos que se tranzan en el mercado mundial como commodities son cereales primarios (trigo, arroz para uso humano directo) y secundarios (maíz, sorgo, cebada, usados mayormente para alimentación del ganado), granos oleaginosos y aceites, algodón, leche y carnes. Salvo los productos transgénicos dentro de los rubros de commodities descritos, que tienen un gran mercado global y que sí resisten los altos costos regulatorios de estrictos sistemas reguladores de países de la Unión Europea y los Estados Unidos, los demás productos, más regionalizados o de menor mercado globalizado (hortalizas, frutas, papa, etc), tienen menos posibilidades de introducirse en muchos mercados a corto plazo, en forma de OGMs. Productos de menor volumen de mercado, como papaya GM resistente a virus o tomates GM de larga vida de anaquel, es posible que entren al mercado como casos probables pero menos frecuentes en los próximos cinco años. Este tipo de OGMs, es más probable que surja de proyectos de desarrollo realizados por empresas locales de menor tamaño y por obra de investigadores universitarios o de institutos del estado.

Los que sí podrían aparecer en el mercado en un plazo relativamente corto y con un alto grado de probabilidad, serán medicamentos de origen transgénico. Unos 350 productos clasificados como biofármacos procedentes de investigación en biotecnología moderna, se encuentran en diversas fases de desarrollo. También es muy probable que la demanda de la minería y de la industria desarrollen microorganismos transgénicos para usos especiales.

En el análisis que sigue nos concentraremos solamente

en algodón, maíz y soya, todos los cuales tienen un número de eventos de transgénesis registrados por diferentes empresas e instituciones y que son los productos de más volumen y presencia actual y en el futuro cercano en el Perú.

3. Algodón transgénico

Actualmente no se siembran en el Perú variedades de algodón GM, sean ellas de origen local o introducidas. Estas variedades constituyen actualmente un importante porcentaje de las áreas sembradas en algodón en el mundo (casi 12 % en el año 2004). El orden de magnitud de áreas sembradas con algodón GM es como sigue: China, India, Australia, Estados Unidos, México, Argentina, Sudáfrica, y Colombia para los tipos de algodones con el transgen *Bt* resistentes a insectos. Su área total es de 4,5 millones de ha o sea 6 % del área global sembrada con algodón en el año 2003. El algodón GM que combina el gen *Bt* y al mismo tiempo un gen de tolerancia a algún herbicida se cultiva en 3 millones de ha en Estados Unidos, Australia y México (4 % del área global de algodón) y el algodón tolerante a herbicida solamente, se cultiva en Estados Unidos y Sudáfrica en 1,5 millones de ha (2,0 % del área global).

Casi toda el área sembrada con algodón transgénico es del tipo de planta Upland o Acala (*Gossypium hirsutum*), sea en variedades o híbridos. Recién están apareciendo los primeros algodones GM del tipo Pima de fibra extra-larga (*Gossypium barbadense*) en Estados Unidos. Los eventos de transformación de algodones GM incluyen a uno o a dos genes *Bt* diferentes y acumulados, para resistencia a insectos perforadores de la bellota. El caso de algodón con dos genes *Bt* diferentes, es una tecnología nueva diseñada para reducir al mínimo la posibilidad de una evolución rápida de mutantes de insectos resistentes a la toxina *Bt*. Por ahora esta tecnología se ha reservado para aplicarla en primer lugar en Australia, donde se siembran 300 000 ha anuales de algodón transgénico. El evento de transformación MON 531 de la firma Monsanto es el más extendido en el mundo en algodón para resistencia a insectos lepidópteros en base al gen *Bt* (*cry1 Ab*) de *Bacillus thuringiensis*. Los

eventos para tolerancia a herbicidas comprenden a genes que confieren tolerancia a los herbicidas glifosato, glufosinato de amonio o a bromoxinilo.

China ha alcanzado a sembrar en el año 2004, 3,7 millones de ha de algodón GM que representan el 66 % de su área total de algodón. Por consiguiente, las prendas de vestir, sábanas, toallas y telas importadas de China, es muy probable proceden de fibra que contiene algodón transgénico.

Perú importa fibra de algodón para reemplazar la insuficiente producción de algodón local. Entre 1962-1965 se sembraban anualmente unas 253 000 ha de algodón; en 1989-90 el promedio anual había caído a cerca de 118 000 ha y en el 2002 el área de algodón que muestran las estadísticas había bajado a 65 000 ha (Fuente: Ministerio de Agricultura). El área real de algodón en todo el país en la actualidad puede estar aproximándose a las 45 000 ha. (Evaluación del autor mediante consultas en diversos valles de la Costa daría un área probable cosechada de entre 44 000 y 53 000 ha). Las importaciones de fibra de algodón ascienden a unos 35 000 toneladas por un valor total de US\$ 60 millones entre fibra Upland y Pima. La fibra importada procede en un 57 % de los Estados Unidos y un 31 % de Argentina. La producción nacional de fibra de algodón puede estar actualmente entre 25 000 y 30 000 toneladas anuales. Por consiguiente la industria textil peruana se está abasteciendo con algodón importado de dos países en forma de fibra (Argentina y Estados Unidos) y de prendas hechas de dos países (China e India) en los cuales se siembra significativas áreas de algodón transgénico.

