

RED DE COOPERACION TECNICA EN BIOTECNOLOGIA VEGETAL



**BIOTECNOLOGIA APROPIABLE:
RACIONALIDAD DE SU DESARROLLO
Y APLICACION EN
AMERICA LATINA Y EL CARIBE**

Organización
de las
Naciones
Unidas
para la
Agricultura
y la
Alimentación



Oficina
Regional
de la FAO
para América
Latina
y el
Caribe



**ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA
LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION**

**RED DE COOPERACION TECNICA EN BIOTECNOLOGIA VEGETAL
(REDBIO)**

BIOTECNOLOGIA APROPIABLE:
*racionalidad de su desarrollo y
aplicación en América Latina y el Caribe*

Juan Izquierdo, Ph.D.
Oficial Regional de Producción Vegetal, FAO

Luigi Ciampi, Ph.D.
Universidad Austral, Chile

Dra. Eva de García
Universidad Central, Venezuela

OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE

**Santiago, Chile
1995**



Instalaciones Laboratorio de Biotecnología. Estación Experimental La Joya.
Bolivia. Foto. J.Izquierdo, Octubre 1999

La información, las denominaciones y los puntos de vista que aparecen en este libro son de la exclusiva responsabilidad de los autores y no constituyen la expresión de ningún tipo de opinión de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación con respecto a la situación legal de cualquier país, territorio, ciudad o área, o de sus autoridades, ni en lo concerniente a la delimitación de sus fronteras o límites.

El texto original fue preparado como documento de trabajo del "Taller sobre Código de Conducta en Biotecnología Vegetal", realizado en Santiago, Chile, del 10 al 13 de diciembre de 1991. Al mismo, se han agregado posteriormente otras opiniones de expertos y técnicos de la Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal (REDBIO). Se agradecen los comentarios de Polan Lacki, Oficial Regional de Educación y Extensión Agrícolas y Alejandro Schejtman, Economista Agrícola y la colaboración de Eleazar Vera en el procesamiento y diagramación del texto.

PROLOGO

Decenios de ayuda para el desarrollo no han logrado modificar la pobreza rural en los países del Tercer Mundo. En América Latina y el Caribe, una gran parte de la producción agrícola de la Región sigue dependiendo de la agricultura de subsistencia y por lo menos una tercera parte de la población carece de ingresos suficientes para asegurarse una aportación calórica mínima. El desempleo y el subempleo empeoran aún más la situación.

La complejidad de los procesos que intervienen en la producción y el desarrollo agrícolas y en los cuales la biotecnología previsiblemente tendría un impacto concreto, implica la promoción y adopción de estrategias y políticas para maximizar el grado en el cual los resultados de la investigación en biotecnología vegetal puedan estar disponibles para los países de la Región. Para ello, un flujo libre de información y de materiales genéticos es esencial, para allanar diferencias y permitir la introducción, el desarrollo y el uso de nuevas técnicas, organismos, productos y procesos basados en la investigación biotecnológica. Estos, además, deberán ser apropiados a las condiciones socio-económicas del pequeño productor y tener un mínimo impacto ambiental. Sólo con este enfoque se podrá asegurar una adecuada protección del medio ambiente, plantas, animales y seres humanos, y proveer nuevas y seguras alternativas de trabajo al sector agrícola de América Latina y el Caribe.

Siendo el acceso a la biotecnología el dilema y también el paradigma de su aplicación, el desarrollo de un sistema de información en biotecnología vegetal en América Latina y el Caribe, que permita compartir nuevas técnicas entre los países de la Región, podría transformarse en una de las formas de controlar el impacto potencialmente negativo de la propia biotecnología. Dentro de este contexto, la producción de material de plantación de frutas, raíces y tubérculos libres de virosis vegetales; la introducción de genes en variedades de papa, camote, yuca y otros cultivos para obtener variedades mejoradas por rendimiento y resistencia a enfermedades; la introducción de genes en variedades de cultivos alimenticios como maíz, soya y frijol, para proveer resistencia a plagas como gusanos cortadores, gusanos minadores y plagas del follaje; el desarrollo de sistemas de diagnóstico molecular a las principales enfermedades a virus para apoyar el desarrollo de programas de producción de semillas de raíces y tubérculos, frutales y hortalizas; y la introducción de genes de fijación de nitrógeno en plantas no leguminosas, son una reducida enumeración de ejemplos a corto plazo del impacto potencial de una biotecnología apropiada a la producción agrícola vegetal. Sin

embargo, el dilema subsiste, dado que debe facilitarse el acceso a ellos como única forma de garantizar que la biorevolución no se transforme en una revolución, que solamente beneficie a una agricultura con alta dependencia de insumos tecnológicos. El desarrollo de la **biotecnología vegetal apropiada**, orientada a proveer salidas alternativas a los problemas agrícolas, significa la utilización -en forma científica- de organismos vivos y agentes biológicos para mejorar la producción vegetal sostenible.

La aplicación de mecanismos biotecnológicos orientados a promover el desarrollo sostenible, a través de tecnologías viables con beneficios concretos para los usuarios, inocuas para el ambiente y aceptables desde el punto de vista socio-económico, implica una clara visualización de los problemas del desarrollo y una activa cooperación técnica horizontal. Este documento fue preparado con dicho propósito y dentro del ámbito de la Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal (REDBIO), auspiciada por la FAO, dando seguimiento y vinculándose a la propuesta del Código Internacional para la Biotecnología Vegetal de FAO.

Estudios anteriores han revelado que la biotecnología, a diferencia de los avances logrados por la revolución verde, es potencialmente más accesible a todas las empresas de producción, independiente de su tamaño y puede ayudar a los agricultores pobres a alcanzar un nivel de vida más digno. Se la puede utilizar separadamente de las grandes empresas aunque éstas lleven la delantera en este campo. El acceso a la tecnología es clave: siempre que se garantice dicho acceso, las biotecnologías representan una oportunidad para que el pequeño agricultor de América Latina y el Caribe rompa el círculo vicioso de la pobreza rural.

Severino de Melo Araujo
Subdirector General
Representante Regional para
América
Latina y el Caribe

INDICE

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. BASE CONCEPTUAL	3
2.1 Objetivos de la biotecnología	4
2.2 Situación regional de las agro-biotecnologías en su aplicación a la producción agrícola	6
2.2.1 Biotecnología vegetal	6
2.2.2 Biotecnología animal	11
3. BIOTECNOLOGIA APROPIABLE	15
3.1 Apropiación de la biotecnología para la lucha contra la pobreza: el caso de Asia	17
3.2 Biotecnología "apropiable" a través del mejoramiento genético	18
3.3 Un producto biotecnológico "fácil y simple"	21
3.4 Cooperación multilateral y biotecnología: redes horizontales	22
3.5 Optimización de los recursos	25
3.6 Prioridades en investigaciones biotecnológicas para América Latina y el Caribe	27
3.7 Código de Conducta de la FAO en Biotecnología Vegetal y Recursos Fitogenéticos	28
4. EL PEQUEÑO Y EL MEDIANO PRODUCTOR AGRICOLA	31
4.1 La factibilidad de incrementar la productividad campesina	33
4.1.1 Un caso exitoso	35
4.2 Identificación de factores de marginalidad	36
4.3 Costos de la biotecnología para el pequeño y el mediano productor: beneficiarios directos	38

	Página
5. AREAS DE IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGIA	41
5.1 Variedades resistentes a factores bióticos y abióticos y material saneado para el productor	42
5.1.1 Cultivo <i>in vitro</i> de tejidos vegetales	42
5.1.2 Cultivos de anteras y obtención de haploides	44
5.1.3 Obtención de variantes somaclonales	45
5.1.4 Obtención de embriones somáticos para producción de semillas artificiales	45
5.1.5 Fusión de protoplastos	46
5.1.6 Ingeniería genética y plantas transgénicas	46
5.2 Bio-control de plagas y enfermedades de los cultivos	49
5.2.1 Microorganismos útiles para el bio-control	50
5.3 Fijación biológica de nitrógeno atmosférico	54
5.4 Elaboración de "kits" de diagnóstico rápido	55
5.5 Biotecnología animal	56
5.5.1 Biotecnología acuícola	57
6. IMPLEMENTACION DE LA BIOTECNOLOGIA "APROPIABLE" EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE	59
6.1 Escala de las unidades de cultivo de tejidos	59
6.2 Fuentes de tecnología y desarrollo	62
7. IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGIA EN LOS RECURSOS	67
7.1 Riesgo ambiental reducido	68
7.2 Los problemas del trabajo biotecnológico	69
7.2.1 Bioseguridad	70
7.2.2 Etica y moralidad de la biotecnología apropiable	71
8. CONCLUSIONES	73
9. BIBLIOGRAFIA	77

1. INTRODUCCION

La selección y la manipulación de las inferencias genéticas o de los procesos biológicos han sido características naturales para la agricultura y el procesamiento de alimentos desde los orígenes de nuestra civilización. Estas herramientas han sido desarrolladas en los países de América Latina y el Caribe a una tasa de cambio invariablemente lenta que se ha traducido en un inoportuno relevo de nuevas variedades de cultivo por los programas de mejoramiento genético tradicional o en una lenta o muy parcial utilización de nuevas tecnologías o procesos biológicos. Una nueva variedad o proceso biológico útil toma muchos años en alcanzar y beneficiar al mediano y pequeño productor, en especial a los ubicados en zonas rurales marginales de los países en vías de desarrollo. Métodos de control biológico de plagas que datan de muchos años no se han divulgado ni se utilizan masivamente.

En los últimos 40 años, nuevas, importantes y poderosas biotecnologías basadas en avances concretos en el campo de la biología molecular han aumentado en forma trascendental las posibilidades de inferir y manipular las características heredables de plantas, animales y microorganismos. Los avances recientes y los descubrimientos que casi a diario se producen en biología celular y molecular, genética, microbiología ambiental e industrial, inmunología, uso del ADN (ácido desoxiribonucleico) recombinante, cultivo de tejidos vegetales y animales y en la obtención de plantas transgénicas, han logrado potenciar las expectativas y se esperan importantes impactos en la agricultura, la salud, los procesos descontaminantes y nuevas formas de obtención de energía (CTA/FAO, 1989).

*"Biotecnología comprende un conjunto de tecnologías incluyendo pero no necesariamente confinadas a cultivo de tejidos y técnicas de ADN recombinante, las cuales utilizan organismos vivos (o partes y sustancias obtenidas de organismos), para explotar y modificar organismos de tal manera de producir nuevos productos, bienes y procesos. Se espera que estos desarrollos sirvan para superar enfermedades, plagas y limitantes ambientales de la producción o mejorar la calidad y cantidad de los productos" (FAO 1994). Esta definición es menos amplia que la presentada en el texto de la **Convención de Diversidad Biológica**. En efecto, está restringida a las "nuevas" tecnologías.*

La generación de estrategias alternativas adaptadas a las condiciones de la gran masa campesina -mediana y pequeña- de América Latina y el Caribe es apremiante. Nuevas

biotecnologías pueden proveer mecanismos e instrumentos para alcanzar objetivos concretos en el fortalecimiento de sistemas productivos continuos sustentados en tecnologías biológicas prácticas, entendibles y reproducibles por los destinatarios.

Sin embargo, la "apropiación" de estas tecnologías modernas como alternativa aptas, depende de la previa evaluación y adaptación social y económica de las mismas, acción relevante en la definición de programas de biotecnología y desarrollo.

La "bio-revolución" ha impresionado notablemente a líderes mundiales y políticos de todos los ámbitos por las expectantes posibilidades que se abren en masificar sus efectos y por las esperanzas que se cifran en alcanzar un mundo más justo, equitativo y en paz. Sin embargo, su impacto debe analizarse a la luz de los nuevos desarrollos sociales, de mercados, ambientales y tecnológicos y considerando las necesidades de los más marginados, destinatarios finales de estas biotecnologías "apropiables".

Biotecnologías "apropiables" significan herramientas biotecnológicas que contribuyen al desarrollo sostenible al ser técnicamente factibles dentro del nivel de desarrollo técnico-científico de un país; al proveer beneficios tangibles a los destinatarios y ser ambientalmente seguras, y socioeconómicamente y culturalmente aceptables. En el contexto de este documento el término "biotecnologías apropiables" se refiere en particular a aquellas biotecnologías que promueven el desarrollo de una agricultura sostenible a través del uso de recursos genéticos y procesos de transformación de dichos recursos considerando la cultura y tecnología local.

Este documento, preparado como documento de trabajo en apoyo a la Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal (REDBIO), intenta enfocar y alertar sobre la perentoria necesidad de promover el desarrollo y la aplicación de biotecnologías apropiadas para la solución de problemas de producción de alimentos y de seguridad alimentaria de los países de América Latina y el Caribe. En este contexto, una visión participativa de todos los sectores y actores involucrados, orientada y ejemplificada con ejemplos de casos, es desarrollada proponiendo una biotecnología para la "adversidad y la escasez".

2. BASE CONCEPTUAL

Conocer las áreas que beneficiarán al pequeño y mediano productor agrícola de América Latina y el Caribe a través de la aplicación de la biotecnología es inherente a la base conceptual de este documento. Si la biotecnología es aceptada y forma parte de la realidad de los países de la Región, el enfoque es conceptualmente diverso frente o comparado con los propósitos de los programas biotecnológicos de los países desarrollados.

La Región no se encuentra libre de problemas y está agobiada por una serie de dificultades donde se destaca la enorme deuda externa que alcanza en su conjunto a 460 mil millones de dólares de los EE.UU. También varios países presentan serios problemas económicos y políticos que se manifiestan a través de una inflación incontrolable o perspectivas poco claras o restringidas en su comercio de exportación.

Es esencial que los escasos recursos que se invierten en biotecnología en la actualidad y con mayor decisión en el futuro, sean dirigidos en primera instancia a beneficiar al campesinado de América Latina y el Caribe, puesto que este segmento de la sociedad productiva es marginal y actúa como factor limitante del desarrollo del país y de la Región. Es precisamente en la actividad agrícola y pecuaria donde pareciera que la biotecnología puede ofrecer sus bondades a nuestra Región. Sin lugar a dudas este impactante desarrollo podría beneficiar y asegurar el alimento de la población actual y la futura.

Si este nuevo adelanto biológico puede brindar nuevas posibilidades de atenuación de las diferencias existentes entre países industrializados y aquellos en vías de desarrollo especialmente a nivel de la producción y la productividad de cultivos autóctonos y de la explotación sostenible de recursos fitogenéticos integrada al desarrollo agroindustrial es algo que todavía debe demostrarse en la práctica en toda su extensión, sin embargo existen ya ejemplos muy positivos.

Muchas de las técnicas biotecnológicas se aprecian refinadas y difíciles de aplicar. Sin embargo, se observa en muchas de ellas una clara tendencia a la aplicación práctica y ya hay evidencias de que algunos de estos nuevos procedimientos podrían hacer más eficientes las actividades agrícolas y silvopecuarias y disminuir el costo de producción de alimentos sin impactar el ambiente.

