

Apéndice I

Desarrollo de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe

W. M. Roca*

M. C. Amézquita*

V. M. Villalobos**

L. Mroginski***

Situación

En los últimos 10 a 15 años, la biología ha evolucionado rápidamente hacia el estudio de los niveles celular, subcelular y molecular de los organismos. Este conocimiento trae consigo metodologías nuevas capaces de mejorar las plantas y los animales. La clonación de células y tejidos *in vitro* y algunas técnicas del ADN recombinante (rADN) pueden utilizarse ya en diversas áreas del mejoramiento. Otros adelantos de la biotecnología permitirán en el futuro variar el número de copias de un gen, inhibir o activar selectivamente los genes, y transferir genes seleccionados de una planta a otra o de un animal a otro.

Las técnicas del cultivo de tejidos *in vitro* para la micropropagación, la eliminación de enfermedades, y la conservación e intercambio de germoplasma se aplican ya a muchas especies vegetales. Se espera también que las aplicaciones de la biotecnología al fitomejoramiento den como resultado productos revolucionarios. Sin embargo, las ganancias inmediatas serán las aplicaciones que aceleren o amplíen las técnicas ya establecidas y que provean apoyo a los programas existentes de mejoramiento; el cultivo de anteras para la obtención rápida de homocigosis, y la selección *in vitro* de somaclones y líneas mutantes son algunas de estas aplicaciones.

* Unidad de Investigación en Biotecnología (UIB), y Sección de Biometría/Unidad de Servicio de Datos, respectivamente, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

** Centro de Genética, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. Actualmente en: Programa de Mejoramiento de Cultivos Vegetales, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

*** Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Botánica del Nordeste, Corrientes, Argentina.

La mayor limitación que experimenta la ingeniería genética de plantas reside en la falta de conocimientos sobre la genética molecular de los caracteres económicamente importantes. Las técnicas actuales de manipulación del ADN pueden usarse para modificar caracteres de control genético simple. La resistencia a los herbicidas, el mejoramiento de la calidad de las proteínas, la resistencia a los virus y a los insectos son caracteres de importancia económica con los cuales se experimenta actualmente en la ingeniería genética. Por otro lado, el rADN servirá, a mediano plazo, para la construcción de marcadores moleculares y mapas genéticos de ligamiento en las especies cultivadas, para la detección de virus y viroides en las plantas, y para la caracterización del germoplasma. Estos avances tecnológicos han originado hechos importantes para la investigación agrícola, como los siguientes:

A. El sector privado está adquiriendo preponderancia en el desarrollo de la nueva biotecnología en los países desarrollados, y ha recibido por ello el estímulo de las disposiciones legales sobre derechos de protección de plantas y sobre nuevas formas de vida (Hansen et al., 1986). En los últimos años se han establecido 135 empresas de biotecnología dedicadas al mercado agrícola en 18 países desarrollados de América, Europa y Asia, aunque se estima que, para el año 2000, sólo 10 a 20 compañías grandes, verticalmente integradas, dominarán este mercado a nivel mundial (Kidd y Teweles, 1986).

B. Aunque la mayor parte del financiamiento para la investigación básica en biotecnología continuará emanando del sector público, hay una tendencia hacia la vinculación de la inversión privada a estos proyectos en las universidades de los países desarrollados. Por ejemplo, mientras que la mitad de las empresas de biotecnología de Estados Unidos financiaron investigaciones en las universidades de ese país por un total de 120 millones de dólares en 1984, el apoyo estatal llegó a 500 millones de dólares (Blumenthal et al., 1986). Los fondos públicos para investigación biotecnológica en esas universidades se asignan principalmente a proyectos de largo plazo, mientras que la inversión privada se destina a proyectos de corta duración y, por ende, de carácter aplicado. Esta consideración es relevante para la agricultura de los países en desarrollo.

C. Se estima que los cambios que producirá la biotecnología en los países en desarrollo serán tan profundos como los que ha causado en los industrializados (Buttel et al., 1985). Sin embargo, los objetivos de las numerosas firmas de biotecnología son, en general, diferentes de aquéllos de los países tropicales (Elkington, 1986). En cuanto a los cultivos, el interés de esas compañías se centra mayormente en maíz, trigo, tomate,

soya, sorgo y otras especies comerciales. Por otro lado, la mayoría de esas firmas no enfocan el problema del rendimiento directamente sino mediante el aumento del valor agregado de los productos agrícolas; en otras palabras, la semilla para las firmas de biotecnología es mucho más importante como un vehículo que como un producto final per se.