Colombia tenía más de 10 000 ha de algodón transgénico en el año 2003 y puede haber llegado a 36 000 ha en el año 2004. Por consiguiente, es una fuente posible de pepa de algodón GM y de tejidos con fibra de algodón GM. Brasil se encuentra muy avanzado en investigaciones para desarrollar algodones GM propios.

Los procesos reguladores con algodón GM a implementarse en el Perú deberán tomar en cuenta el flujo de genes nuevos de algodón de la especie *Gossypium*

hirsutum a variedades de *Gossypium barbadense* y *viceversa*, como principal consideración, aún antes que el transgen Bt o HT. En cuanto al flujo a algodón nativo, esta proposición es menos problemática ya que existe muy poco algodón nativo y en la Costa éste se encuentra localizado en las partes de los contrafuertes de los Andes, muy alejado de los centros de producción algodонера. Los algodones nativos son todos de la especie *Gossypium barbadense* y han sufrido erradicación por más de un siglo en la Costa, precisamente por el peligro que ocasionaría el flujo de genes desde dichas variedades nativas que poseen fibras coloreadas, que podría desmejorar la calidad de fibra blanca de las variedades comerciales de algodón. En la selva alta, en el valle del río Huallaga, existen siembras esporádicas de "algodón del país" nativo (*Gossypium barbadense*), como cultivos combinados en el mismo campo con otras especies. Ellas se encuentran en las pendientes de los valles afluentes del río Huallaga, alejadas en distancia de los campos ubicados en el centro del valle y sus afluentes, donde se vienen sembrando desde hace muchos años variedades de algodón Upland introducidas, de otra especie (*G.hirsutum*). Si la preocupación por el flujo de genes de *G.hirsutum* al algodón nativo, no se ha manifestado, no tendría racionalidad que se añadieran preocupaciones nuevas por unos pocos genes adicionales *Bt* o *HT*, que pudieran fluir al algodón nativo. Este último algodón es de muy poco valor económico. Sin embargo, su uso como fuente de nuevos genes debe ser considerado manteniéndolo en sus zonas aisladas por distancia actuales en las pendientes. El autor no cree que el uso potencial de genes a ser explorados en este tipo de algodón sería obstaculizado por el posible flujo de un par de genes adicionales de *G.hirsutum* GM, que, en todo caso, podrían darle más valor agronómico a las reducidas siembras que se hacen de ellos para uso económico en la selva alta.

4. Maíz transgénico

En el Perú existen unas 55 razas nativas de maíz. En la Costa se siembran actualmente las razas de maíz para choclo, Pardo e Iqueño. El área de la costa y selva y algunos valles interandinos donde

se siembra maíz amarillo duro, alcanza a unas 250 000 ha. En la Sierra y en menor escala en la Costa se siembra maíz para consumo humano directo. Debido a aislamientos impuestos por las diferencias de alturas sobre el nivel del mar y distanciamiento espacial no se nota la penetración de maíz amarillo duro, que procede actualmente en casi su totalidad de híbridos o variedades, hacia los maíces nativos. Desde su introducción en la década de 1940, maíces de origen cubano y desde antes, maíces de origen Colombiano, se han sembrado en forma generalizada en la Costa y Selva del Perú. Existe un banco de genes en maíz que funciona eficientemente y que

se ha establecido en la Universidad Nacional Agraria de La Molina, desde la década de los años 1950, donde se preservan en cámara fría unas 3300 colecciones de semillas de maíz, que se refrescan para germinación y que representan a todas las razas de maíz del Perú.

En el Perú la producción de maíz amarillo duro y la demanda del mismo para la industria avícola han venido escalando en áreas sembradas y rendimientos en forma consistente y continua. En la Figura 1 puede observarse el incremento de producciones e importaciones en los 8 años que precedieron a 1980.