Esta nueva realidad implica la posibilidad de adecuar y orientar el desarrollo agroindustrial hacia un marco predominantemente biotecnológico que se contrasta del promovido por la "Revolución Verde", oneroso en insumos y muchas veces ecológicamente inconveniente. Excesivas aplicaciones de pesticidas, fertilizantes y similares no solamente

dañan sino que también persisten en el ambiente y requieren de inversiones de dinero a las cuales los pequeños y medianos productores no tienen acceso.

La frustración de algunas expectativas generadas a raíz del surgimiento de las variedades híbridas de alto rendimiento adaptadas a ambientes tecnológicamente "ricos", es ilustrativa de los riesgos que están implícitos al hacer abstracción de la repercusión social potencial del cambio técnico. Numerosos ejemplos y autores han destacado que estos incrementos, significativos de productividad, tuvieron como contraparte una polarización aún mayor de la estructura socioeconómica.

2.1 Objetivos de la biotecnología

Entendemos como biotecnología "toda técnica en la que se emplean organismos vivos (o partes de éstos), para fabricar o modificar productos, mejorar plantas o animales, o crear microorganismos para usos específicos". La producción se puede efectuar con organismos intactos tales como levaduras, hongos y bacterias, o con sustancias naturales (tales como plantas y enzimas), obtenidas de los

Los impactos más importantes y trascendentes en la aplicación de las biotecnologías se están dando en el sector agropecuario, tanto en países desarrollados como en desarrollo. Las herramientas biotecnológicas han demostrado ser de gran utilidad para mejorar los cultivos agrícolas en propagación masiva de plantas superiores, mejoramiento genético, conservación y distribución de germoplasma vegetal (VILLALOBOS, 1993).

microorganismos (NAS, 1982). Dentro de este contexto, es predecible que durante las próximas décadas el desarrollo de la biología tendrá un impacto similar al realizado por la electrónica y la cibernética durante los últimos diez años. Esta nueva frontera de desarrollo científico denominada biotecnología no es nueva. Instintivamente en sus primeros comienzos civilizados, y con metodologías microbiológicas, el hombre pudo por años instrumentalizar la biología a través de los conocimientos y tecnologías desarrolladas para la producción de vino, cerveza, vinagre, quesos, alimentos, etanol y diversos fármacos.

Lo que es nuevo en la avanzada y nueva biotecnología, es el estilo y las metodologías. La biología tradicional aplicada a microorganismos o especies vegetales utilizados para la alimentación soporta la selección como la fuerza principal que mantiene el avance del proceso. La biotecnología moderna utiliza en cambio la información que se encuentra al interior de la célula o de los genes animales o vegetales, para dirigir y manipular los productos que en ellos se elaboran.

Lo que es también nuevo en biotecnología es la necesaria labor de equipo, puesto que al desarrollo de esta "biociencia" concurren y participan activamente todas las ramas de la biología, lo que se contrapone con el individualismo académico de la biología tradicional. Esta nueva visión del mundo de la ciencia es comprensible y se hace diariamente evidente al enfrentarnos a la pesada carga del cúmulo de conocimientos científicos producidos en los últimos veinte años en el campo de la genética y la biología, los cuales son más fáciles de acceder a través de grupos altamente integrados. Los numerosos resultados prácticos en el uso de las herramientas biotecnológicas, particularmente en cultivos alimenticios y en el contexto promovido por la FAO en redes como REDBIO, deben ser fomentadas en los países en desarrollo.

La biotecnología avanzada no puede separarse de su relación original con la empresa corporativa de los países desarrollados, en la que predomina un enfoque industrial, "comoditizado", estructuralmente limitado y no apto para ser usado con otros fines alternativos. Modificaciones a esta estrategia a través de cambios progresivos podría conducir a complementar una biotecnología endógena o "apropiable" con cierto grado de éxito. Su éxito social y económico, presumiblemente escaso en el corto plazo, podría justificar el avance de innovaciones en el campo del mejoramiento genético, al proveer evidencias respecto a cuánto y cómo la biotecnología sirve a las clases marginales pobres y a los objetivos de la agricultura sostenible (KLOPPENBURG, 1993).

Son numerosos los ámbitos en que la biotecnología puede impactar el desarrollo agrícola en América Latina y el Caribe, donde existe una fuerte economía y tradición de trabajo orientadas a la explotación agrícola, forestal y pesquera. También la Región cuenta con una agricultura campesina expectante y receptiva, pero socioeconómicamente marginada, lo que trae como consecuencia la necesidad de aplicar desarrollos que permitan diversificar y multiplicar la producción primaria incorporando al sector determinados programas y procesos biotecnológicos. Se debe asegurar que el sector agrícola sea en este caso el más beneficiado, para que de este modo, los productos de la "nueva" biotecnología, tales como la obtención de plantas transgénicas, métodos moleculares de diagnóstico, inoculantes biológicos, biofertilizantes, cultivos de tejidos vegetales, transplante de embriones, procesamiento de productos lignocelulósicos, lixiviación bacteriana,

fermentaciones dirigidas, producción de biomasa, procesos descontaminantes, etc., sean verdaderas líneas de desarrollo rural que pueden crear o atraer, a su vez, otras "nuevas" biotecnologías "apropiables", las cuales en un proceso dinámico y sin favorecer cambios radicales en las costumbres, dietas y formas de trabajo tradicionales, se involucren a través de un enfoque predominantemente biológico, al desarrollo de los países.

Como consecuencia de lo anterior, al margen de potenciar la agricultura tradicional, también se pueden visualizar nuevas agroindustrias, procesos novedosos y alternativos, variedades vegetales con especiales características y todo sin perder ni alterar y considerando sosteniblemente las actuales costumbres, fuentes de trabajo, tecnologías, los recursos naturales y el ambiente en general.

2.2 Situación regional de las agro-biotecnologías en su aplicación a la producción agrícola

Se han realizado diferentes encuestas y diagnósticos para establecer el papel que ha jugado la biotecnología en América Latina y el Caribe, sus recursos y potencialidades. Esto permite contar con un marco apto para definir e instrumentar acciones para la asistencia técnica, desarrollo y aplicación de estas técnicas y para promover la colaboración interinstitucional, regional e internacional en los países de la Región.

2.2.1 Biotecnología vegetal

Los resultados de la encuesta organizada por la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe en 15 países, con el objetivo de obtener información actualizada sobre el estado de desarrollo, aplicación y proyección de la biotecnología vegetal en diferentes instituciones de la Región, reflejaron la creciente participación del sector privado: 27 por ciento (IZQUIERDO, 1990) comparado con el 11 por ciento (ROCA *et al.*, 1986) determinado por CIAT. Los datos de la encuesta mostraron una distribución del personal técnico como se ilustra en el Cuadro 1.

El nivel de desarrollo, la aptitud para integrar programas cooperativos y el nivel de efectividad en biotecnología avanzada están en relación con la experiencia media de los encargados de los laboratorios que fue estimada en 10,8 años con alta especialización en cultivo de tejidos y fisiología vegetal (Cuadro 2). Estos resultados ponen en evidencia una mayor vocación hacia la biotecnología básica, en comparación con los resultados de la encuesta del CIAT en 1986 (ROCA *et al.*, 1986). Se detectaron más de 1.300 proyectos, de los cuales 723 correspondían a áreas de la biotecnología básica y aplicada a cultivos alimenticios.

<u>Especialidad</u>	<u>%</u>
Genética	11,8
Fisiología Vegetal	14,2
Biología	3,5
Bioquímica	7,1
Biología Molecular	10,6
Microbiología	5,9
Cultivo de Tejidos	30,2
Fitopatología	6,5
Mejoramiento	3,0
Horticultura	2,4
Fruticultura	2,4
<u>Silvicultura</u>	2,4

(FAO, 1990)

Un indicador válido de la productividad del personal técnico es el número de publicaciones, producto de la investigación científica. Más de 500 publicaciones fueron producidas en los últimos tres años, lo que representa 0,67% de publicación por profesional durante el período considerado. Esto denota una baja productividad técnico-científica, situación generalizada en la Región para todas las disciplinas. América Latina aportó únicamente el 1,14 % del total mundial de publicaciones en 1984 (BID, 1988). Una posible explicación en el caso de la biotecnología es que el 28% de los laboratorios tenía menos de tres años de existencia y el 27% divulga directamente sus resultados. Sin embargo, es reconocido el insuficiente desarrollo de la Región en la

publicación de artículos científicos que obedece a diferentes factores. Generalmente no existen incentivos que estimulen a los científicos que publican y son pocas las revistas científicas de alto nivel, en idioma español y con suficiente divulgación. Esta carencia representa una necesidad en futuras actividades de información y cooperación en biotecnología.

El estudio reveló que las unidades de biotecnología vegetal cumplen principalmente funciones de docencia o capacitación académica, dada su asociación con instituciones universitarias o de investigación. Como producto se han realizado más de 800 tesis de pre y posgrado en los últimos dos años en temas de investigación asociados a las diferentes biotecnologías.

Las técnicas biotecnológicas vegetales se aplican a una amplia gama de cultivos, que incluyen cereales, leguminosas, hortalizas, raíces y tubérculos, frutales, cultivos industriales, forrajes, especies maderables y plantas ornamentales. Las actividades en cultivo de tejidos, especialmente en micropropagación, representan el 63% del total de proyectos realizados en las instituciones encuestadas. Fue evidente un creciente interés en la ingeniería genética y la biología molecular, que representan el 8,6% del total de los proyectos, mientras que la conservación de germoplasma representó el 10,1%. De lo anterior se puede concluir que las biotecnologías más simples, como la micropropagación vegetal, se aplican en forma rutinaria en la mayoría de los países de América Latina y en menor nivel en los países del Caribe.

Un número importante de proyectos (108) fueron detectados utilizando biotecnologías tales como sondas moleculares, mapeo de genes y transformación genética, principalmente en maíz y arroz. Igualmente, el cultivo de anteras y la obtención de plantas haploides se aplican

principalmente en arroz. En este particular, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con sede en Colombia, mantiene un reconocido liderazgo. La biotecnología en raíces y tubérculos comprende 347 proyectos. De ellos, la mayor proporción se realiza en papa, yuca y camote, especialmente en conservación *in vitro* de germoplasma, diagnóstico de enfermedades virales y micropropagación. El papel del Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú y del CIAT ha sido determinante para la capacitación y transferencia tanto de tecnología como de germoplasma a los programas nacionales de la Región.

Los frutales, especialmente las especies autóctonas, subexplotadas andinas y amazónicas, constituyen un grupo potencial para la aplicación de las biotecnologías en la multiplicación de genotipos superiores aptos para producción de fruta de exportación o para producción de jugos y concentrados. Se identificaron 357 proyectos activos en especies de frutas, especialmente aplicados a aquellas producidas en regiones subtropicales y utilizando cultivos de ápices. Asimismo, la embriogénesis somática y la organogénesis en frutales tropicales están cobrando importancia, al igual que el diagnóstico de enfermedades. En particular, el empleo del cultivo de tejidos para la obtención de plantas de sanidad controlada de papa, bananos y plátanos es una rutina en la mayoría de los países de la Región. Para estos cultivos existen empresas en la Región con altos niveles de eficiencia (como por ejemplo Agrobiotecnología/Costa Rica y Tecnoplant/Argentina).

Cuadro 3. Factores limitantes para el adecuado funcionamiento de los laboratorios de biotecnología vegetal

El estudio reveló limitantes para la promoción y aplicación de la biotecnología. Entre las más importantes se encontraron: capacitación, disponibilidad de presupuesto y falta de una red de información e investigación. El Cuadro 3 muestra el nivel de importancia de estas limitantes de acuerdo con las opiniones de

los encargados de los laboratorios consultados. La combinación de los factores institucionales y humanos crean un nivel de desarrollo de los laboratorios altamente variable. Mientras que algunas instituciones y laboratorios muestran niveles sobresalientes, el 42% de los casos presentan deficiencias en capacitación en áreas básicas y necesidades en infraestructura. La potencialidad de los laboratorios para desarrollar ingeniería genética y biología molecular fue estimada a través de las líneas de investigación, productividad y el ambiente científico predominante en cada unidad. El 15% de los laboratorios se encuentran en la categoría de alta efectividad, existiendo instituciones de excelencia que desarrollan y aplican biotecnología avanzada en la mejora genética de los cultivos. Por otro lado, el 25% no cuenta con recursos ni con personal capacitado para realizar investigaciones medianamente avanzadas.

Factor Limitante	% de Lab.*
• Capacitación del personal	61,3
• Presupuesto limitado	55,5
• Falta de una Red de Información	50,8
• Falta de equipo	50,6
• Falta de literatura científica	49,4
• Personal reducido	45,6
• Mantenimiento de equipos	33,3
• Falta de proyectos	21,5
• Infraestructura inadecuada	13,7
• Equipo obsoleto	4,1

N=152

* Laboratorios (%) que consideraron el factor limitante como uno de los tres más importantes (FAO, 1990)

La proyección futura de los laboratorios de biotecnología puede concretarse a través del desarrollo y la aplicación de técnicas biotecnológicas en mejoramiento genético y/o producción vegetal. Las instituciones han respondido a esta demanda y el 34% de los laboratorios orienta su actividad en torno al cultivo de células y tejidos, mientras que el 22% continuará sus actividades en ingeniería genética, fundamentalmente en las áreas de transformación genética, mapeo de genes y caracterización genómica empleando técnicas avanzadas. Una anterior dicotomía entre el mejoramiento genético convencional y un mejoramiento asistido por biología molecular parece haberse superado existiendo consenso en la utilidad de las nuevas tecnologías para facilitar y acelerar los procesos de obtención de variabilidad útil y selección (FAO, 1993).

El estudio detectó que el 47% de los recursos humanos que trabajan en biotecnología vegetal tienen posgrado en áreas afines y se han identificado necesidades concretas de capacitación y actualización de corto plazo en ingeniería genética,

biología molecular, cultivo de protoplastos y técnicas moleculares para el diagnóstico de enfermedades. Estos resultados confirman las conclusiones sobre las necesidades de recursos humanos formuladas en 1986 (ROCA *et al.*, 1986).

De las 26 organizaciones de países centroamericanos que realizan investigación en biotecnología agrícola, aproximadamente la mitad de ellas son del sector universitario. (JAFFE, 1986).

El financiamiento de los laboratorios es un factor limitante para el desarrollo de las biotecnologías en la Región. Las principales fuentes de financiamiento son el apoyo institucional o los convenios internacionales (Cuadro 4). El autofinanciamiento (venta de servicios y plantas) fue la principal fuente de ingresos en el 19% de los laboratorios y 105 laboratorios realizan ventas comerciales, a diferentes escalas, lográndose una producción anual total de 26 millones de plantas. Comparativamente, el número de plantas propagadas es significativamente inferior a la demanda actual y potencial de la Región, por lo que se espera un incremento, tanto en la producción de plantas como en el establecimiento de nuevas empresas destinadas a este fin. Al respecto, la Región presenta importantes ventajas comparativas, tales como: bajo costo de mano de obra y condiciones climatológicas favorables para atraer inversiones en empresas biotecnológicas utilizando biotecnologías apropiables. (FAO, 1990).