D. Para su aplicación en la agricultura tropical, las tecnologías nuevas deberán integrarse a estrategias específicas de mejoramiento. Por tal razón, es necesario que tales tecnologías se ajusten a la realidad y a las necesidades de cada país y región. Esta tarea requiere cooperación inter-institucional en investigación, capacitación y comercio.

Los estudios sobre la situación de la nueva biotecnología, en general, y sobre la agrícola, en particular, contribuirán a la prospección y al establecimiento de programas de cooperación regional e internacional. Ya se han realizado conferencias regionales sobre el tema (Sawyer, 1984; Poltronieri, 1986); además, un primer directorio latinoamericano (Roca, 1985) y prospectos y catálogos para algunos países de la región han sido publicados (COSNET, 1984; Robert y Loyola, 1985; Quintero, 1984).

Este artículo discute brevemente los resultados de un estudio sobre la situación de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe (Roca et al., 1988) con el propósito de evaluar los recursos físicos y humanos, los proyectos de investigación, las necesidades de capacitación, y los planes futuros en este campo. Se resumen también los resultados obtenidos en biotecnología en 107 instituciones de 23 países de la región.

Tecnologías Actuales

En la región latinoamericana hay preferencia notoria por las tecnologías celulares como el cultivo de tejidos (90% de las instituciones encuestadas), sobre todo en las universidades y en los institutos nacionales de investigación agrícola. Se confirma así la opinión de que las tecnologías más extendidas en los países de la región están asociadas con su aplicación a corto plazo y con bajas inversiones. Por consiguiente, las tecnologías que requieren mayor inversión y especialización, como las moleculares son, actualmente, las de menor empleo en la región (sólo en 24% de las instituciones).

Considerando las especies agrícolas y los microorganismos que se han hecho objeto de estudio biotecnológico (Cuadro I.1), las raíces y tubérculos (papa, camote, yuca y especies de *Dioscorea*) son los cultivos más

Cuadro I.1. Especies agrícolas y microorganismos en los cuales se estudia y emplea con más frecuencia la biotecnología en América Latina y el Caribe, en 1986.

Especie agrícola o microorganismo	Instituciones que lo estudian ^a	
	Número	Porcentaje
Raíces y tubérculos	40	42
Papa		
Camote		
Yuca		
<i>Dioscorea</i> (ñame)		
Industriales	33	35
Caña de azúcar		
Café		
Soya		
Palma de aceite		
Cacao		
Frutales tropicales	28	29
Plátano y banano		
Cítricos		
Papaya		
Leguminosas de grano	25	26
Frijol		
Cereales	24	25
Trigo		
Maíz		
Arroz		
Cebada		
Bacterias	21	22
<i>Rhizobium</i> spp.		
<i>E. coli</i>		
Hortalizas	18	19
Tomate		
Hongos	14	15
<i>Neurospora</i> spp.		
Ornamentales	14	15
Clavel		
Forestales	14	15
Eucalipto		
Pino		
Virus	13	14
Medicinales	7	7
<i>Catharanthus</i> sp.		

(Continúa)

Cuadro I.1. Continuación.

Especie agrícola o microorganismo	Instituciones que lo estudian ^a	
	Número	Porcentaje
Frutales templados	7	7
Pastos y forrajes <i>Stylosanthes</i> sp.	6	6
Espicias	2	2

a. En la muestra encuestada, n = 95.

estudiados (en 42% de las instituciones); los siguen los cultivos industriales (café, caña de azúcar, soya, palma de aceite y cacao) destinados generalmente a la exportación. La tendencia observada obedecería a la importancia agrícola de ciertos cultivos en la región, y al hecho de que las tecnologías que más se usan están disponibles y ofrecen generalmente resultados rápidos con tales especies. Es notoria, en cambio, la dificultad de aplicación de la biotecnología en otras especies importantes como las forestales (sólo en 15% de las instituciones). El empleo de las técnicas moleculares, principalmente en la investigación de microorganismos, en los países de la región refleja lo que ocurre en la investigación biotecnológica de los países desarrollados: aquí y allá la manipulación genética con los microorganismos es muy dinámica a nivel del ADN.