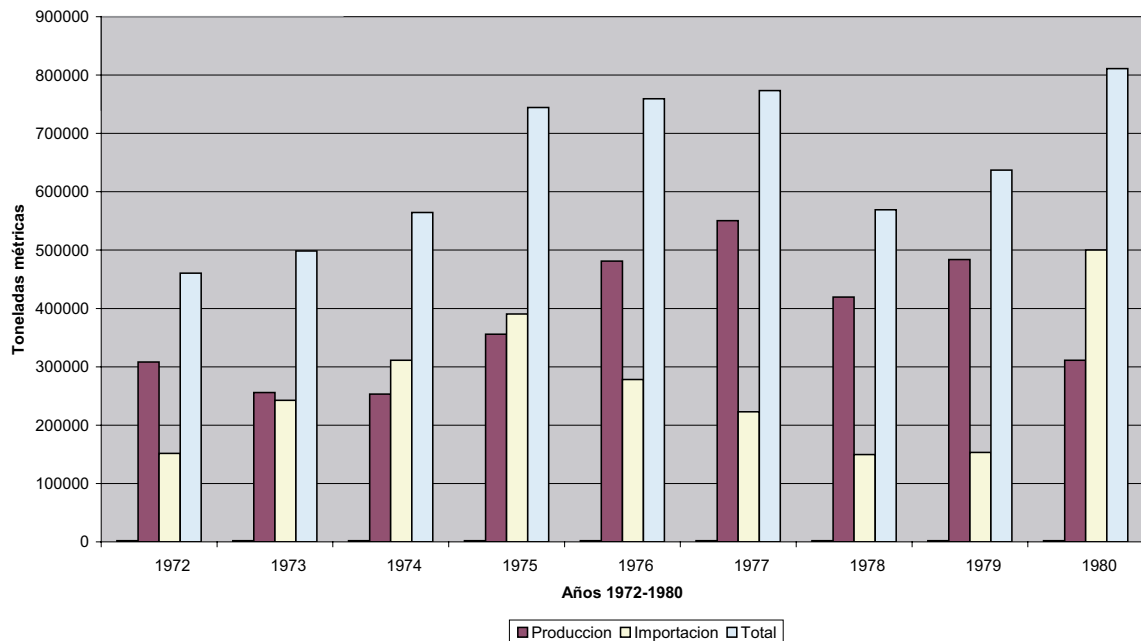


Figura 1. Producción e importación de maíz amarillo duro 1972-1980 (Fuente: Ministerio de Agricultura).

Las importaciones de maíz que estaban en el orden de 200 000 a 300 000 t anuales en la década de 1970 treparon a 500 000 t en el año 1980. En la década de 1990 las importaciones de maíz amarillo duro fueron en ascenso y alcanzaron a pasar la marca de un millón de toneladas anuales en 1998 y 1999, para luego decaer a menos de un millón de toneladas (800 000

t) en el año 2002 (Figura 2). Desde entonces, ha vuelto a incrementarse la demanda y han vuelto a subir las importaciones llegando a 1,08 millones de toneladas en el año 2004 por un valor de US \$ 115 millones. De este volumen 57 % procede de Argentina, 25 % de Estados Unidos y 2 % de Paraguay.

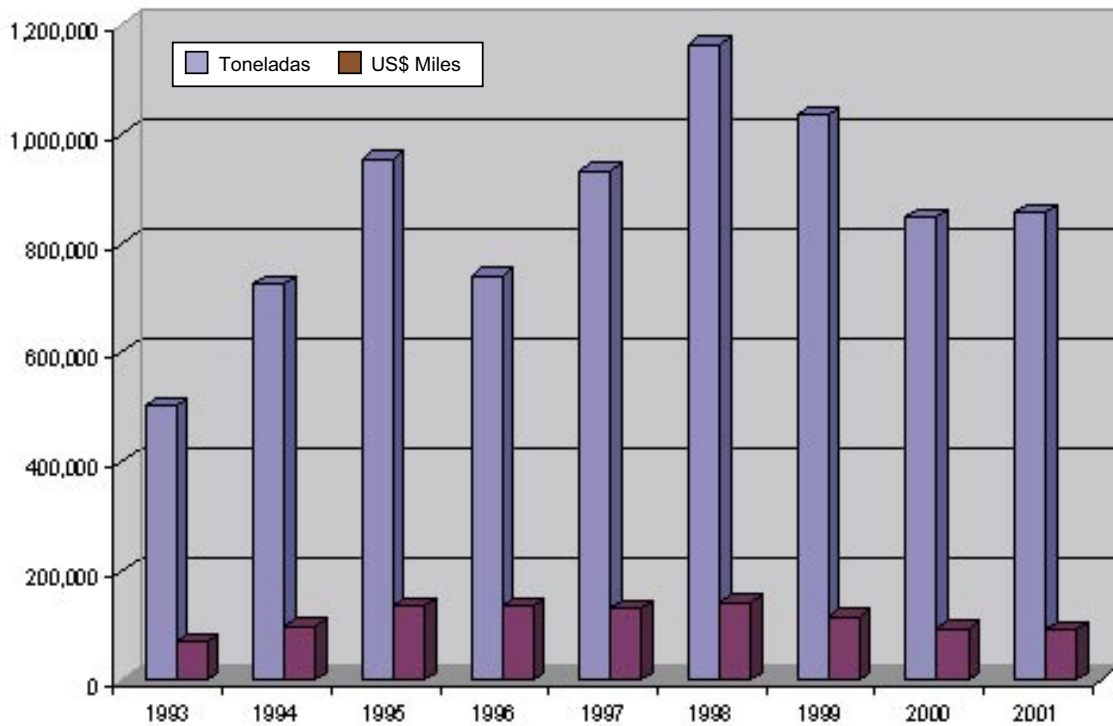


Figura 2. Importaciones de maíz amarillo duro (Fuente: Aduanas del Perú).

La evolución de siembras de maíz transgénico en el mundo se muestra en el Cuadro 1. En ella se muestra un avance sostenido en áreas de maíz transgénico hasta que se llega al año 2000 en que se aprueba el Protocolo de Cartagena de Bioseguridad en el cual

se produjo una reducción de áreas. Pero a partir del año 2001 ha vuelto a crecer el área. Como maíz transgénico se inscriben todos los eventos de tolerancia a herbicidas (HT) y los *Bt*.