En general, los esfuerzos que se realizan en biotecnología en la Región son dispersos, particularmente en las universidades y organizaciones públicas de investigación agrícola. Hay una clara falta de comunicación entre los laboratorios de una misma institución y entre instituciones dentro de los países y entre ellos. De prevalecer esta situación se continuará incurriendo

Cuadro 4. Financiamiento de los laboratorios de biotecnología vegetal encuestados

Fuente	N° de laboratorios	%
Institucional	44	28,8
Internacional	42	27,2
Gobierno	30	19,6
Venta de Servicios y Plantas	30	19,6
Donaciones	7	4,8

en repetición de errores, duplicación y gastos superfluos. Igualmente está claro que las políticas y los sistemas actuales de financiamiento a la investigación no promueven ni estimulan el trabajo interdisciplinario e interinstitucional (FAO, 1993 a). Dada la necesidad de establecer y fortalecer las políticas y estrategias nacionales de ciencia y tecnología, la elaboración de éstas es prioritario para consolidar las capacidades y recursos considerando las oportunidades que

brinda la biotecnología al desarrollo agrícola y económico en general. Los estudios y proyectos realizados en la Región permiten reflexionar sobre las tendencias de las biotecnologías, sus prioridades y limitaciones. En este contexto, la Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal (REDBIO), producto de las inquietudes identificadas por la encuesta de la FAO, deberá apoyar permanentemente la actualización de la información, a la vez de servir como un mecanismo de divulgación y promoción del trabajo interdisciplinario y regional.

2.2.2 Biotecnología animal

Durante la década de los '80 los países industrializados desarrollaron la mayoría de las tecnologías de vanguardia que actualmente se denominan en forma genérica como "biotecnología". La grave crisis económica que afectó a la Región en ese período impidió hacer las inversiones necesarias para que las instituciones de investigación y los servicios científicos del ámbito ganadero mantuvieran su ritmo de desarrollo capacitando a sus técnicos y adquiriendo el equipo e instrumental moderno que exigen estas nuevas tecnologías. A pesar de las limitaciones, el cultivo de tejidos aplicado al diagnóstico de enfermedades y a la producción de inmunógenos ha sido utilizado en América Latina y el Caribe desde principios de la década de los 60.

La mayoría de las instituciones de investigación en el campo ganadero de América Latina y el Caribe comprenden institutos, escuelas y facultades de medicina veterinaria, escuelas y facultades de zootecnia y laboratorios de diagnóstico veterinario. Estas unidades son generalmente usuarios de productos biotecnológicos modernos producidos en los países industrializados, siendo muy pocos los que realizan investigación básica con generación de conocimientos y nuevas tecnologías en este campo. Entre este último grupo, existen algunas instituciones con mayor desarrollo biotecnológico en Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, México, Uruguay y Venezuela.

Las actividades que emplean biotecnologías en los países caribeños de habla inglesa son de reciente inicio. La FAO, en colaboración con los Ministerios de Agricultura y las instituciones de investigación y desarrollo, coordinó en 1986-87 el proyecto "Desarrollo del ñame y la yuca", cuyo objetivo principal fue el fortalecimiento de los laboratorios y unidades de cultivo de tejidos para la propagación in vitro de raíces y tubérculos de importancia alimenticia para esos países. Este esfuerzo permitió el intercambio de información y colaboración entre instituciones nacionales, la Universidad de West Indies y el Instituto de Desarrollo Agrícola e Investigación del Caribe (CARDI). El proyecto referido, aunado a otras acciones, originó un avance en el cultivo de tejidos en estos países a través de micropropagación, producción y distribución de materiales libres de enfermedades. Las especies en estudio fueron identificadas por su importancia para la Región destacando yuca, ñame, boniato, yautía y taro. Los países del Caribe inglés cuentan ahora con un banco de germoplasma in vitro establecido en Trinidad y Tabago, así como unidades de micropropagación en Barbados, Dominica y Jamaica. A la fecha, 21 instituciones son miembros de REDBIO.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) a través de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) realizó, a fines de los años 80, un proyecto en América Latina y el Caribe con el objeto de incorporar estas nuevas tecnologías a instituciones científicas de la Región. La mayoría de las instituciones beneficiadas por ese proyecto fueron del sector universitario. Esto ocasionó que el proyecto tuviera poca repercusión en el sector ganadero, ya que se observa escasa vinculación entre los sistemas de investigación de las universidades y los programas gubernamentales de desarrollo ganadero. El proyecto PNUD/ONUDI benefició a un limitado número de institutos de investigación y laboratorios de diagnóstico veterinario dependientes de los Ministerios de Agricultura, que son las instituciones que más interactúan con los programas de desarrollo ganadero.

*A los efectos de este análisis, definiremos el término biotecnología animal como una de las técnicas de vanguardia que involucran principalmente la manipulación de ADN, anticuerpos monoclonales, fertilización **in vitro**, manipulación de embriones, inmunoensayos con radio-isótopos o de lisis enzimática (ELISA). La aplicación de las biotecnologías modernas a la producción animal en América Latina es más reciente en comparación con las tecnologías vegetales.*

En 1988, atendiendo a las recomendaciones emitidas en la Primera Reunión de la Comisión para el Desarrollo Ganadero de América Latina y el Caribe, la FAO inició una serie

de actividades para fortalecer a aquellas instituciones de la Región que estuvieran trabajando con biotecnología aplicada a la producción y a la sanidad animal, concertando contratos de investigación con algunas instituciones, con el objeto de que éstas se instrumentaran mejor y a mediano plazo funcionaran como capacitadoras en las tecnologías de vanguardia en la Región. De esta manera, en 1988 se creó bajo los auspicios de FAO/AGA, la Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Animal, la cual estableció contratos de investigación con algunas instituciones de avanzada de Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, México y Uruguay.

Aun cuando la biotecnología en producción animal tiene pocos años de desarrollo en América Latina y el Caribe, los esfuerzos realizados hasta la fecha denotan un importante grado de desarrollo y una clara tendencia a la comercialización en un próximo futuro. Esta situación favorecerá el desarrollo de las biotecnologías en la producción animal. Un aspecto importante a destacar es la limitada actividad con fines de conservación de germoplasma, principalmente criollo. Mientras que en el reino vegetal la conservación de la diversidad genética se ha visto favorecida significativamente por las técnicas biotecnológicas, no ha ocurrido lo mismo con el reino animal. A principios de abril de 1992, la FAO realizó en Roma una reunión de expertos a fin de afrontar esta situación.

Por lo expuesto, es importante seguir impulsando el desarrollo y la incorporación de más instituciones de América Latina y el Caribe a actividades de biotecnología moderna, en beneficio del desarrollo ganadero de la Región. Debe propiciarse que en todos los países de la Región exista personal profesional capacitado en estas nuevas técnicas que posibilite identificar aquéllas que sean aplicables a las posibilidades y necesidades de cada país así como de rechazar las que no sean adecuadas o que pudieran crear riesgos ambientales. Las actividades de las 23 unidades de biotecnología animal en operación en la Región han sido descritas en el catálogo regional de laboratorios de biotecnología animal y vegetal, CATBIO 2.0 (FAO, 1994a)

3. BIOTECNOLOGIA APROPIABLE

Para muchos, la bio-tecnología es parte de un misterioso y pobremente entendido mundo de la ciencia. Sin embargo, sus principios e impactos esperados se basan en descubrimientos que por más de un siglo se han realizado por varias generaciones de científicos que orientaron o siguieron los pasos de Mendel, y que más recientemente elucidaron la estructura del ADN.

Biotecnología "apropiable" significa justicia y equidad en el manejo de la nueva dimensión tecnológica que ella implica. Una variedad transgénica, con ventajas agronómicas importantes no es una biotécnica "apropiable" si la patente que regula su comercialización limita, por ejemplo, el derecho universal del agricultor de re-utilizar sus semillas.

Dentro de ese alucinante mundo, hay una evidente y notoria intención de desarrollo y aplicación de la biotecnología a los requerimientos del mundo desarrollado. Esto ha sido y es posible gracias a la capacidad instalada de laboratorios y recursos que los gobiernos e industrias invierten en sus propios programas de investigación y desarrollo. El gran número de patentes sobre nuevas biotecnologías se concentra precisamente en países desarrollados. Sin embargo, las necesidades, y por cierto las expectantes aplicaciones biotecnológicas, presentan sus mayores beneficios en aquellos sectores del globo donde se observan los problemas más urgentes vinculados a la salud, la agricultura, la protección y el desarrollo de los recursos genéticos y el ambiente.

Contrariamente, se aprecia una clara perspectiva en los países industrializados: el trabajo biotecnológico está orientado al motivo concreto de beneficio económico más que a cualquier otro propósito. El ejemplo de la aprobación y puesta en práctica de una patente general de amplio espectro sobre plantas, semillas y el método para obtener algodón transgénico a través de "nueva" biotecnología, en Estados Unidos, revelan claramente esta orientación. Las nuevas plantas tendrían resistencia a herbicidas y a las plagas más importantes del cultivo, reduciendo sustancialmente la aplicación de insecticidas y los costos de producción. Sin embargo, la patente, inclusive limitaría la re-utilización de la semilla por los agricultores (SHAND, 1993).

Para lograr un equilibrio socioeconómico sostenido no solamente entre los países de la Región de América Latina y el Caribe sino que también con las naciones desarrolladas, se debe intentar armonizar las necesidades del subdesarrollo con el utilitarismo de los países más ricos en relación al uso de los beneficios de la biotecnología.

El análisis del impacto de las biotecnologías en la agricultura debe comprender herramientas científicas distintas a aquellas utilizadas en evaluaciones meramente económicas, mecánicas o químicas. Si por ejemplo, un agricultor decide utilizar una variedad genéticamente resistente a una plaga o enfermedad, la cual no requiere o reduce las aplicaciones de pesticidas, ello se traduce en una disminución del costo de producción unitario a pesar de que el rendimiento pudiera ser sólo mantenido. En estas condiciones, a menos que el precio del producto caiga por una cantidad similar, la utilidad por unidad aumenta. Por lo tanto y al margen de que los productos biotecnológicos aumenten o no la productividad, los costos por unidad deberían disminuir y a menos que la reducción del costo sea sobrepasada por una declinación en el precio del producto, las utilidades por unidad aumentarán y los productores que comprendan lo que está sucediendo, estarán dispuestos a adoptar esta nueva tecnología (MARTIN, 1991).

La biotecnología privada está en pleno auge en los países desarrollados y fue iniciada como consecuencia de los resultados de la investigación que ordinariamente se lleva a cabo en las universidades e industria, en la cual tuvieron un rol importante investigadores de alto nivel con entrenamiento y equipamientos biológicos sofisticados. Esta elite de investigadores, considerada el grupo "líder" en biotecnología, orienta la idea de mantener un sistema, en el cual los recursos destinados a la investigación científica y en especial aquella orientada a la biotecnología deben apoyarse incansablemente.

Sin embargo la biotecnología es "apropiable" no solamente cuando cumple con la factibilidad económica para su adopción. Una biotecnología específica se muestra como "apropiable" cuando cumpliendo con la condición de equilibrio en el capital o inversión necesaria, es a su vez tecnológica y culturalmente aceptable, incluyendo la prolongación cultural de la acción moral y ética y la conservación de los recursos naturales. Las diferentes aplicaciones de la biotecnología agrícola moderna también requieren un análisis y un acuerdo moral para su validación y aceptación general (STRAUGHAN, 1992).

A nivel global el debate sobre las biotecnologías ha puesto en primer plano un circuito científico industrial que abarca instituciones de investigación públicas y privadas y empresas, pero deja de lado, como grandes ausentes, a los pequeños y medianos productores agrícolas. Estos, una vez más, han sido contemplados en el pasivo rol receptivo de las nuevas tecnologías elaboradas fuera de su control. Abordar el problema de la aceptación y "apropiación" social de las biotecnologías significa redefinir o renegociar un desarrollo biotecnológico "a la medida" de las exigencias y necesidades del campesino (RUIVENKAMP, 1992).

Al momento en que una biotecnología traspase los umbrales del laboratorio, llegue a los usuarios y se pueda constatar que ha sido tomada por un grupo productivo particular y definido, estamos en condiciones de hablar de una "apropiación". Una apropiación en biotecnología es cuando un grupo hace suya una determinada "bioherramienta". Este grupo puede ser una cooperativa campesina, una agrupación de agricultores o un determinado segmento del sector productivo. Aun más, si esta apropiación es incorporada a los procesos productivos agrícolas de pequeños y medianos productores, ya sea mediante traspaso de tecnologías, asesorías científicas, o extensión apropiada, las expectantes esperanzas que se cifran sobre la biotecnología pueden hacerse realidad. A este último respecto, se evidencian algunos miniprocesos biotecnológicos que pueden ser traspasados a sectores específicos como son la elaboración de inoculantes biológicos y biocontroladores de enfermedades o insectos (BRAVO y QUINTERO, 1993).

3.1 Apropiación de la biotecnología para la lucha contra la pobreza: el caso de Asia

Un buen ejemplo de intencionalidad de apropiación tecnológica para el sector biotecnológico es el programa: "Del laboratorio al campo: biotecnología agraria para pequeños productores en países de Asia", el cual se orienta a traspasar biotecnologías "maduras" desde instituciones de investigación a agricultores donde estas tecnologías podrían comercializarse en pequeña escala. El proyecto apunta hacia un grupo de biotecnologías agrícolas "enfocadas contra la pobreza". De acuerdo al programa, algunas biotecnologías deberían estar disponibles y sus gastos absorbidos por agricultores pobres localizados en diferentes países a través de Asia. Estas biotecnologías incluyen: cultivo de tejidos para la micropropagación de variedades saneadas de cultivos de raíces y tubérculos, frutales y ornamentales; inoculantes para suelo y plantas tales como rizobios, micorrizas y algas verdes-azuladas; y pesticidas biológicos y producción de hongos comestibles; y las actividades tienden al desarrollo económico incrementando la productividad agrícola, disminuyendo la importación de petróleo y mejorando el saldo de sus débitos externos en los respectivos países. Si se alcanza el resultado esperado, el impacto del programa en Asia estará más allá de las expectativas, traerá numerosos beneficios a los pequeños productores aliviando su estado de pobreza. Ocho países están involucrados en este programa: Bangladesh, India, Indonesia, Nepal, Filipinas, Sri Lanka, Tailandia y Vietnam (KNUDSEN, 1991). Una Red Asiática para Biotecnologías de Pequeña Escala (ANSAB) está en marcha como organismo apolítico, sin fines de lucro, autónomo y científicamente independiente (FERCHAK y RIBEIRO, 1992).

3.2 Biotecnología "apropiable" a través del mejoramiento genético

¿De qué hablamos cuando nos referimos a mejoramiento genético orientado a la agricultura sostenible? Fundamentalmente, de un proceso de ajuste de una determinada variedad en un ambiente particular. Ello se diferencia de la alteración del ambiente a través de fertilizantes, agua, pesticidas u otros insumos de origen químico promovidos por la Revolución Verde.