De un total de 460 estudios relacionados con biotecnología en la región, el 80% está iniciándose a nivel del laboratorio y sólo algunos se usan corrientemente en programas de investigación.

Recursos Disponibles para la Biotecnología

Recursos humanos

Del personal adscrito actualmente a biotecnología en la región, el 63% no tiene preparación académica de posgrado. Más del 70% del personal total labora en las universidades y en los institutos nacionales de investigación agrícola; dentro de éstos, aproximadamente el 40% se halla a nivel de posgrado.

Respecto a la capacitación en esta ciencia, de todas las personas que se capacitan en diferentes áreas de biotecnología (179) más del 50% adelantan

programas de posgrado y la otra mitad cursos cortos de capacitación en servicio (Cuadro I.2). Es importante señalar que las universidades de los países de la región capacitan en posgrado sólo al 46% de los interesados; el resto estudia en universidades de fuera de la región en las cuales, si pertenecen a países desarrollados, la dificultad para lograr el financiamiento de estudios de posgrado es cada vez mayor.

Cuadro I.2. Recurso humano de la región latinoamericana que se halla en capacitación en distintas áreas de la biotecnología, en 1986.

Tipo de institución que ofrece capacitación	Capacitación ofrecida				Total
	Programas de posgrado		En servicio ^a		
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	
Universidad nacional	44	46	56	65	100
Universidad extranjera	49	53	19	22	68
Otra (nacional)	—	—	1	1	1
Otra (extranjera)	1	1	9	10	10
Total	94	100	85	100	179

a. Recibiendo adiestramiento en servicio o práctica profesionales.

Recursos físicos

De las instituciones de la región, 88 cuentan con instalaciones que cumplen el papel de un laboratorio. El término laboratorio incluye diversas instalaciones cuyo número y área son extremadamente grandes; este hecho sugiere que el recurso físico ha experimentado un desarrollo desigual en la región.

Recursos financieros

El desarrollo adecuado de la biotecnología exige recursos financieros para equipamiento y operaciones. El 30% de las instituciones estudiadas han hecho una inversión en equipo y otros elementos de capital superior a los 100,000 dólares; el 25% de las instituciones tienen un presupuesto de operaciones para 1986 superior a 50,000 dólares, y el 45% restante sólo cuenta con menos de 20,000 por año. Esta cantidad parecería insuficiente para instituciones que aspiren a tener recursos físicos adecuados y personal capacitado.

Planes Futuros

Las tendencias futuras de la investigación biotecnológica en la región latinoamericana indican que el área celular seguirá siendo prioritaria en los próximos cinco años (Cuadro I.3). Otro cambio significativo en el futuro próximo serán las áreas de investigación bioquímica y molecular, segundas en prioridad de acuerdo con la encuesta; además, el incremento de esta investigación demandará mayor especialización del personal científico de la región.

La necesidad de personal durante el quinquenio 1987-1992 en las 107 instituciones estudiadas se satisfaría contratando cerca de 500 personas distribuidas de la siguiente manera: más del 40% con nivel de posgrado, 23% con nivel universitario, y el resto como personal de apoyo no profesional. Se requerirán por tanto 214 investigadores con posgrado, de los cuales aproximadamente la mitad deberá tener grado doctoral; estos últimos representan, respecto al total del personal actual con posgrado, un 31% (Cuadro I.4).

Cuadro I.3. Áreas de investigación y biotecnologías consideradas prioritarias para el quinquenio 1987-1992, en la región latinoamericana.

Área de investigación y tecnologías	Instituciones estudiadas	
	Número	Porcentaje ^a
Cellular	46	48
Cultivos de meristemas y ápices	29	
Cultivos celulares	27	
Cultivo o fusión de protoplastos	12	
Cultivo de anteras o microsporas	11	
Cultivo de ovarios y óvulos	8	
Bioquímica	20	21
Purificación y separación de proteínas	10	
Biosíntesis y metabolitos secundarios	9	
Molecular	20	21
ADN recombinante	50	
Aislamiento y clonaje de genes	7	
Trasferencia de genes	5	
Regulación y expresión de genes	4	
Inmunológica	12	13
Pruebas de diagnóstico	7	
Anticuerpos monoclonales	6	

a. Respecto al total encuestado (n = 95).