Cuadro 1. Adopción global de maíz total transgénico y de maíz *Bt* (millones de hectáreas) *

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Maíz Transgénico	0.3	3.2	8.3	11.1	10.3	9.8	12.4	15.5
Maíz <i>Bt</i>	0.3	3.0	6.7	7.5	6.8	5.9	7.7	9.1

* Basado en datos de James, C. ISAAA Briefs 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 (James, 1997 a 2004).

El maíz transgénico ocupaba un área de 19,3 millones de ha en el año 2004. Este se siembra en su forma de híbridos con el gen *Bt* en 11,2 millones de ha (14 % del área global de maíz) en Estados Unidos, Argentina, Canadá, Sudáfrica, España, Filipinas, Uruguay, Honduras y Alemania. El maíz transgénico tolerante a herbicidas se siembra en 4,3 millones de ha (5 % del área global) en Estados Unidos, Canadá,

Sudáfrica y Argentina y el maíz transgénico con ambas características incluidas *Bt/HT* se siembra en 3,8 millones de ha (4 % del área global) en Estados Unidos y Canadá.

En Argentina se encuentran registrados los siguientes eventos de transformación de maíz:

- "176" Resistencia a insectos lepidópteros Ciba Geigy
- "T25" Tolerancia al herbicida Glufosinato de amonio AgrEvo S.A.
- MON810 Resistencia a lepidópteros Monsanto Argentina
- GA21 Tolerancia a glifosato Monsanto Argentina
- Bt 11 Resistencia a Lepidópteros Novartis Argentina
- NK603 Tolerancia a glifosato Monsanto Argentina

Es altamente probable que en las importaciones de granos de maíz de Argentina y de Estados Unidos lleguen diferentes proporciones de granos de diferentes híbridos y de diferentes eventos de transgénesis, cuya composición varíe de embarque en embarque. Incluso dentro de cada lote de maíz que viene en una bodega a granel de 10 000 a 25 000 toneladas, el lote de maíz no es uniforme, pudiendo haber más proporción de granos en la mezcla de unos híbridos o eventos que de otros o de ninguno, en el mismo lote en diversas partes de la bodega. Ello se debe a que el carguío de los barcos se hace desde diversos silos terminales con mangas neumáticas transportadoras de grano de gran capacidad. Estas mangas pueden descargar grano sucesivamente desde varios silos y combinar diversos lotes. Los lotes vienen integrados por sub-lotes que han tenido un tratamiento similar en silos distritales y regionales. La diferenciación de lotes en los silos se hace por calidad comercial y no por variedad o eventos, lo cual sería imposible de hacer dado el sistema de movimiento de granos en las cadenas logísticas y el enorme volumen de granos que se movilizan, que en Estados Unidos, en maíz solamente podría llegar a los 250 millones de toneladas. Los maíces híbridos desarrollados por varias compañías de semillas contienen diversos eventos transgénicos y los mismos no son segregados en Estados Unidos o en Argentina, ya que desde que se ha comprobado que son sustancialmente equivalentes a los normales, pasan a ser productos no regulados.

El maíz importado representa actualmente en el Perú un 50 % del maíz amarillo duro (estimaciones del autor) usado en la fabricación de alimentos balanceados y en la alimentación de aves, cerdos y otros alimentos desde 1996 – año en que los híbridos GM de maíz entraron a siembras comerciales en Estados Unidos y Argentina, y comenzaron embarques de grano comercial GM mezclado a exportarse

incluso al Perú (Diamante e Izquierdo, 2004; James, 2005).

En la actualidad se tiene 10 años de experiencia en importaciones de maíz GM desde Argentina y Estados Unidos, el cual tiene cada vez mayor proporción de transgénicos de varios eventos. El principal es evidentemente el evento MON 810 que representa al gen *cry1Ab* que confiere resistencia a insectos lepidópteros, seguido por el evento NK603 de tolerancia a herbicidas. En el año 2004 se introdujo el evento MON603 en Estados Unidos que corresponde al gen *Bt cry3Bb1* para el control de gusanos de tierra, que aparecerá evidentemente en los siguientes embarques.

Es de destacar que estos eventos han pasado con aprobación los exámenes de las agencias reguladoras de Estados Unidos, Canadá y Argentina. Además los dos primeros vienen usándose en Europa y particularmente en España con 37 000 ha en el año 2004 (Demond y Tollens, 2004) y el NK603 ha sido finalmente autorizado por la Comisión Europea a fines del año 2004 para siembra en los 25 países de la Unión Europea.

Ni en el Perú, ni en los países donde se han sembrado, ni en los países que han importado granos mezclados con maíz transgénico, se ha informado siquiera de un solo caso de daño a la salud humana causado por el maíz GM en los últimos 10 años. Los casos de imputación de alergenicidad se comprobó que habían sido falseados o estaban errados (Miller, 2005; Miller y Conko, 2004; British Med. Ass., 2005).