El mejoramiento genético debe ser reorientado para incorporar características que son conferidas por muchos genes -base universal de la herencia-, lo que aumenta la complejidad, la dificultad y los costos de ese mejoramiento. Muchas de las características importantes en la agricultura sostenible son de esa naturaleza y hoy son necesarias nuevas técnicas para aumentar la eficiencia del proceso, acortando los plazos y reduciendo los costos de la producción de semillas.

Históricamente se han priorizado los aspectos estéticos, la resistencia a plagas y enfermedades a partir de una base genética estrecha y la alta productividad a través de máximo rendimiento como respuesta a una creciente utilización de insumos externos. En general, el mejoramiento genético ha sido orientado a la "eliminación de defectos". No se ha considerado proveer al agricultor, especialmente al pequeño agricultor, con variedades "rústicas" con una base genética amplia, que permita más que productividad, estabilidad de los rendimientos y, por ende, la sostenibilidad del sistema agrícola (FRANCIS, 1991).

La biotecnología avanzada ha empezado a impactar en el mejoramiento genético a través de nuevas estrategias. La identificación de genes o grupos de genes importantes, que puedan conferir tolerancia a enfermedades, productividad estable y mayor adaptación a condiciones de estrés, sólo podrá ser capitalizada a través de la integración de la biotecnología, la selección genética y el mejoramiento integrado. Estas herramientas deben ser desarrolladas en los países de América Latina considerando que los esfuerzos del mundo industrializado serán volcados a los cultivos principales. Los cultivos "pobres", algunos como las hortalizas y frutales autóctonos, sin asistencia técnica de los centros internacionales, deberán ser considerados casi exclusivamente en los programas de instituciones nacionales. En tal sentido, la FAO está promoviendo dentro de la Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal (REDBIO) actividades para facilitar la complementación de los grupos de mejoramiento genético y de biología molecular. El objetivo fundamental de estas actividades es apoyar el lanzamiento de variedades de amplia adaptación o tolerancia a los grandes problemas agrícolas de la Región: plagas, sequía, suelos ácidos, frío, etc. (IZQUIERDO, 1990).

La biotecnología avanzada constituye una herramienta útil para acelerar el desarrollo de germoplasma adaptado a las características de la agricultura sostenible. Ello implica nuevos métodos de selección, diseños estadísticos y los avances biotecnológicos. La aplicación de estas técnicas, dentro de los programas

de mejoramiento genético, debería ser una prioridad y un objetivo en sí mismo, ya que la agricultura sostenible requiere germoplasma adaptado a condiciones de baja utilización de insumos externos, tomando en cuenta aspectos sociales y ambientales. Los mejoradores convencionales deben responder a la nueva demanda y los pequeños agricultores no pueden ser forzados a adoptar un determinado tipo de variedad. El mejoramiento genético juega un rol decisivo en la instrumentación de programas de agricultura sostenible debiendo priorizarse la participación de los programas nacionales locales, públicos y privados de fitomejoramiento de los países de América Latina y el Caribe, sede de una importante riqueza de recursos genéticos.

El mejoramiento genético es una disciplina integrada, definida por el producto, la variedad o el cultivar obtenido. Sin la obtención de este producto, el mejoramiento genético es una disciplina no existente o que sería definida en forma diferente. Tan pronto como una variedad o un cultivar es producido, el mejoramiento genético otorga el marco de su producción. Esta es la relación fundamental entre mejoramiento genético y producción agrícola, apremiado entre otras cosas, por cambios genéticos en las poblaciones de insectos plagas que vuelven obsoletas a las variantes resistentes.

El número total de especies de insectos plagas en las cuales se han observado resistencias a plaguicidas ya supera los 500, de los cuales el 58% son de amplia importancia agrícola. (GEORGHIOU Y LAGUNES - TEJADA, 1991). Lo anterior es indicador de la irracionalidad practicada con el control químico, unido al lento relevo varietal que ha causado la inoportuna disponibilidad de tecnologías alternativas predominante en los cultivos agrícolas de los pequeños y medianos agricultores. Desarrollar resistencia amplia a distintas enfermedades o factores adversos amerita desarrollar una investigación asistida por biotecnología, orientada hacia una agricultura sostenible y extendida a una amplia gama de cultivos considerando diversos ecosistemas (IZQUIERDO, 1993).

Desarrollar variedades con amplia resistencia a través del mejoramiento genético asistido por biotecnología, es un objetivo a largo plazo. Ello implica un concepto nuevo, que incluye cultivos menos uniformes, cultivos compuestos por plantas cuyas alturas, fecha de maduración, arquitectura de planta, hábito reproductivo, características, colores de sus hojas, consistencia de sus cutículas y otras características que sean ampliamente diferentes y mezcladas integral y racionalmente (FRANCIS, 1991). Dentro de este contexto, resistencia "horizontal" o amplia comprende asimismo al concepto de cultivos

compuestos por mosaicos de plantas o multilíneas. Estos mosaicos deberán ser considerablemente estudiados desde el punto de vista de su manejo, tecnología de cosecha y poscosecha. La tecnología actual de manejo agronómico de cultivos mayores, podría ser considerablemente replanteada para comprender mosaicos de variedades en manos de agricultores en pequeñas parcelas donde la cosecha sea manual y guiada por un conocimiento muy amplio de éstos (IZQUIERDO, 1993). Esta idea no es nueva y con anterioridad diversos investigadores han desarrollado multilíneas y mezclas en cebada y trigo (WATSON, 1979).

Algunos piensan que esta alternativa es un retroceso en la agricultura, sin embargo, la seguridad alimentaria, la agricultura sostenible y el desarrollo de los recursos genéticos deben buscar nuevas estrategias que involucren también nuevas formas de pensamiento.

Existe una esperanza de que la ingeniería genética y la biotecnología puedan ser usadas cuidadosamente para aumentar las defensas de los cultivos en una forma "horizontal" y no sólo para aumentar la velocidad y la precisión genética de los mejoradores, como respuesta a un problema concreto. Es necesario un enfoque horizontal del pensamiento en los propios mejoradores. Más que mirar por fuentes de resistencia, como tradicionalmente se ha hecho en la mayoría de los programas de mejoramiento, deberíamos enfatizar medidas pro activas para defendernos a través del mejoramiento y del manejo de la biodiversidad. Diversidad puede ser la solución agronómica a los problemas de plagas y enfermedades de los próximos 25 años. La resistencia no es solamente una preciosa propiedad genética que debe ser salvada en bancos de germoplasma o en áreas protegidas. Diversidad implica también entender las relaciones entre patógenos y plantas, dado que solamente de esa forma podemos apoyar un desarrollo sostenible de la agricultura (IZQUIERDO, 1993).

La Revolución Verde facilitó el desarrollo de monocultivos. El enfoque de monocultivo no asegura una mayor tolerancia a la evolución de nuevas razas de patógenos e, inclusive, la inserción de genes que pueden conferir nuevas formas de tolerancia vertical, podrían no sobrevivir, y de hecho eso está ocurriendo, al desarrollo de resistencia de las razas de patógenos. El mejoramiento genético asistido por biotecnología debe dar un paso adelante en la mayoría de los programas de mejoramiento de nuestros países para adecuarse a una agricultura más sostenible, comprometiendo recursos en obtener los anteriores resultados.

3.3 Un producto biotecnológico "fácil y simple"

A pesar de las voluntades políticas y nuevos acuerdos económicos, las numerosas desigualdades socioeconómicas e históricas que observamos en cada uno y entre sí en los países de América Latina y el Caribe afectan las posibilidades de integración. La biotecnología puede convertirse en una herramienta útil para suavizar estas inequidades y promover la integración regional a través de una agricultura sostenible, comprendiendo la conservación y el uso de los recursos de la biodiversidad. En la Región deben hacerse esfuerzos sustanciales para promover voluntades políticas que asignen recursos a programas biotecnológicos nacionales, integrados racionalmente sin imponer o significar mayores dificultades para la adquisición de la tecnología, el aprovechamiento de la infraestructura disponible, la capacitación de personal y el financiamiento equilibrado de los proyectos de investigación.

¿Qué requisitos deben cumplirse en los países menos desarrollados para poseer la necesaria capacidad de utilizar las nuevas tecnologías para la resolución de los problemas propios de cada país o región? La respuesta a esta pregunta debe considerar conceptualmente tres categorías definidas: educación, infraestructura y apoyo institucional.

De los tres factores, la infraestructura aparece como la más compleja de disponer y adquirir, puesto que implica el desarrollo de tecnologías *ad hoc* y de equipos y aparatos a menudo sofisticados y caros (por ejemplo liofilizadores, ultracentrífugas, cromatógrafos, espectrofotómetros, secuenciadores, campanas de flujo laminar, etc.). El equipamiento requiere de instalaciones y laboratorios con espacios necesarios para contener equipos utilizados en incubación a temperaturas altas o enfriar bajo cero (cámaras térmicas, aire acondicionado, equipo de frío, etc.). En otros casos se requieren invernaderos para realizar pruebas con microorganismos o plantas bajo condiciones controladas y semicontroladas de bioseguridad.

Una forma interesante de apoyar la adquisición de equipamiento mayor para la investigación es el denominado PLANDECYT (Plan Nacional de Equipamiento Científico y Tecnológico) llevado a cabo por el Gobierno de Chile con apoyo del PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). Este plan consistió en otorgar financiamiento para la adquisición de equipos para la investigación científica y tecnológica y cuyo costo por aparato o equipo superara los US\$ 20.000. Todos los equipos se compraron con el compromiso de integrar la "propiedad de la comunidad científica" para prestar servicios a quien los solicite.

El segundo factor -apoyo institucional- es reflejo de la inconstante y común falta de recursos para investigar. Los países de América Latina y el Caribe carecen, salvo excepciones,

de programas de largo plazo en investigación y desarrollo en agro-biotecnología. A este respecto se requiere con urgencia incrementar los recursos económicos, desarrollar políticas y realizar actividades descentralizadas, especialmente en el corazón de comunidades que requieran del apoyo y donde la biotecnología contenga evidentes proyecciones concretas con un mínimo impacto social y ambiental negativo.

El tercer aspecto -el educativo- es real, factible y exige el desarrollo de programas a corto plazo de formación de recursos humanos y de transferencia de biotecnología a destinatarios finales. En varios países de la Región se han iniciado diversos planes para una formación biotecnológica y algunos de ellos con grado de Maestría. Alternativamente, es conveniente que cada país apoye *per se* e íntegramente la iniciativa de la capacitación, ya que la biotecnología requiere de una fuerte base científica moderna, tanto teórica como práctica.

Por lo tanto, para la consecución de programas que impliquen un producto biotecnológico fácil y simple se requiere, de todas maneras, una capacidad instalada, la cual asegure una infraestructura mínima, garantice estabilidad de personal adecuado y apoyo financiero estable en el tiempo.

3.4 Cooperación multilateral y biotecnología: redes horizontales

¿Es recomendable trabajar en programas biotecnológicos sin estar integrados regionalmente? Del hecho evidente de que no hay laboratorios de biotecnología autosuficientes, la naturaleza multidisciplinaria de los problemas biológicos hace prácticamente imposible concentrar toda una serie de actividades en un sólo lugar. La lógica y la eficiencia nos señalan que se debe tender a una armonización de recursos distribuyéndolos inteligentemente en los diferentes programas y laboratorios que existan en cada país.

Dentro de la Región, la cooperación horizontal en biotecnología es imposterizable, sirviendo para muchas iniciativas tales como: formación de recursos humanos, intercambio de experiencias, conocimientos y germoplasma o recursos biológicos, y desarrollo de programas específicos para mencionar algunas acciones puntuales (SCHEJTMAN, 1988).

En este contexto se aprecian algunos esfuerzos que ya son visibles, principalmente por instituciones como la FAO, que organizó y mantiene vigente una Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal, REDBIO (FAO, 1993a). La Red se

orienta a mantener un foro permanente de discusión, desarrollo y superación científica; promover el intercambio de material biológico e información y el acceso a nuevas biotecnologías; y proporcionar oportunidades para la formación, calificación y entrenamiento de recursos humanos y la complementación entre grupos de investigación de países desarrollados y laboratorios miembros de ella.

La Red cuenta con un directorio de recursos humanos, un inventario de laboratorios de biotecnología vegetal (CATBIO 2.0), un análisis de interacciones y tendencias en términos de prioridades, especies y tecnologías que permitan la definición de niveles de excelencia y servicio de referencia. La clasificación de laboratorios de biotecnología tiene el propósito de establecer puntos focales en proyectos y programas de colaboración. Asimismo, se están desarrollando mecanismos de información que comprenderán la recopilación y publicación de protocolos de biotecnología vegetal; y la interconexión y el acceso a bancos de datos y reuniones de discusión para temas prioritarios en biotecnología vegetal aplicada.

Esta Red es periódicamente actualizada mediante los contactos directos entre los investigadores y sus Coordinadores Subregionales Nacionales y también gracias a las "Cartas Circulares" y otras publicaciones y documentos que se distribuyen a través de América Latina y el Caribe.

El Simposio Mundial sobre Biotecnología Vegetal para países en Desarrollo realizado en Luxemburgo en junio de 1989 con el coauspicio de la FAO y del Centro Técnico para la Cooperación Agrícola y Rural, recomendó que la biotecnología fuera aplicada a países en desarrollo con miras a mejorar los cultivos alimenticios. Se señaló que las herramientas biotecnológicas deberán formar parte de un enfoque multidisciplinario aplicado al mejoramiento genético de las plantas útiles. Se destacó en forma enfática la importancia de identificar y solucionar los problemas prioritarios para los cuales la biotecnología vegetal avanzada es apropiada y aplicable en los países en desarrollo (CTA/FAO, 1989).

La RED DE COOPERACION TECNICA EN BIOTECNOLOGIA VEGETAL (REDBIO) fue establecida y está en operación, bajo el auspicio de la FAO, desde 1991. El objetivo central de la Red es desarrollar un mecanismo de concertación y promoción del conocimiento para la aplicación de la biotecnología vegetal a la solución de problemas productivos que afectan a la agricultura de América Latina y el Caribe. Sus objetivos específicos comprenden:

- Promover la formulación de políticas nacionales

- Favorecer el intercambio de conocimientos, tecnologías y materiales biológicos

- Auspiciar actividades regionales de entrenamiento

- Desarrollar proyectos cooperativos entre laboratorios de la Región y centros de excelencia a nivel mundial

- Promover la preparación de un código de conducta en biotecnología vegetal

El establecimiento de la Red fue generado en base a los resultados de una encuesta realizada por la FAO en 1989-90 a 176 laboratorios de biotecnología vegetal en 19 países que evidenciaron la necesidad de coordinar acciones. Actualmente REDBIO cuenta con la adhesión de 370 laboratorios en 27 países. Los cuerpos de coordinación de la Red están compuestos por Coordinadores Subregionales y Nacionales; un Consejo Consultor Técnico y la Secretaría Técnica proporcionada por FAO. Existen filiales organizadas de REDBIO en ocho países de la Región.