Cuadro I.4. Necesidad de recurso humano calificado en biotecnología para el quinquenio 1987-1992, en la región latinoamericana.^a

Nivel académico	Recurso humano capacitado	
	Actual (no.)	Quinquenio 87-92 (no.)
Doctorado	175	106 (31)
Maestría	168	108 (39)

a. En la muestra encuestada, n = 95. Las cifras entre paréntesis indican porcentajes respecto al personal total actual.

Conclusiones

En los países de América Latina y el Caribe hay instituciones con el escenario propicio para desarrollar las aplicaciones agrícolas de la biotecnología. Para lograr este objetivo, urge obtener la colaboración interinstitucional en biotecnología, tanto en investigación como en capacitación. Asimismo, los sectores de investigación, desarrollo y producción agrícolas necesitan integrarse en proyectos acordes con las necesidades reales de cada cultivo.

Las tecnologías que más se emplean actualmente en la región son las de mayor potencial de aplicación a corto o mediano plazo (como el cultivo de tejidos), y las especies vegetales estudiadas con mayor frecuencia son, a su vez, las de mayor importancia para la agricultura de la región.

La mayor parte de las biotecnologías se emplean en programas de investigación a nivel del laboratorio. Es necesario, por tanto, estimular las tecnologías aplicables en el campo.

Un porcentaje considerable del personal asignado a biotecnología en las instituciones estudiadas en este trabajo posee grados académicos avanzados y se dedica, en un alto porcentaje, a la investigación en el área celular. Cerca del 50% del personal que se halla en capacitación está realizando estudios de posgrado (doctorado o maestría). Las universidades de los países de la región, por su parte, están captando en grado creciente la capacitación de posgrado.

La posición de las instituciones según el monto de los recursos financieros invertidos en biotecnología es muy variable, como era de esperarse.

El área de investigación celular se mantendrá prioritaria en el período 1987-1992 y, en comparación con la situación actual, la biología molecular adquirirá gran preponderancia. En ese lapso, además, habrá necesidad de incorporar cerca de 500 personas al caudal de investigadores en biotecnología de la región; de ellas, más del 40% deberá tener preparación de posgrado equivalente al doctorado o a la maestría.

Referencias

- Blumenthal, D.; Gluck, M.; Seashore, L. K.; Stoto, M. A. y Wise, D. 1986. Industrial support of university research in biotechnology. *Science* 231: 242-246.
- Buttel, F. H.; Kenney, M. y Kloppenburg Jr., J. 1985. From green revolution to biorevolution: Some observations on the changing technological bases of economic transformation in the Third World. *Econ. Develop. Cult. Change* 34(1):31-55.
- COSNET (Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica). 1984. Potencial para el desarrollo de la ingeniería genética: Recursos en biología molecular. Catálogo 1984. SEP/COSNET, México, D.F. 361 p.
- Elkington, J. 1986. Double dividends? U.S. biotechnology and third world development. Paper no. 2. World Resources Institute (WRI). 50 p.
- Hansen, M.; Busch, L.; Burkhardt, J. y Lacy, L. R. 1986. Plant breeding and biotechnology: New technologies raise important social questions. *Bio-science* 36(1):29-39.
- Kidd, G. H. y Teweles, W. L. 1986. Restructuring the international seed and plant biotechnology industries. *Seedmen's Digest (E.U.)* 37:44-47.
- Poltronieri, H. M. (ed.). 1986. Biotechnology in the Americas; II: Applications in tropical agriculture. Interciencia Association y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), Costa Rica. 94 p.
- Quintero, R. 1984. Prospectiva de la biotecnología en México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México. 499 p.
- Robert, M. y Loyola, V. M. 1985. El cultivo de tejidos vegetales en México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México. 167 p.
- Roca, W. M. 1985. Directorio latinoamericano de biotecnología agrícola. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 110 p.

Amézquita, M. C. y Villalobos, V. M. 1988. Estado actual y perspectivas de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe: Encuesta 1986. En: Amaya, S. (ed.). Temas prioritarios y mecanismos de cooperación en investigación agropecuaria en América Latina y el Caribe. Memorias, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 187-215.

Sawyer, W. D. (ed.). 1984. Biotechnology in the Americas: Prospects for developing countries. Interciencia Association, Washington, D.C. 79 p.

Sterling, J. (ed.). 1986. Fifth annual guide to biotechnology companies. Genet. Eng. Newsl. 6(10):13-40.