En cuanto a flujo de genes de posibles escapes de granos sembrados por agricultores, ello no ocurre en el Perú puesto que los híbridos de maíz procedentes de los Estados Unidos o Argentina

son muy sensibles a los fotoperíodos cortos que existen en todas las estaciones del año en el Perú. Estos híbridos proceden de regiones de fotoperíodo largo en el verano – 14 a 16 horas de luz diarias. En regiones ecuatoriales de día corto, cercano a 12 horas de luz a través de todo el año, dichos híbridos adquieren un hábito de crecimiento muy precoz, se enanizan y presentan bajísimo rendimiento, lo que no los hace atractivos a los agricultores. Por otra parte sus pancas, no seleccionadas como característica por los genetistas para zonas tropicales sino para zonas templadas, se abren a cosecha y exponen sus granos a los insectos que las devoran y las panojas de plantas enanizadas emiten además muy poco polen. De llegar a introducirse cromosomas de estos tipos de maíz en el genoma de maíces híbridos usados localmente, no tendrían efecto ya que se compra semilla nueva todos los años por razón de su vigor híbrido. En la actualidad casi toda la semilla de maíz híbrido usada en el Perú es importada. En los pocos casos en que hay uso de semilla F2 de maíz amarillo duro que pudieran tener cromosomas de maíces introducidos, lo que no se ha observado en el Perú, esos cromosomas serían rápidamente eliminados por selección natural incluyendo a los genes aportados. Esto es lo que evidentemente ha ocurrido en el caso del supuesto flujo de genes a maíces nativos de México, con presencia de construcciones de ADN en maíces nativos reportadas por Quist y Chapella (2001 y 2002) en el estado de Oaxaca, México. Los trabajos publicados trajeron como consecuencia una gran conmoción en México en círculos científicos e incluso afectó al CIMMYT, y a los planes de desarrollo de la biotecnología en México por la gran significación nacionalista que el cultivo del maíz tiene en México. Estos hallazgos produjeron una reacción contra los autores en medios científicos quienes increparon a la revista *Nature* por la inclusión de artículos que no tenían rigor científico. La revista *Nature* se disculpó.

Sin embargo, se ha reportado recientemente, no ser posible encontrar contaminaciones de genes de OGMs en 153 746 muestras de maíces nativos de 125 campos y 18 localidades del estado de Oaxaca, México (Ortiz et al., 2005). En la nota anterior se demuestra que no se ha podido detectar construcciones de ADN extrañas en una gran redada y análisis de muestras de maíces nati-

vos en Oaxaca, lo que lleva a la conclusión que dichas “contaminaciones” no existieron o de haber existido, ellas fueron naturalmente eliminadas.

En el caso de las importaciones de maíz en México, estas son mayormente de maíces dentados blancos para uso molido para fabricar tortillas, que pueden proceder de dos fuentes: Estados Unidos (Kansas) y Sudáfrica. Ambos países tienen OGMs de estos tipos. Estos maíces pueden infiltrar genes sin ser detectados en las razas mexicanas de maíz, las que son prácticamente sin excepciones de granos con endospermo blanco. El abastecimiento de la industria avícola se hace parcialmente con maíz amarillo y en gran medida con sorgo granífero. El maíz amarillo no sería sembrado por el agricultor mexicano porque bajaría su valor para consumo propio o venta al mercado tortillero. Un 48 % de las unidades agropecuarias de México con un promedio de 2 ha por unidad están en esta realidad. Algo semejante ocurre en el Perú en que casi todo el maíz que se usa para alimento humano es de endospermo blanco y de grano harinoso (ni siquiera dentado duro como el de México). La introducción de maíz amarillo duro, si alguna vez se sembrara por los agricultores se registraría inmediatamente en el grano de maíz de la planta madre y sería visiblemente eliminado por selección de los agricultores. Ello no se ha observado en ningún caso en los maíces amiláceos del Perú, que salvo los chocleros de la Costa, se encuentran todos en alturas de los Andes donde no llega el maíz importado para alimento balanceado. Esta separación altitudinal es importante de ser tomada en cuenta en las apreciaciones sobre barreras físicas que se tienen en el Perú. Tampoco se observa hasta ahora ninguna introducción de granos amarillos en los choclos que se consumen en los mercados de la costa, lo que indica que no ha habido flujo de genes detectable, el que sería detectado inmediatamente en los maíces nativos por el gen marcador de color *Y* del endospermo del grano maíz amarillo, desde la generación F_1 del cruzamiento.

Puede concluirse, por consiguiente, que la experiencia acumulada en el Perú con maíces GM de tipos *Bt* y *HT*, obtenidos hasta ahora, demuestran su inocuidad para la salud humana y el ambiente. Por lo tanto, su estado no regulado y la incorporación de productos

derivados en alimentos no ha representado peligro ni en Estados Unidos ni en Argentina, ni en el Perú y se sugiere que continúe. El no hacerlo podría afectar el comercio de granos y acuerdos comerciales futuros.