También la Organización de Estados Americanos, OEA, tiene una serie de acciones en todos los países de su jurisdicción, iniciándose recientemente proyectos locales de biotecnología y alimentos.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA, ha cooperado sobre este aspecto realizando una serie de actividades en apoyo a normas de bioseguridad y formulación de políticas nacionales de biotecnología (IICA, 1988 a y b) y recientemente con el establecimiento de un subprograma de biotecnología vegetal como parte de las actividades de PROCISUR/IICA.

Algunas instituciones nacionales como la Fundación Andes (Chile) y la Fundación BIORIO (Brasil), cumplen acciones en este mismo sentido. BIORIO organizó en 1989 y 1990, con apoyo del PNUD, reuniones sobre: "La biotecnología industrial en América Latina y el Caribe" y "Mecanismos de Promoción de la Inversión y Cooperación Científico Empresarial en Biotecnología en América Latina y el Caribe", siendo uno de los resultados de este encuentro la creación de la Federación Latino Americana de Biotecnología. Estas actividades incluyen también a los países más avanzados del área en aspectos biotecnológicos y hay una cierta orientación a los procesos bioindustriales (UNDP-BIORIO, 1990).

Dentro del contexto anterior, la XXII Conferencia Regional de la FAO realizada en Uruguay en 1992, analizó la situación actual y perspectivas para la aplicación de las biotecnologías modernas en América Latina y el Caribe y recomendó a los países que explotaran las ventajas evidentes de que disponía la Región en biodiversidad y otros recursos naturales, reiterando la necesidad de adecuar e integrar regionalmente actividades en los temas de biotecnología con la participación de representantes de los gobiernos, organizaciones internacionales de cooperación técnica y financiera, organismos de cooperación bilateral y programas nacionales, para coordinar las actividades en curso, evitar duplicaciones y definir las estrategias de desarrollo (FAO, 1992).

3.5 Optimización de los recursos

Las complejidades intrínsecas de la biotecnología hacen que la obtención de los recursos necesarios para transferir una biotecnología "apropiable" a determinados sectores productivos requiera enfrentar este nuevo desarrollo científico como un desafío inicial de relevancia nacional y regional solamente alcanzable a través de una optimización en el uso de los recursos y la infraestructura existentes. Este esfuerzo debe ser acompañado de programas nacionales y regionales ágiles, inteligentes, realistas e integrados.

Desarrollar y apoyar laboratorios especializados de biotecnología, implica planificar e integrar la investigación para evitar repetir actividades o duplicar investigación. Sin embargo, este desarrollo hasta ahora ha sido muy diferente: hay clara evidencia de que algunos de los programas y actividades que actualmente se realizan en biotecnología se han desarrollado en torno a la actividad y esfuerzos individuales de líderes técnicos. Un intento en curso promovido por el Programa de Biotecnología de la FAO se orienta a compilar a nivel regional las tesis publicadas en biotecnología vegetal y podría acelerar el proceso de integración minimizando errores anteriores.

Para lograr una optimización de recursos se debe contar con una capacidad intelectual instalada, comprometida a resolver una problemática definida por su entorno y orientada a que determinados sectores tengan la posibilidad de "apropiar" sus avances. Sin una racionalidad en la distribución de los recursos, armonización de actividades y un decidido apoyo a la calidad científico académica, se corre el riesgo de estancar el ímpetu todavía observado en la Región en torno a la biotecnología y que se debe traducir en apropiación productiva socialmente dirigida. Tomar decisiones dentro de este contexto, un rol esencial del Estado, es de primera importancia ya que podría darse el exceso de generalizar la tendencia de que "todos quieran hacer todo" en biotecnología, lo que conduciría a una concentración duplicativa y anárquica y mala administración de los recursos, con nefastas consecuencias de apoyar mas a la mediocridad que a la excelencia.

Es estratégico contar en cada país con un "Programa o Red Nacional de Biotecnología", donde se vinculen laboratorios gubernamentales, de universidades y privados, comprendiendo a los sectores agroindustriales y silvopecuarios. Redes de cooperación (REDBIO) a nivel nacional se han constituido en Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Ecuador, México, Uruguay y están en curso en Costa Rica, Cuba y Venezuela con participación de los Comités Nacionales de Biotecnología. Estas estructuras organizativas actúan como foros para la promoción y fijación de las grandes políticas en materia de biotecnología, apoyando el desarrollo de programas, identificando problemáticas abordables con estas nuevas herramientas y estimulando al sector empresarial a "intervenir" y "colaborar" con la obtención de recursos y entrenamientos en áreas de la biotecnología avanzada. Sin embargo, para que estos programas sean armónicos, estables y esencialmente ajenos a los vaivenes de la política contingente, se necesita mantener un prestigio basado en la calidad académica y científica, agilidad en la transferencia de tecnología y neutralidad en la representación de los intereses de todos los sectores involucrados del país.

El desarrollo económico de la Región de América Latina y el Caribe puede potenciarse al existir una integración regional de redes de biotecnología. La ancestral costumbre latina de libre acceso a los proyectos e individualismo en la investigación es una manifestación clásica de nuestra conducta y desarrollo científico, siendo la expresión más común entre los investigadores la de contar con un laboratorio lo más completo posible para "las (mis) necesidades".

En materias de biotecnología, se requiere de una conducta "inteligente", siendo lo esencial saber compartir equipos y recursos de investigación. "Hacer biotecnología" requiere de un equipo integrado armónicamente donde se vinculen estrechamente el trabajo y la

dedicación de bioquímicos, biólogos moleculares, fisiólogos vegetales, fitopatólogos y mejoradores genéticos, como en el caso de la biotecnología vegetal. En materia de biotecnología no deberían asignarse recursos donde no se observara una labor de equipo, calidad curricular y un enfoque orientado a los grandes problemas productivos. La biotecnología apropiable debería surgir como producto natural de los grupos así integrados.

3.6 Prioridades en investigaciones biotecnológicas para América Latina y el Caribe

Los países de América Latina y el Caribe, al igual que otros países en desarrollo, tienden a adecuar el uso y las aplicaciones de los métodos biotecnológicos a sus prioridades de desarrollo en la agricultura. Esto conlleva a identificar el o los cultivos y los objetivos prioritarios del programa, antes de definir las técnicas de mejoramiento.

Es difícil definir una lista de líneas de acción común para todos los países de América Latina y el Caribe considerando la diversidad de ecosistemas y especies vegetales, la incidencia de factores bióticos y abióticos limitantes en la producción, y las diferencias en las prioridades agrícolas y el desarrollo de las biotecnologías en dichos países.

La formación de recursos humanos debe considerarse como un desarrollo no sólo de una institución determinada sino también como un servicio integrado hacia otras regiones y países. El saber delegar responsabilidades científicas y traspasar conocimientos y actividades a investigadores jóvenes es un deber y una necesidad a la luz de las acciones y los marcos de integración continental que se están concretando en este decenio. A menudo se observa que en las numerosas Universidades de América Latina y el Caribe, donde en la actualidad se realiza mucha investigación y desarrollo en biotecnología, la actividad científico-académica en este campo es acaparada por los más antiguos pero no por los más capaces.

El análisis de la lista de cultivos a los cuales se aplica, o en los que existe potencial para los métodos biotecnológicos, nos indica que la gama de especies es extremadamente amplia (cereales, legumbres, hortalizas, raíces y tubérculos, frutales, cultivos industriales, forrajes, especies forestales y plantas ornamentales). Sin embargo, el grado de conocimiento y las ventajas comparativas (recursos fitogenéticos y tecnológicos) hacen que algunos cultivos sean más favorecidos que otros. Estas técnicas son aplicadas en un 29% del total de proyectos en biotecnología vegetal en curso en la Región, para especies de árboles frutales y en un 28% para raíces y tubérculos. Le siguen en importancia los cultivos industriales (10,2%), hortalizas (8,9%), cereales (8,8%) y forestales (7,7%), con lo que podríamos concluir que hay prioridad para los cultivos básicos en la alimentación y entre ellos, frutales, raíces y tubérculos son los de mayor demanda (IZQUIERDO, 1990; FAO,

1993b). Independientemente del cultivo en que se apliquen las técnicas biotecnológicas, se observa que el cultivo de tejidos vegetales (micropropagación) es la más generalizada (63,4%), seguida por conservación de germoplasma (11,4%), diagnóstico fitopatológico (10,1%) e ingeniería genética (8,6%).

Estas evidencias coinciden con la opinión de algunos expertos, quienes recomiendan incorporar las técnicas de cultivo de tejidos, micropropagación y transformación genética como actividades en los programas de mejoramiento de cultivo en los países en desarrollo (CTA/FAO, 1989). El cambio tecnológico es dinámico, recursivo y endógeno al sistema económico. Estudios empíricos, sin embargo, tratan usualmente a la tecnología como exógena, definiendo al cambio técnico en términos de sus resultados finales y a través de un nuevo conjunto de posibilidades de producción. Una visión endógena del cambio técnico es necesaria para entender, anticipar y quizás alterar el desarrollo y uso de nuevas tecnologías. Un marco conceptual de análisis debe considerar las interacciones recursivas entre la investigación y actividades de desarrollo, la adopción y difusión de las innovaciones y su regulación (KNUDSON y LARSON, 1989). Dada la riqueza de recursos genéticos de la Región, el mejoramiento genético endógeno de los cultivos "más pobres" asistido por biotecnología podría aportar nuevos cultivares más rústicos dentro de complejos genéticos o mosaicos genotípicos con mayor resistencia "horizontal" a estreses abióticos y bióticos para la agricultura campesina dentro de un enfoque de cambio tecnológico asociado a las reales necesidades del sector (IZQUIERDO, 1993).

3.7 Código de Conducta de la FAO en Biotecnología Vegetal y Recursos Fitogenéticos

La propuesta del Código, en preparación por la FAO, contempla la promoción de la conservación y la utilización sostenible de los recursos fitogenéticos e implica el aprovechamiento máximo de los efectos positivos y la reducción al mínimo de los posibles efectos negativos de la biotecnología. En este sentido, se ha reconocido anteriormente las nuevas posibilidades de las biotecnologías como mecanismos para aumentar la producción de alimentos con destino a una creciente población y para promover una agricultura sostenible. Sin embargo, dado que la investigación sobre nuevas biotecnologías se concentra en los cultivos principales, los países en desarrollo no obtendrán necesariamente un beneficio pleno de ellas. Asimismo, es altamente probable que las tecnologías estén disponibles sólo o en primer lugar en los países desarrollados, por lo que se ha considerado que la agricultura de los países en desarrollo podría verse perjudicada a causa de una reducción de la competitividad, por lo menos a corto plazo (FAO, 1993c).

El Código Internacional de Conducta sobre Biotecnología Vegetal en sus efectos sobre la Conservación y Utilización de Recursos Fitogenéticos, es una propuesta de adhesión voluntaria de los gobiernos que, reafirman, entre otros que las nuevas biotecnologías tienen un gran potencial para aumentar la producción de plantas económicamente útiles, especialmente las de cultivos alimenticios y para promover el desarrollo agrícola ambientalmente sostenible. El código reconoce la necesidad de desarrollar y transferir biotecnologías apropiables; evaluar sus impactos negativos y positivos; evaluar riesgos, y promover un reconocimiento justo de derechos de los detentores, mejoradores y poblaciones indígenas sobre los recursos fitogenéticos que pueden ser afectados y modificados o transformados a través de la nueva tecnología. El Código, bajo la iniciativa de la Comisión de Recursos Fitogenéticos, FAO, está en fase de revisión (FAO, 1994).

De acuerdo al Código, las posibles ventajas de la biotecnología deberían ponerse a disposición de los países en desarrollo, en particular prestando atención a:

- los cultivos de gran importancia social y económica, pero no necesariamente con importancia para el mercado internacional;
- las necesidades de los sistemas agrícolas, incluso los sistemas con escasos insumos externos;
- la capacitación de científicos y técnicos.

Considerando el elevado número de repercusiones jurídicas, éticas y políticas de las nuevas biotecnologías, existe preocupación acerca de sus posibles consecuencias negativas y se ha reconocido que los derechos de propiedad intelectual no deben convertirse en un obstáculo para el intercambio de germoplasma, información y tecnología con fines científicos.

Las regulaciones de la propiedad intelectual (patentes) influyen los desarrollos económicos y la competencia internacional en la industria biotecnológica de los países desarrollados. Ellas han sido y siguen siendo usadas en algunos países como formas de barreras no arancelarias donde regulaciones, normas legislativas, judiciales o administrativas tratan de disuadir a los no residentes de iniciar actividades. (COOK, 1989). Las patentes en biotecnología son aun más complicadas que en otras áreas, dado que existen diferentes definiciones del material patentable y que hay una falta generalizada de estándares globales. La tendencia actual muestra una diversidad de políticas nacionales de patentamiento. Frente a esto, los países subdesarrollados enfrentan una situación donde los intereses de los gobiernos, las empresas y las comunidades deben ser armonizados.

La utilización segura de la biotecnología moderna requiere la introducción de reglamentaciones adecuadas y en el Código se plantean disposiciones para garantizar la utilización responsable de las nuevas biotecnologías; el establecimiento de normas básicas para las pruebas, la importación y exportación y la utilización comercial de organismos modificados genéticamente (OMG); y la garantía de que la liberación de OMG se base en una evaluación científica apropiada y amplia, que ha de comprender un análisis de los peligros ecológicos y de otra índole. Propiamente formuladas y administradas, tales regulaciones pueden actuar como catalizadores para la transferencia de la nueva biotecnología y no como una barrera. Las regulaciones deben ser basadas en un profundo conocimiento científico y enfocadas a generar una mayor protección del público y la aceptación popular de la biotecnología. (MEDLEY, 1992). La preparación de guías internacionales para la liberación de OMG está siendo conducida por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), luego de un exhaustivo análisis de otras directrices y recomendaciones en distintos foros regionales (VAN DER MEER, 1995, COMUNICACION PERSONAL). En virtud de lo anterior, el Código de Conducta de FAO no comprendería aspectos ligados a bioseguridad.

4. EL PEQUEÑO Y EL MEDIANO PRODUCTOR AGRICOLA

En América Latina y el Caribe poscolonial, la agricultura campesina ha tenido un complejo desarrollo y comprende el segmento de la agricultura fundada en el trabajo familiar. Bajo este concepto, la familia es el núcleo esencial tanto en aspectos de consumo como en aquellos vinculados a la tecnología de producción.

La estrategia familiar ha sido mantener o reproducir esta unidad en el tiempo, permaneciendo en general marginada de los avances tecnológicos. Es y ha sido esencial para este grupo, mantener los niveles de explotación para satisfacer las necesidades familiares y al mismo tiempo, obtener medios materiales para responder a las exigencias de tipo socioeconómico.

La dimensión demográfica de la población directamente ligada a la agricultura campesina, integrada por los campesinos y su familia, era a mediados de los años 70 de 60 a 65 millones de personas, correspondiendo a un quinto de la población de América Latina (CEPAL-FAO, 1986). Esta población, significa un total aproximado de 13,5 millones de unidades productivas.

Censos recientes muestran una tendencia al incremento de las unidades de tipo familiar, las cuales podrían estimarse en 1984 en alrededor de 16 millones con una población comprometida de 75 millones, representando dos tercios de la población rural total latinoamericana. Esta agricultura familiar, a principios de la década de los ochenta se localiza en tierras cultivables, tierras con cultivos permanentes, praderas y pastos, bosques y terrenos no utilizables agrícolamente. Esta amplia superficie corresponde aproximadamente un total de 159 millones de hectáreas, significando un quinto del total de las tierras incorporadas a la agricultura regional.

Dentro de este contexto el pequeño y el mediano productor agrícola juegan un importante rol con un profundo significado socioeconómico. Las condiciones de marginalidad en algunos casos y de requerimiento de nuevas tecnologías en otros, hacen que este grupo adquiera una alta prioridad que justifican cualquier intento de profundizar su conocimiento, de aumentar su productividad, de estimular su eficiencia y buscar soluciones a sus problemas, a través, entre otras, de nuevas o apropiadas biotecnologías.

En términos del desarrollo y la apropiación tecnológica de América Latina, existen corrientes principales que no son necesariamente antagónicas: 1) una menos difundida, agroecológica, que promueve una agricultura natural y que toma en cuenta el conocimiento empírico generacionalmente adquirido por el pequeño agricultor y donde la experimentación está

comenzando a diseñar un enfoque holístico pero muchas veces no todavía confirmado científica-mente; 2) la tecnicista, que favorece la tecnificación global del agro, el uso amplio de insumos y monocultivos de exportación, donde el agricultor es el productor empresario que se dedica a dicha actividad y donde las políticas agrarias e investigaciones de alta tecnificación están destinadas a este tipo de productor (RADULOVICH, 1991). La línea tecnicista resulta en altos rendimientos, al menos a corto plazo, pero no toma en cuenta muchas veces los criterios básicos para una agricultura sostenible, ambientalmente segura, socialmente aceptable y económicamente viable.

Para el establecimiento de una agricultura sostenible pareciera recomendable considerar elementos de la tendencia agroecológica y la aplicación del concepto de equilibrio entre el agricultor y el ambiente alcanzables mediante el control de la contaminación, la degradación ambiental, el uso adecuado de los agroquímicos y uso racional del suelo; en líneas generales en un aprovechamiento razonado y eficiente de los flujos de energía y materia de un ecosistema. Sin embargo, esta tendencia no debe dar la espalda al mercado sino incorporar el conocimiento biotecnológico avanzado a estas necesidades.

En América Latina y el Caribe, la agricultura tradicional comprende: a) al agricultor tecnificado y que hace una buena inversión; y, b) al agricultor alimentario, especializado en alimentos básicos y fuentes de almidón con baja utilización de insumos y baja productividad. Se considera difícil que el desarrollo agrícola de un país pueda basarse solamente en la explotación de los pequeños y medianos productores agrícolas, ya que ese desarrollo debe provenir de un agricultor tecnificado, quien además de la agricultura tradicional incorpore conocimientos de cultura agrícola moderna y sostenible, y esté en condiciones de establecer cambios en sus técnicas a medida que se le demande (RADULOVICH, 1991).

Forjar un pequeño o mediano agricultor tecnificado, con cierto grado de educación y entrenamiento, y al mismo tiempo crear un sistema de extensión, crédito e investigación para ayudar a ese tipo de agricultor, constituye una empresa social de altos costos que la mayoría de los gobiernos consideran necesario. La biotecnología ofrece una serie de técnicas modernas cuya aplicación en la solidificación de políticas agrícolas representa oportunidades interesantes para minimizar problemas o nuevas alternativas a la producción agrícola del pequeño y mediano agricultor latinoamericano y del Caribe.

La aplicación de técnicas biotecnológicas apropiadas en un programa agrícola integrado, puede contribuir al aumento de la productividad e intensidad de determinados cultivos, mejorar la disponibilidad de nutrientes y facilitar el control de malezas, plagas y enfermedades. Por otra parte, al reducir los impactos de estrés biótico y abiótico se permitiría una producción agrícola estable.

La obtención de plantas de cultivo con mayor adaptación a suelos no aptos para la agricultura (suelos de zonas áridas, suelos ácidos, salinos o pobres en nutrientes) permitiría extender la frontera agrícola y promover el desarrollo de una agricultura sostenible. La biotecnología presenta alternativas y métodos para el uso de fuentes de energía alternas a las no renovables, lo que permite aumentar considerablemente la productividad en relación a los niveles de insumos utilizados. Estas mismas tecnologías permiten conservar y explotar sosteniblemente la diversidad vegetal, mejorando por ende los productos naturales que se obtienen de los nuevos cultivos.

4.1 La factibilidad de incrementar la productividad campesina

En la actualidad hay instituciones en América Latina y el Caribe que decididamente apoyan el desarrollo de actividades biotecnológicas. En especial, se denotan aquellas vinculadas con programas relacionados a la agricultura y producción de alimentos que realizan intentos concretos por introducir y desarrollar biotécnicas con perspectivas de lograr resultados prácticos a corto plazo. Hay áreas que posibilitan la aplicación de la biotecnología a corto plazo y que redundarían en un claro incremento de la producción, mayor eficiencia en el trabajo y menores esfuerzos del pequeño y mediano productor.

Es posible construir proyectos destinados a incrementar la productividad campesina en países en vías de desarrollo basándose en la identificación de "necesidades e intereses" del pequeño productor. Las biotecnologías que se utilicen no deben ser tecnologías "bajas" sino "apropiables".

La factibilidad de incrementar la productividad campesina se concentra en dos grandes áreas muy generales:

- a) el mejoramiento de las características genéticas de las plantas, y
- b) la manipulación de diversos microorganismos para uso agrícola.

Estas dos áreas, incluyen las mayores y más importantes actividades de América Latina y el Caribe: la actividad agrícola y la producción pecuaria.

El mejoramiento de las características genéticas de las plantas, utilizando métodos clásicos o mediante la utilización de biotecnologías como micropropagación, variación somaclonal, cultivos de anteras, hibridación celular, mapeo genérico e ingeniería genética, permitirían enfrentar numerosos problemas de la Región. Obtener y disponer de variedades resistentes a insectos fitófagos, enfermedades causadas por virus, bacterias, hongos y nemátodos y a estrés abiótico (sequía, salinidad y toxicidad del suelo), es en si mismo un dilema y una necesidad de desarrollo. Por otra parte, la manipulación de microorganismos saprófitos pertenecientes a la microflora del suelo, permite en la actualidad mejorar la fijación de nitrógeno atmosférico y en un futuro cercano, una mayor eficiencia de las plantas en la absorción de fósforo, producir insecticidas e inoculantes biológicos para el control de enfermedades o para promover el crecimiento y desarrollo vegetal. Son numerosos los casos donde los grandes programas regionales o nacionales de investigación no han dado un resultado adecuado. Hay evidencia de que se han ejecutado numerosos proyectos donde los resultados son nulos o escasos y donde la investigación conducida a distancia y alejada de los problemas de la mediana y pequeña agricultura han terminado en un profundo fracaso.

La biotecnología, como herramienta aplicada a programas de investigación para la agricultura campesina latino-americana y del Caribe, abre especiales expectativas. En particular, deben apoyarse aquellas iniciativas que tiendan a establecer estas nuevas experiencias en/con los mismos sectores marginales afectados por problemas micro-climáticos especiales y a resolver situaciones limitantes que inciden sobre la productividad y la eficiencia. Si se desea incrementar la productividad campesina rural se deben necesariamente descentralizar los programas que se realizan en los institutos y universidades localizadas en las capitales latinoamericanas y del Caribe, y concentrar los esfuerzos donde se requieran para resolver los problemas *in situ*. Sin embargo, una condición fundamental es que esta descentralización científica no debe significar redistribuir los recursos por cuotas, ni tampoco implicar una pérdida del nivel científico-académico.

Una unidad experimental enclavada en el corazón de un área marginal, la cual presente desafíos para ser resueltos mediante técnicas y programas biotecnológicos, sólo tendrá un impacto en los agricultores si es capaz de despertar el interés gracias a la concreción práctica de las expectativas que se vislumbran. Sus resultados y metodologías serían extrapolables a comunidades localizadas en otros lugares con similares problemas.

Un modelo de aplicación de ciertas biotecnologías podría ser propuesto para países de la Región con apoyo de instituciones internacionales de cooperación (CONTRERAS y CIAMPI, 1989; CIAMPI, 1990). Los elementos centrales contemplan: a) desarrollo de investigación biotecnológica "de punta" en los centros universitarios o de investigación vinculada a los problemas de una comunidad campesina; b) preparación en las unidades experimentales de material genético vegetal y microbiológico para ser evaluado en las unidades o campos insertos en la comunidad; c) creación de una unidad experimental en el corazón de la comunidad, para evaluar la apropiación de los materiales elaborados; d) la comunidad campesina (núcleo familiar) participa de días de campo al año en la unidad experimental; e) ingenieros agrónomos (residentes en la estación experimental), a cargo de ensayos experimentales, visitan y desarrollan programas específicos con agricultores líderes; f) el Estado participa aportando infraestructura para el funcionamiento de la unidad experimental; g) los materiales biotecnológicos desarrollados son entregados sin costo adicional a los pequeños y medianos productores.

4.1.1 Un caso exitoso

En Chile, el proyecto denominado "Variedades mejoradas para pequeños agricultores" se ha llevado a cabo durante varios años en la Comuna de San Juan de la Costa, Provincia de Osorno, Chile. Los beneficiarios son numerosas familias de pequeños productores agrícolas huilliches, grupo étnico original de la X Región. Durante los últimos años, en esta localidad se inició, como parte de las actividades del proyecto, un programa de microbiología de suelos tendiente a seleccionar cepas de *Rhizobium trifolii*, bacteria fijadora de nitrógeno en simbiosis con leguminosas tales como trébol rosado y trébol blanco. Durante el proyecto fue posible obtener a partir de muestras de nódulos de trébol de la zona, cepas de *Rhizobium* muy eficientes que han tenido éxito en pruebas de invernadero y de campo (CIAMPI, 1990).

La primera consecuencia de un programa de esta naturaleza es el ahorro en recursos financieros que se produce al haber una disminución en fertilización nitrogenada por parte de la comunidad, evitándose la demanda de créditos e incrementando la productividad de los pastizales. Lo anterior posibilita el aumento de la masa ganadera y por lo tanto se asegura una mejor alimentación y mayor producción ganadera (NAS, 1979). El impacto y las consecuencias positivas producidas con los resultados en este tipo de proyecto pueden orientarse en varias direcciones:

El programa biotecnológico "modelo" puede ser desarrollado con y en una comunidad de pequeños y medianos agricultores teniendo algunos requisitos mínimos para asegurar su desarrollo y éxito:

- *presencia de especialistas*
- *apoyo financiero asegurado a mediano plazo*
- *infraestructura mínima de laboratorio*
- *presencia física en el sector*
- *personal de transferencia de tecnología*
- *apoyo gubernamental*

- a) se promueven investigaciones aplicadas adecuadas que nacen en el laboratorio y terminan en un sector productivo;
- b) el costo para los pequeños agricultores es mínimo ya que solamente deben adquirir sus semillas, puesto que el inoculante biológico tiene un mínimo costo;
- c) sería factible diseñar pequeñas plantas artesanales para que los agricultores o una cooperativa produzcan a escala semi-industrial sus propios inoculantes, proveyéndoles de las cepas adecuadas.

Muchos laboratorios de biotecnología están aspirando en cambio a promover y/o desarrollar métodos sofisticados, de alta inversión, sin contar mayoritariamente con los recursos humanos calificados ni la instrumentación, el equipo e la infraestructura necesarias. Biotecnologías "apropiables", conocidas y simples, deben transferirse sin demora a las comunidades agrícolas especialmente aquellas en condiciones de marginalidad.

4.2 Identificación de factores de marginalidad

Los programas de investigación biotecnológica orientados a sectores de marginalidad agrícola con intención de realizar aplicaciones prácticas dirigidas a las comunidades campesinas, deben detectar factores económicos, sociales, ambientales, educativos y productivos que limitan el desarrollo de un determinado grupo agrícola de una zona o región (ver recuadro). Algunos de estos factores en muchos casos se confrontan mediante la

"apropiación" biotecnológica. El mecanismo requiere de un equipo integrado y multidisciplinario de investigadores familiarizados con las técnicas biotecnológicas.

Factores responsables de marginalidad

Factores edáficos:

suelos:

- con bajo contenido de materia orgánica
- con limitaciones de pH (ácido o en extremo alcalino)

con alta salinidad:

- pobres en flora microbiana fijadora de nitrógeno
- delgados y con pendientes
- con mal drenaje
- con erosión de la capa arable

factores climáticos:

- períodos estresantes de sequía (zonas áridas y semiáridas)
- heladas de primavera
- concentración pluviométrica en períodos particulares
- calor excesivo en períodos estivales
- mala distribución de las lluvias

factores agrícolas:

- presencia de enfermedades: radicales o del follaje, ya sean causadas por hongos, bacterias, virus o nemátodos
- presencia de plagas limitantes para la producción de frutos y semillas
- enfermedades del almacenaje y post-cosecha
- baja calidad sanitaria de las semillas locales
- falta de variedades adaptadas
- carencia de maquinaria adecuada
- carencia de infraestructura para el almacenaje de productos
- presencia de malas hierbas
- desconocimiento de cultivos o rubros alternativos
- inadecuada o poca utilización de insumos
- desconocimiento en el manejo de suelos
- manejo inadecuado de la protección sanitaria de cultivos y animales

factores socioeconómicos:

- incapacidad de acceder a créditos
- requerimiento de asistencia técnica
- problemas de tenencia de la tierra
- pequeña propiedad agrícola
- falta de incentivo
- necesidad de acceso a los mercados
- excesivo individualismo productivo

Un mecanismo factible es, al inicio del programa, trasladar al sector determinado y en una unidad o campo experimental, un amplio rango de germoplasma de diferentes cultivos de la zona. El análisis del comportamiento y otros estudios realizados en distintos años permiten, a través de evaluaciones y observaciones, la selección de líneas promisorias con miras, a mediano plazo, al desarrollo de variedades más resistentes a plagas y enfermedades, tolerancia a baja fertilidad del suelo, buena respuesta a los abonos orgánicos, resistencia al frío, calor y condiciones de sequía. Complementariamente, el desarrollo de actividades de micropropagación para la multiplicación de plantas seleccionadas "elite" en especies de frutales, raíces, tubérculos, hortalizas y ornamentales, puede promover positivamente el desarrollo del programa por la obtención de "semilla" de variedades más tolerantes o de mayor calidad. Paralelamente deben realizarse cursos de capacitación técnica a los agricultores, donde se involucre a los niños de las escuelas del sector y miembros de la familia.

4.3 Costos de la biotecnología para el pequeño y el mediano productor: beneficiarios directos

Quien financia una investigación, a menudo dispone de reglas e impone exigencias sobre patentes y derechos de los resultados que se obtengan. Existen aspectos en relación a quién debe beneficiarse con los resultados de un determinado proyecto.