El etiquetado de alimentos que tengan componentes o ingredientes de maíz transgénico en el Perú sería una tarea titánica. Estos componentes se encuentran incluidos en miles de alimentos y marcas de ellos, desde harinas, hasta bebidas carbonatadas, cervezas, mieles, golosinas, etc. Analizar cada lote de ellos cada mes simplemente sería imposible y elevaría el costo de alimentos en millones de dólares, formando colas logísticas – faltando además laboratorios y capacidades suficientes - que en la práctica, derribarían cualquier programa de etiquetado de alimentos GM que se quiera implantar en el Perú. Además el costo sería cargado inequitativamente sobre las primeras fases de la cadena o sea sobre los productores, procesadores y mayoristas en proporción decreciente.

5. Soya transgénica

La soya GM es el cultivo transgénico que mas área cultivada tiene en el mundo. En el año 2004 se sembraron 48,4 millones de ha de cultivares de soya GM, las que representan el 60 % del área global de soya. El área global de soya GM tolerante a herbicida (HT) en Argentina, es la casi totalidad de su área de soya (99,5 %) de 14,5 a 15,0 millones de ha. Los Estados Unidos tienen el 80 % de su área de soya de 32,8 millones de ha, plantada con soya GM HT. Brasil ha llegado en el año 2004 a plantar 5 millones de ha con soya GM HT. Paraguay es el siguiente país en crecimiento espectacular de soya GM habiendo sembrado en el año 2004 el 60 % de su área total de 2 millones de ha de soya con variedades GM HT que suman 1,2 millones de

ha y se espera que en el 2005 pase a 100%. Canadá siembra ya el 50 % de su área de soya con variedades GM HT. Uruguay incrementó su área de soya GM a 300 000 ha. Rumania y Sudáfrica son países en los que hay un fuerte incremento de áreas de soya y México ha entrado a sembrar por primera vez soya GM. La soya transgénica ha entrado a Bolivia en la zona de Santa Cruz de la Sierra desde Brasil, Paraguay y Argentina. No se sabe a ciencia cierta que extensión se siembra en soya GM pero podría llegar por estimados recientes a medio millón de has. Ello ha sido reconocido por la nueva legislación boliviana, que simplísticamente trata de mantener segregación de los cultivos de soya entre GM y no GM, como si ello pudiera interesar a su mercado más importante que fue en una época el Perú. El momento en que ello pudo hacerse con interés comercial ya pasó. Los costos de segregación, es difícil que sean absorbidos por la mayor parte de los consumidores peruanos, salvo por menos del 1 % que quizás encuentre atractivo en una soya orgánica y su aceite derivado a costo demasiado alto como para interesar a los procesadores a trabajar en un mercado tan limitado. Es difícil que los productores de aceite de mayor volumen paren sus plantas de extracción que usan grandes volúmenes de solventes para extraer el aceite por unos pocos lotes de soya no GM.

Según FAO la producción de aceites y grasas y la de harinas y tortas de oleaginosas para el período 2003/ 2004 se pronostica en 129 y en 91 millones de t contra una utilización de 131 y de 91 millones de t, respectivamente. Ello muestra que la oferta y la demanda están balanceadas por lo que toda la soya que se produzca tiene mercado. La producción de soya estimada para 2003/2004 es de 186,9 millones de toneladas lo que equivale al 55,7 % de la producción total de oleaginosas (FAO, 2004).