- a) Cuando la fuente de financiamiento proviene de dineros públicos o fiscales se debe tener muy presente que los beneficios de la investigación deben ser públicos para beneficiar sin restricción a la comunidad toda. Normalmente esto se establece bajo un contrato y compromiso entre el investigador o su institución y el ente público que financia el proyecto.
- b) Cuando la fuente de financiamiento proviene de empresas privadas existe en general una clara intención de proteger la inversión mediante el establecimiento de patentes. La patente no solamente busca una finalidad lucrativa de una determinada empresa biotecnológica, sino que asegura de cierto modo ingresos que permitan continuar apoyando las líneas de investigación y el desarrollo de nuevos productos o procesos. Si una empresa se dispone a vender un producto biotecnológico obtenido con previa inversión en investigación y desarrollo, es probable que el mediano y hasta el pequeño agricultor pudieran estar dispuestos a pagar por el producto con ventajas comparativas concretas y mejores perspectivas de productividad.

Los organismos internacionales de cooperación financian proyectos de investigación en países en vías de desarrollo. En América Latina y el Caribe son numerosos los casos donde una variada gama de instituciones apoyan y han desarrollado numerosos proyectos. Este aspecto es muy importante por cuanto estas instituciones pueden dictar sus propios sistemas a la adjudicación de los recursos.

Estas reglas refieren a menudo que "los beneficiarios de una determinada investigación es la comunidad". Estas instituciones poseen personal calificado el cual puede proponer y disponer de una cierta orientación a la investigación científica que sus organismos apoyan de acuerdo a las tendencias mundiales. Un buen ejemplo lo constituye la biotecnología, disciplina que está transformando la relación investigador-empresario.

Considerando que la biotecnología es ya una realidad importante en los países desarrollados, la asistencia técnica internacional puede orientar recursos para promover tendencias en la investigación y el desarrollo apoyando la biotecnología "apropiable" donde no existe y con posibilidades de establecerse y potenciar sus efectos de beneficiar a las comunidades de los países subdesarrollados. En estos países debe establecerse una intencionalidad positiva para la biotecnología constituyéndola en herramienta de desarrollo. Es de esta forma como la nueva esperanza científica puede cooperar en mitigar las desigualdades sociales entre los países. La intencionalidad implica que beneficios concretos obtenidos por la biotecnología sean extendidos hacia los pequeños y medianos agricultores sin grandes costos directos para ellos.

5. AREAS DE IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGIA

En la actualidad, el área agrosilvopecuaria aparece como una de las actividades directamente beneficiables con los avances biotecnológicos. A pesar de que existen otros sectores potenciales como el ganadero, forestal y minero, la actividad agrícola en numerosas áreas de la producción aparece como altamente factible y dispuesta para recibir primariamente los beneficios del empleo de estas nuevas tecnologías, aplicadas directamente para incrementar la productividad y calidad de la pequeña y la mediana agricultura. Estos nuevos avances no implican necesariamente cambios tecnológicos para los agricultores. En este documento se enfocarán algunas de las áreas de mayor impacto en el desarrollo del pequeño productor agrícola en el contexto de programas armónicos, de mediano plazo y no como acciones puntuales.

A pesar de las obvias bondades de las técnicas biotecnológicas aplicadas al área vegetal, se produce en algunos casos una dramática falta de impacto, aún en el caso de laboratorios equipados convenientemente. ¿Qué factores inciden en nuestro medio que ocasionan estas fallas? Algunos factores incidentes:

- a) trabajo unipersonal del líder del laboratorio sin integración en líneas de trabajo con otros biotecnólogos constituyendo programas comunes, multidisciplinarios;*
- b) carencia de conocimiento adecuado a nivel académico y científico de los recursos humanos del laboratorio;*
- c) creer que un laboratorio de esta naturaleza debe ser destinado a generar ingresos a corto plazo para la institución;*
- d) no existencia o alta debilidad de programas de mejoramiento de cultivos insertos y coparticipando con laboratorios de biotecnología agrícola dirigidos a los problemas del pequeño y mediano productor agrícola;*
- e) irresponsabilidad administrativa al no ser exigido el cumplimiento de metas mínimas, objetivos, excelencia académica y racionalidad en el uso de recursos;*
- f) carencia de planificación institucional que premie y estimule la excelencia académica y el desarrollo de programas en biotecnología agrícola aplicados.*

5.1 Variedades resistentes a factores bióticos y abióticos y material saneado para el productor

Los métodos biotecnológicos son complementos de gran importancia en los programas de mejoramiento genético para la obtención de material vegetal con características de resistencia a diversas condiciones de estrés. Entre estos métodos se destacan cultivos de tejidos, cultivo de anteras y obtención de haploides, explotación de la variación somaclonal, embriones somáticos, cultivo y fusión de protoplastos, inducción de mutaciones, selección por tolerancia en medios específicos, métodos de ingeniería genética y selección asistida por marcadores moleculares.

La primera significación de estos métodos radica en el ahorro de tiempo que representa su aplicación en el mejoramiento convencional. En el caso de las plantas anuales el proceso convencional de cruzamiento, selección y pruebas para el lanzamiento de nuevas variedades mejoradas puede tardar entre 8 a 10 años. En el caso de las plantas perennes como café, cacao, y frutales, para obtener una nueva variedad se requiere de un tiempo mínimo de 30 a 40 años de trabajo. El proceso en ambos casos es largo, costoso y a veces no entrega los resultados esperados.

5.1.1 Cultivo *in vitro* de tejidos vegetales

En muchos casos, y generalizándose en los países de América Latina y el Caribe, técnicas simples de cultivos de tejidos o micropropagación están produciendo abundante material de propagación de sanidad controlada o "libre" de enfermedades por hongos, virus o bacterias. En diversos países, nuevos cultivares o individuos "élite" seleccionados por sus características de producción, estacionalidad de la cosecha o calidad en especies de frutales, portainjertos, papa y otros cultivos de raíces y tubérculos, caña de azúcar, café, cacao, cultivos hortícolas y flores, están siendo multiplicados por micropropagación para apoyar programas de producción de semilla, viveros y programas de mejoramiento genético.

Las técnicas de manejo de cultivos vegetales favorecen la conservación de la riqueza fitogenética de América Latina y el Caribe, hacen más eficientes las actuales variedades en uso y posibilitan acelerar los programas de fitomejoramiento, que por medios tradicionales son costosas y a largo plazo. La conservación del germoplasma mediante métodos biotecnológicos, además de las ventajas de la utilización de un menor espacio, desempeña un rol importante en la preservación de la riqueza fitogenética descubierta en el mundo hispánico poscolombino que debe ser conservada. La biotecnología "apropiable" brinda una herramienta útil para revertir el proceso que hasta ahora, por ejemplo, ha beneficiado a los países

industrializados a través de numerosas variedades comerciales obtenidas, especialmente de papa, tomate, ají, maíz y otros recursos genéticos autóctonos de la Región.

En el futuro deberán plantearse estrategias inteligentes para racionalizar y otorgar mayor equidad en el uso de genes vegetales que provienen de plantas cuyo centro de origen y dispersión se encuentra en América Latina. Una forma de proteger esta riqueza fitogenética es precisamente entregar un apoyo decisivo a proyectos que apliquen métodos biotecnológicos para utilizar, recolectar, evaluar y mantener dicho germoplasma. Aun más, las redes de biotecnología y los numerosos investigadores que laboran en recursos vegetales deben estar conectados para potenciar sus proyectos y evitar o minimizar la "erosión genética" en curso de especies vegetales.

Es oportuno mantener un acceso ágil a los bancos de germoplasma para que el material vegetativo pueda ser producido por o con la comunidad agrícola apoyando la selección dirigida a problemas específicos del lugar, entre otros: respuesta a condiciones de baja fertilidad, resistencia a las enfermedades locales, resistencia a condiciones ambientales estresantes como calor, frío o falta de humedad, tolerancia a pestes del lugar, selección de líneas con elevado contenido de nutrientes tales como proteínas y evaluación por facilidad de cocción. Estos esfuerzos, de largo plazo, deben contar con investigadores comprometidos e integrados en un programa con objetivos comunes. Además de un fácil acceso a fuentes de germoplasma para evaluación y selección de líneas promisorias, se pueden iniciar, en los casos pertinentes, cruzamientos con cultivares comerciales o poblaciones locales, realizándose nuevas evaluaciones y selección.

Lo anterior constituye la base de un programa continuo de investigación, asistido por biotecnología, que al cabo de algunos años debería entregar cultivares promisorios superiores a los tradicionalmente utilizados en la zona. A su vez estas nuevas variedades incidirían en factores adicionales tales como el incremento de la producción familiar, mejor calidad de alimentación y posibilidad de ingresos por ventas.

La técnica consiste en clonar o micro-propagar tejidos vegetales en forma aséptica y en medios artificiales. Este proceso ha servido para multiplicar y sanear de enfermedades determinadas variedades de numerosas plantas en forma masiva. Los bancos de germoplasma se han beneficiado con una mantención menos costosa y sus colecciones se han mantenido alejadas y libres de enfermedades que se contraen fuera de las cámaras. También esta técnica es importante para introducir material vegetal libre de patógenos a determinadas áreas donde la introducción de material arraigado está prohibida o regulada por normas cuarentenarias.

Una de las ventajas de la micropropagación in vitro de especies vegetales es la disminución de los costos de mantención de germoplasma, el cual por métodos tradicionales (preparación de suelo, siembra en el campo, mantención del cultivo, saneamiento, cosecha, mantención de semillas, etc., etc..) implican costos y riesgos elevados. Estas técnicas in vitro en cultivos de raíces, tubérculos y frutales permiten acelerar el mejoramiento genético y complementan, programas con objetivos muy precisos en comunidades de medianos y pequeños agricultores con dificultades creadas por la marginalidad económica, climática o de suelos.

5.1.2 Cultivos de anteras y obtención de haploides

El método de cultivo de anteras y obtención de haploides *in vitro* está cobrando importancia en muchos programas de mejoramiento, ya que al diploidizar a las plantas se aumenta la frecuencia de determinados genes, lo cual magnifica la variabilidad genética dando la oportunidad a los fitomejoradores de acelerar el proceso de selección de plantas superiores o con resistencia a factores bióticos o abióticos (ARCIA, 1990). Sin embargo, además de obtener el individuo haploide, permite su multiplicación rápida, dado que, para introducir estos materiales en el programa de mejoramiento, se necesita aumentar la población. Como un ejemplo específico se pueden citar los estudios hechos en laboratorios de investigación en la Universidad Central de Venezuela con haploides obtenidos *in vitro* para café, cacao y tabaco. En café se logró producir haploides de *Coffea arabica* var. "Garnica", utilizando la regeneración por organogénesis indirecta de callos. Se pudo determinar una alta variabilidad en el material producido, obteniéndose plantas de tipos albino, "angustifolia" y otros. Este trabajo tiene como objeto obtener material resistente a la roya del cafeto. En tabaco se ha orientado la investigación a producir resistencia al hongo *Fusarium oxysporum*, y al nemátodo *Meloidogyne incognita*.

La obtención de haploides in vitro y la posterior inducción de diploides es una técnica simple de cultivo de órganos y tejidos en condiciones asépticas y reguladas que facilitan el mejoramiento por productividad, calidad, resistencia y adaptabilidad al medio que las rodea. Estos trabajos pueden producir en la Región importantes resultados con respecto a la obtención de la plantas o variedades mejoradas, integrándose biotécnicas simples en el mejoramiento vegetal.

5.1.3 Obtención de variantes somaclonales

Es una técnica que aprovecha las variaciones somáticas que se originan en tejidos de cultivos, especialmente tejidos desorganizados (callo). Generalmente esas variantes sólo

pueden ser reconocidas y seleccionadas posteriormente a la regeneración a partir de células de las cuales se forman los somaclones. En América Latina el uso de variantes somaclonales comienza a intensificarse para la obtención, por ejemplo, de plantas resistentes a la roya y al virus del mosaico de la caña de azúcar (GARCIA, 1988 a y b). Lo anterior ha sido orientado al manejo integrado del cultivo particularmente en Venezuela donde se cultivan 80.000 hectáreas para producir poco menos del 50% de las necesidades de azúcar del país. En base a la importancia del rubro se ha decidido complementar programas convencionales de mejoramiento genético con métodos biotecnológicos para obtener clones resistentes a plagas y enfermedades como carbón, roya, escaladura de la hoja y virus del mosaico de la caña.

El método utilizado fue el cultivo de tejidos y embriogénesis somática inducida en presencia de ácido 2,4 diclorofenoxiacético, que permitió obtener variantes somaclonales resistentes a cuatro razas del virus del mosaico. Los clones han sido probados en campo por seis generaciones dando resultados altamente positivos. Las plantas fueron evaluadas en el campo desde el punto de vista agrícola, enviadas a diferentes regiones agroecológicas para su evaluación definitiva y distribuidas a los agricultores (GARCIA, 1988 a y b). Asimismo, se realizó también una selección de clones resistentes a concentraciones elevadas de sales de cloruro de sodio, mediante el crecimiento de callos en diferentes concentraciones de dicha sal. El objetivo fue obtener somaclones que puedan crecer en suelos salinos aumentando así la disponibilidad de tierras para el cultivo. Por otra parte se ha desarrollado en estos laboratorios de Venezuela un "kit" de diagnóstico para la detección rápida del virus.

5.1.4 Obtención de embriones somáticos para producción de semillas artificiales

Las investigaciones que se realizan en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE-Costa Rica) y en varios centros de investigación en Colombia, se orientan a obtener variedades de banano con resistencia a la "sigatoka negra". En el CATIE se utilizaron suspensiones celulares que regeneraron embriones somáticos y sobre este material se aplican distintos métodos de selección conteniendo extractos crudos del hongo *Mycosphaerella fijiensis*, responsable de la enfermedad. Las plantas inicialmente seleccionadas fueron inoculadas adicionalmente a nivel de vivero, siendo los primeros desarrollos muy promisorios (IPBNet, 1991).

Muy poco se ha hecho en embriogénesis somática en relación con plantas ornamentales, debido a que el producto es costoso y el requisito de homogeneidad en la población, es alto. Estas especies preferiblemente son propagadas por métodos menos costosos como proliferación de los brotes axilares, microesquejes, yemas, meristemas, etc. Por otra parte, de acuerdo a algunos autores, la embriogénesis somática tiene poco uso actualmente en plantas arbóreas importantes en la agricultura, ya que se requieren estudios básicos, pruebas de largo plazo para verificar la estabilidad genética y la necesidad de optimizar los protocolos de germinación de los embriones somáticos.

La embriogénesis somática está siendo desarrollada en diferentes centros en el mundo buscando resistencia a enfermedades foliares cuya genética es desconocida o intransferible en un amplio rango de cultivos (papaya, palma, lima, limón, mandarina, café, manzana, pepino, mango, yuca, batata, arroz, caña de azúcar, cacao, maíz, entre otras). Una de las grandes aplicaciones de la embriogénesis somática es la producción de semillas artificiales, que requiere no solamente de un alto porcentaje de embriones somáticos, sino también un alto porcentaje de embriones capaces de germinar (REDENBAUGH, 1990).