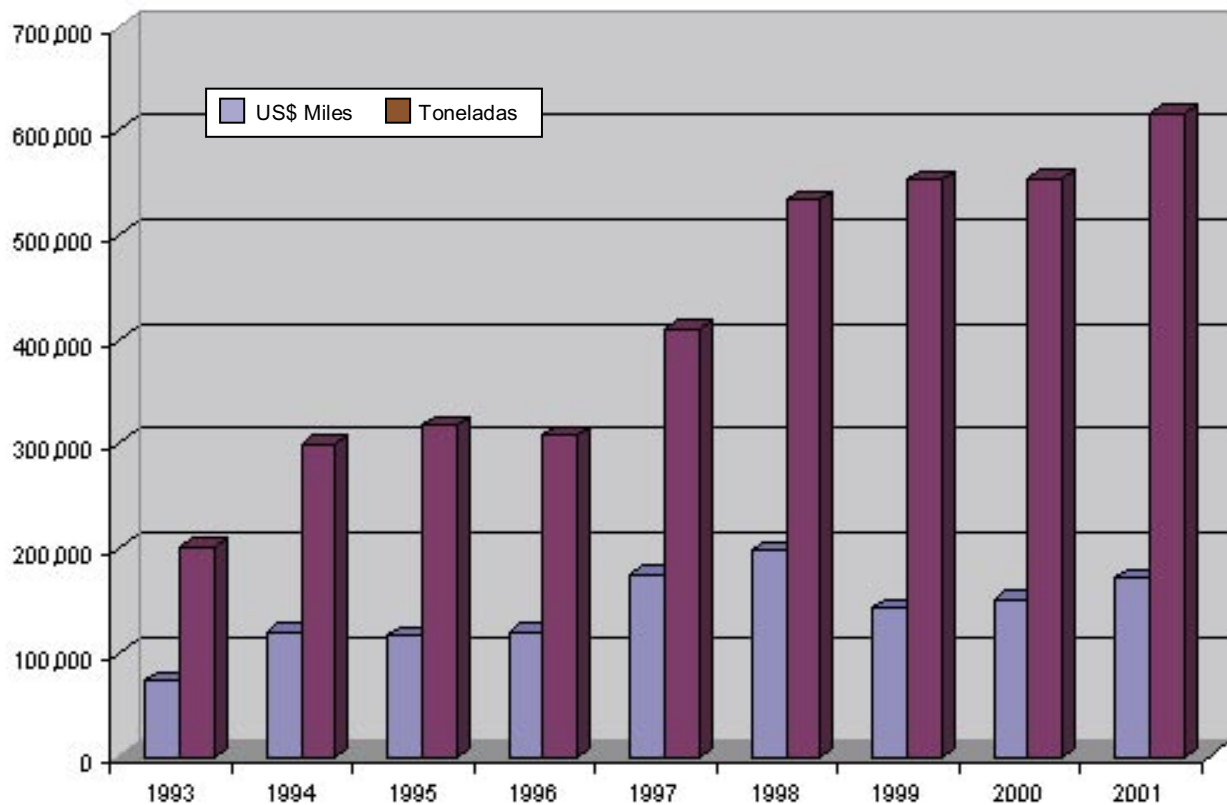


Figura 3. Importaciones de torta de soya y aceite de soya (Fuente: Aduanas del Perú).

Es importante señalar que la soya y sus productos derivados se exportan cada vez más, debido al incremento de su demanda a nivel mundial. Mientras la población mundial crece a un ritmo de 1,3 % compuesto anualmente en los últimos 5 años, el consumo de aceite de soya (que representa el 28 % de todos los aceites) crece al 4,1 % y la harina de soya al 3,9 %. Estados Unidos que produce el doble de soya que China, es un comercializador estratégico de primer orden y un altísimo porcentaje del procesamiento y exportaciones de granos, aceite y torta de soya, se concentra en tres compañías multinacionales: ADM, Cargill y Bunge. Estados Unidos exporta el 11 % del aceite y 20 % de la torta de soya que produce a los mercados mundiales. Posiblemente Brasil a corto plazo sustituya a Estados Unidos como el primer exportador. No hay en este momento abastecimiento de soya no transgénica con identidad preservada en grandes volúmenes en ningún país, pero podría desarrollarse si los mercados lo solicitan, como ocurre en

los mercados orgánicos (1-1,5 % del volumen mundial) o de algunos procesadores en Japón, Corea del Sur y Europa Occidental, pero a precios mucho más elevados. En el 2001, el Perú importó unas 600 000 t de torta y de aceite de soya.

Los productos procesados de soya son muchísimos y ellos entran como ingredientes de otros productos agroindustriales. Entre estos se encuentran aceites y torta de soya, contándose luego, margarina, salsas, salad dressings, tofu, leche de soya, bebidas de soya (misso, tempeh, natto, etc), lecitina (para chocolates, helados, industria farmacéutica), helados, yogurt, okara, carne de soya texturizada, extensores de carne de soya para hamburguesas, harina de soya como aditivo para panadería y pastelería, extractos de proteína, concentrados de proteína, isoflavonas y oligosacáridos (ambos como aditivos nutricionales), nueces de soya, salsas de soya oriental, sillau, etc. y ají-no-moto. En aplicaciones industriales se tiene tinta de

soya, pinturas, solventes, ceras, etc. Como combustibles se tiene el biodiesel derivado de aceite de soya. Los productos usados como alimentos de ganado y de mascotas llenan otra vasta gama de derivados.

Estos y otros componentes se encuentran introducidos posiblemente en todas las marcas de chocolates y helados, en muchos productos de panadería y en toda la industria de alimentos rápidos (hamburguesas), en todas las sopas preparadas, salsas, margarinas y grasas vegetales sólidas (Crisco, etc) usadas en restaurantes, hoteles, hospitales, etc.

Tratar de hacerle un seguimiento con etiquetado GM a todos los miles de productos que pueden aparecer en bodegas, restaurantes, supermercados y a los niveles de fabricación local de agro-industria y de alimentos sería una tarea hercúlea, que consideramos imposible por varios motivos. No existen los laboratorios con capacidades suficientes para determinar en cada caso y en cada lote (cada lote puede ser diferente de otro y hay varios lotes incluso por mes de fabricación de cualquier producto) la composición del derivado de soya para saber si es transgénico o no, aunque eso estaría en la práctica de más, porque con la saturación real actual del mercado con productos que tienen definitivamente o pueden tener al menos mezcla de soya transgénica, descubrirlas no llevaría sino a confirmar lo que ya se sabe. ¿Cuál sería el beneficio?. Ninguno, salvo satisfacer a ciertos grupos contrarios a los OGMs a un costo inaguantable para el estado, los fabricantes, distribuidores y finalmente los consumidores. Y si ya se ha comprobado que los actuales OGMs de soya no han provocado daños a la salud en lugar alguno del mundo, esta fase podría obviarse para los transgénicos con los cuales ya hay experiencia y que se sabe que son equivalentes sustanciales de productos convencionales.

Los eventos transgénicos se han ido registrando en las Bases de Datos del Centro de Intercambio de Información establecido por el Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad (Biosafety Clearing House), en la FDA y USDA en Estados Unidos y en la base de datos de ICGEB en Trieste, Italia. En el Marco Estructural Nacional de Bioseguridad del Perú se ha

considerado desarrollar un nodo central de base de datos de información del sistema de bioseguridad peruano (Centro de Intercambio de Información en Bioseguridad o BCH-n con sede en CONAM) conectado a esas bases de datos para recopilar toda la información necesaria que permita tomar decisiones en cuanto a los eventos transgénicos que ya están en el mercado. Estos no necesitan ser reevaluados sino mas bien su comercio formalizado, por una parte. Por la otra, se deberá iniciar el registro y el monitoreo de los nuevos eventos de transgénesis en diversos cultivos, a medida que ellos vayan siendo lanzados al ambiente en otros países para definir el análisis de riesgo que se precise realizar en cada uno de esos nuevos casos, en los que la experiencia aún es limitada.

6. Referencias bibliográficas

British Medical Association - Board of Science and Education. 2004. Genetically modified foods and health: a second interim statement.

Demont, M.; E. Tollens. 2004. First impact of biotechnology in the EU: Bt maize adoption in Spain. *Ann. Appl. Biol.* 145:197-207.

Diamante, A.; J. Izquierdo. 2004. Manejo y gestión de la biotecnología Agrícola apropiado para pequeños agricultores: Estudio de caso Argentina. Informe de Fundación RedBio Argentina. Buenos Aires. 91 pp.

FAO. 2004. Perspectivas Alimentarias. No. 2. FAO, Roma. Junio, 2004.

James, C. 2005. Situación global de los cultivos transgénicos/GM comercializados: 2004. Resumen Ejecutivo, ISAAA Briefs No. 32. ISAAA, Itahaca, NY, EE.UU. 2005, 12 p.

James, C. 1997 a 2004. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. ISAAA Briefs (International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications). Briefs Nos. 26 a 31.

Miller, H. 2005. Halting the March of Unreason. *Genetic Engineering News*, 25 (15): 6,9,29.

Miller, H.; G. Conko. 2004. *The Frankenfood Mythow Protest and Politics Threaten the Biotech Revolution*. Greenwood Press.

Ortiz-García, S.; E. Ecurra; B. Schoel; F. Acevedo; J. Soberón; A. A. Snow. 2005. Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, Mexico (2003-2004). Aprobado para publicación en *Proc. Nat. Acad. Sciences (USA)* 21 junio 2005.

Quist, D.; I.H. Chapella. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* 414:541-543.

Quist, D.; I.H. Chapella. 2002. Biodiversity (Communications arising (reply): Suspect evidence of transgenic contamination/Maize transgene results in Mexico are artifacts. *Nature* 416:602-603.

...“Esta publicación contiene información sobre la biología y genética de los cultivos de algodón, leguminosas de grano, maíz y papa, incluyendo distribución geográfica, su caracterización, y principalmente la descripción y distribución de la diversidad genética, a nivel nacional de las diferentes especies o taxones. Se ha incluido información también sobre los factores de cruzabilidad potencial entre especies y poblaciones existentes en el país.”...

(Castro Sánchez-Moreno, 2005) [Pag. III]

...“Algunas de las variedades mejoradas de papa, maíz y otros cultivos hace 30-40 años, han sido adoptadas por los agricultores y desde entonces forman parte del acervo que manejan como cultivos de mezclas varietales o como cultivos monovarietales. Por lo tanto, las hipótesis y estudios sobre el impacto potencial de los OGMs sobre la biodiversidad deberían usar la experiencia, conocimiento y observaciones ganadas con aquellas liberaciones.”...

(Roca et al., 2005) [Pag. 94]

...“En el germoplasma disponible no se tienen todos los genes responsables de la adaptación del maíz a esas condiciones marginales. Es necesario una prospectiva tecnológica que, estimando la cantidad de área nueva que necesita el cultivo de maíz en el futuro, sienta las bases para la generación de los nuevos cultivares de maíz en el Perú.”...

(Sevilla, 2005) [Pag. 59]

...“La aplicación de la biotecnología moderna a la producción agrícola, señalan FAO y 25 científicos ganadores del Premio Nobel, es la garantía futura de una seguridad alimentaria permanente para poblaciones cada vez mayores.”...

(Grobman, 2005) [Pag. 100]



El Consejo Nacional del Ambiente - CONAM es la Autoridad Ambiental Nacional creada mediante Ley N° 26410 en 1994 para promover el Desarrollo Sostenible, propiciando un equilibrio entre el desarrollo socio económico, la protección del ambiente y el bienestar social. Su finalidad es planificar, promover, coordinar, controlar y velar por el ambiente y el patrimonio natural de la Nación.