5.1.5 Fusión de protoplastos

Otro método para mejorar plantas consiste en el cultivo, fusión y regeneración de protoplastos, que ofrece una ayuda en la transformación genética de plantas por métodos de biología molecular e ingeniería genética. La hibridación amplia y selección *in vitro* para desarrollo de individuos resistentes o tolerantes a patógenos y sequía puede ser enfocada por estas alternativas. En América Latina y el Caribe, esta técnica está siendo usada en varios centros de Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Perú y Venezuela, con algunos resultados promisorios (FAO, 1993a).

5.1.6 Ingeniería genética y plantas transgénicas

Las plantas transgénicas se han construido sobre la base de introducir al sistema genético de la planta receptora información genética adicional proveniente de otro organismo donante. Generalmente es un gen que se codifica por una particular característica: resistencia a herbicidas, a determinados insectos, a enfermedades causadas por hongos, bacterias o virus, o al frío. En la actualidad la aplicación de la ingeniería genética en la obtención de variedades mejoradas ha comenzado a generar prometedores resultados ejemplificados por variedades de cultivos alimenticios resistentes a virus, insectos y herbicidas.

Para obtener estas nuevas variedades de plantas transgénicas se utiliza, entre otros métodos, el plasmidio Ti de *Agrobacterium tumefaciens*, o el Ri de *A. rhizogenes*, a los cuales se les reemplazan los genes inductores tumorales por la característica seleccionada a transferir. *A. tumefaciens* es un patógeno vegetal que causa enfermedad en plantas susceptibles mediante la transferencia de parte de su propio ADN, cuyos genes son conducidos en el plasmidio. Al introducirse a la planta, el ADN bacteriano se inserta en el ADN vegetal logrando la transformación genética, lo que en la planta se traduce en una hiperplasia con una posterior hipertrofia (tumor). Si se reemplazan los genes inductores tumorales (Ti ó Ri) por otras características genéticas (genes), hay posibilidades de que las plantas expresen estas características transferidas (SCHELL, 1987).

La ingeniería genética es un conjunto de técnicas que permiten identificar, aislar, modificar y reintroducir genes a un organismo original, o transferirlos a otro diferente. Significa alterar la heredabilidad del ADN de una célula viva de manera tal que la célula pueda producir más o diferentes productos o realizar por completo funciones nuevas. Una técnica principal en ingeniería genética es la del ADN recombinante, la cual consiste en unir trozos de ADN de diferentes organismos para producir una molécula de ADN híbrida. Una profunda comprensión y el entrenamiento en éstas técnicas y posibilidades requieren de una familiarización con las estructuras y maneras de acción del material hereditario (HAAS, 1984).

Obtener una exitosa transferencia y la expresión de genes foráneos en plantas transformadas es dificultoso. Sin embargo, investigaciones realizadas en los últimos años han permitido por este método, con mediación de *Agrobacterium*, la transformación de plantas y la obtención de callos regenerantes de especies de *Solanum* spp., *Lycopersicum* spp., *Nicotiana* spp. y *Petunia* spp, entre otras (KOMARI, 1989). Otra aplicación interesante de las plantas transgénicas es que permiten el estudio de la organización, funcionamiento y expresión molecular de genes vegetales de interés para la industria agrícola. Esto permitirá insertar en plantas vulnerables o susceptibles genes específicos que las protegerán de importantes enemigos como son los insectos, hongos, bacterias y otros patógenos vegetales o sintetizar sustancias útiles. Nuevas técnicas como la microbalística están coadyuvando a una rápida adopción de estas técnicas entre los laboratorios más avanzados de la Región en Argentina, Brasil y México.

Esta sofisticada ciencia de la ingeniería genética puede cooperar y ayudar a los pequeños y medianos agricultores de América Latina y el Caribe como también a la agricultura emergente de los países en vías de desarrollo. Un buen ejemplo lo constituye la colaboración entre el CIP (Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú) y la Universidad del Estado de Luisiana, para investigar y obtener plantas transgénicas de papa que sean resistentes al ataque de insectos, bacterias, hongos y virus que afectan al cultivo en todo el mundo (JAYNES y DODDS, 1987).

La mayor aplicación de esta biotecnología se ha realizado en raíces y tubérculos, especialmente en papa, para: a) la inserción de genes sintéticos para incrementar la producción de proteínas; b) resistencia al virus del enrollamiento y al viroide de ahusado de la papa; c) resistencia a enfermedades fungosas y bacterianas; d) resistencia a heladas (DODDS, 1988; ARCIA, 1990; VAYDA y PARK, 1990). Asimismo en yuca se está haciendo transgénesis para el incremento del porcentaje de proteínas, calidad, período poscosecha y resistencia a virus y en batata para resistencia a enfermedades. En los cereales (maíz) se realizan investigaciones sobre el color de la tusa y resistencia a la roya (ARCIA, 1990). En general los productos de estas investigaciones han sido verificados para cada uno de los objetivos del proyecto, pero los mismos están bajo condiciones experimentales, ya que las reglamentaciones de bioseguridad impiden llevarlas al campo. En la Subregión Andina, la Corporación Andina de Fomento (CAF) está desarrollando desde 1987 un programa biotecnológico en la papa por ser el cultivo prioritario en la región de los Andes (CAF, 1987). Este organismo, con el apoyo del CIP, ha instrumentado programas incluyendo ingeniería genética para el mejoramiento de papa dentro de convenios con laboratorios en Venezuela. El producto de estos estudios se espera que sea de utilidad a la Subregión.

La aplicación de la ingeniería genética para la obtención de plantas transgénicas se está desarrollando en varios países de América Latina y el Caribe, principalmente en centros internacionales: CIP (Perú), CIAT (Colombia), CIMMYT (México) y en laboratorios adscritos a Institutos de Investigación y Universidades en Argentina, Brasil, Costa Rica, Chile, México y Venezuela y miembros de la REDBIO/FAO (IZQUIERDO, 1990). Plantas transgénicas de papa (Universidad Central de Venezuela), caña de azúcar (CIGB, Cuba), frijol y tomate (CINESTAV, México), papa, tomate y ajo (INGEBI-INTA, Argentina) y otras, están siendo obtenidas y probadas en distintos laboratorios en condiciones de campo.

Las biotecnologías de ADN recombinante, mapeo de genes por RFLP, RAPID y estudios de transformación genética, parecen en sí mismas no ser tecnologías rápidamente "apropiables" para América Latina y el Caribe. En ellas se requieren personal y equipo altamente especializado además de sustancias y materiales muy específicos y costosos, lo que hace que las mismas representen una gran erogación en los proyectos de investigación. Sin

embargo, los frutos de esas tecnologías, como germoplasma mejorado y plantas de cultivo con mayor resistencia y rendimiento en condiciones marginales, van a influir favorablemente en la producción de los medianos y pequeños agricultores (ROCCA, 1990; VAYDA y PARK, 1990). Proyectos compartidos y multilaterales entre laboratorios de biotecnología de distintos países auspiciados por redes horizontales de cooperación, como REDBIO, podrían proporcionar la infraestructura, el equipo, personal y la tecnología necesarias para, en un enfoque complementario a los programas de mejoramiento genético convencional, desarrollar cultivares mejorados por ingeniería genética de cultivos alimenticios (IZQUIERDO, 1993). Recientemente perfiles de proyectos en mejoramiento genético incluyendo transgénesis de arroz, papa, cebada y trigo y de frutales, hortalizas, raíces y tubérculos, han sido propuestos como actividades de la Red en Brasil y Uruguay.

5.2 Bio-control de plagas y enfermedades de los cultivos

En los países desarrollados, la mayor parte del aumento en productividad de la pasada mitad de siglo radica en la eficacia y en los beneficios económicos derivados del control de plagas a través del uso de pesticidas químicos sintéticos. Sin embargo, hoy en día existe una creciente presión social y legislativa orientada a prevenir o reducir efectos toxicológicos, riesgos ambientales y efectos sobre la salud asociados al uso de los pesticidas. Los sectores de la investigación pública y privada han sido presionados para producir alternativas biológicas, biopesticidas y organismos (plantas y animales) modificados genéticamente por ingeniería genética que puedan reemplazar o disminuir el uso de pesticidas. Sin embargo, estos métodos sólo representaron una pequeña fracción del mercado para el año 2000 (DUKE, MEMM y PLIMMER, 1993). Por lo tanto, deben impulsarse métodos y estrategias para mejorar la calidad ambiental y la seguridad alimentaria y resguardar a la sociedad. La biotecnología vegetal puede y debe integrarse en esta renovada tecnología integrada de producción y protección de cultivos.

Control biológico es la reducción de la cantidad del inóculo o de la actividad en la producción de enfermedad producida por un patógeno o parásito en su estado activo o latente, por acción de uno o más organismos, efectuado naturalmente o por medio de la manipulación del ambiente, del huésped o del antagonista, o por la inducción de uno o más antagonistas.

En la Región, la agricultura convencional nos ha legado tecnologías que implican la amplia utilización de insecticidas y fungicidas para controlar el daño que los insectos fitoparásitos y patógenos vegetales provocan a los cultivos en general. La gran mayoría de estos pesticidas son sintetizados y elaborados químicamente en complejos procesos industriales con el consiguiente deterioro al medio ambiente, tanto en su fase de preparación como en la de aplicación.

Una notable excepción la constituyen las toxinas letales para ciertos insectos producidas por la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Preparaciones de endosporas de esta especie esporulada aerobia se han utilizado extensivamente durante los últimos 20 años para el control de plagas insectiles (BRAVO y QUINTEROS, 1993). La actividad insecticida de *B. thuringiensis* reside en cuerpos de inclusión citoplasmáticos cristalinos que se producen durante el proceso de esporulación de la bacteria. Estas toxinas están compuestas por proteínas, denominadas delta endotoxinas, específicamente tóxicas contra numerosas variedades de insectos, siendo los más afectados los lepidópteros, pero algunos dípteros y coleópteros también se ven perjudicados. Estas toxinas bacterianas no son tóxicas a otros organismos y por lo tanto son bioinsecticidas seguros, biodegradables y se presentan como interesantes alternativas para el control de insectos.

Una de las últimas aplicaciones de la ingeniería genética ha sido aislar y secuenciar los genes de una cepa de *B. thuringiensis* toxigénica, clonar los genes y, mediante el plasmidio Ti de *A. tumefaciens*, transferir y expresar estos genes en tabaco. Ahora estas plantas "transgénicas" de tabaco expresan los genes "transferidos" que sintetizan las proteínas insecticidas para proteger al tabaco del daño de las larvas horadoras de *Manduca sexta* (VAECK *et al*, 1987).

En América Latina y el Caribe los investigadores del área biotecnológica interesados en el control biológico se están organizando, con el apoyo de la OEA, en torno al control de lepidópteros mediante la obtención de plantas transgénicas o la aplicación de insecticidas biológicos para la protección contra ataque de determinados insectos.

5.2.1 Microorganismos útiles para el bio-control

Generalmente el control biológico ocurre naturalmente producto de la acción de agentes antagónicos y pasa inadvertido por el hombre. Sus amplias expectativas han hecho necesario considerarlo como herramienta en la producción de cultivos, pues las plagas y enfermedades causan a los agricultores pérdidas en dinero, tiempo y esfuerzo aunado a las numerosas aplicaciones de insecticidas que llevan a la contaminación ambiental y riesgos en la salud.

Un "pesticida biológico" es "toda concentración celular de un microorganismo que ha sido aislado, estudiado, evaluado y seleccionado para combatir plagas insectiles, controlar malezas o proteger a las plantas del ataque de agentes fitopatógenos".

Un biopesticida es esencialmente un inoculante desarrollado en gran medida a través de tecnologías derivadas de la rizobiología o fabricación de inoculantes fijadores de nitrógeno. Con estos criterios se están desarrollando investigaciones en la Región para la obtención de inoculantes biológicos con fines específicos utilizando:

- a) bacterias promotoras del crecimiento vegetal*
- b) bacterias y hongos para controlar enfermedades en plantas*
- c) bacterias y hongos para controlar plagas insectiles*
- d) uso de microorganismos específicos para el control de malezas*
- e) hongos micorrizantes*
- f) fijadores de nitrógeno no-simbióticos.*

Los organismos antagonistas han sido definidos como agentes biológicos con el potencial de interferir en el proceso de vida de los patógenos. Las características antagonistas de un individuo pueden incluirse en: antibiosis, cuando hay inhibición o destrucción de un organismo por un producto metabólico; competencia, cuando dos microorganismos buscan el uso del mismo sustrato; e hiperparasitismo, cuando un organismo parasita a otro que a su vez es parásito de otros organismos (ARCIA, 1990). Una alternativa interesante a la manipulación y modificación genética de plantas y microorganismos es la búsqueda y selección de bacterias y hongos específicos para determinadas acciones beneficiosas agrícolas. Los "biopesticidas" o "pesticidas biológicos" representan una alternativa a los pesticidas químicos.

La ventaja de los bioinoculantes es su mínimo impacto ambiental y la reducción del grave problema de contaminación química que durante décadas han causado los pesticidas de origen industrial químico. Aunque el costo de investigar en este campo es alto y complejo el proceso que abarca desde el inicio de los estudios hasta la elaboración comercial de un inoculante biológico, su posterior uso implica un costo menor que la utilización de productos químicos tradicionales.

La producción de estos biopesticidas en los países desarrollados se ha traducido en metodologías que han implicado una alta tecnología, complejidad y alto costo de equipos incluyendo condiciones de absoluta esterilidad. En los países industrializados se han producido numerosos productos de esta naturaleza donde predominan las suspensiones de *B. thuringiensis* var. **kurstaki**, producto biológico con aplicaciones específicas y usado principalmente para el control de insectos dañinos tales como orugas y mosquitos. Estos métodos, que reemplazan simplemente insecticidas químicos por biopesticidas, son inapropiados para países menos desarrollados, los cuales requieren sistemas productivos locales que utilicen materiales y equipos de bajo costo (PRIOR, 1989).

Se ha informado de dos exitosos programas que han contemplado el uso de pesticidas biológicos en países en vías de desarrollo y que han implicado el uso de hongos que atacan insectos causantes de importantes pérdidas a la agricultura. En Brasil, muchas miles de hectáreas de caña de azúcar son tratadas con preparaciones locales de *Metarrhizium anisopliae* para controlar al homóptero *Mahanarva posticata*. Un programa de similares características se inició en China donde cultivos de maíz fueron asperjados con preparaciones locales de *Bauveria basiana* para controlar la oruga horadora del tallo *Ostrinia nubilalis*. La novedad es que el programa chino no requiere de productos estériles y utiliza insumos locales (PRIOR, 1989).

Desde la visión del pequeño campesino estos nuevos productos biotecnológicos "locales" representan interesantes posibilidades de alcanzar una mayor productividad, especialmente si los costos de desarrollo tecnológico y escalamiento de estos nuevos "pesticidas biológicos" son absorbidos por programas cofinanciados por entes gubernamentales o instituciones internacionales. Bioestimuladores obtenidos a partir de diferentes cepas bacterianas de la familia *Azotobacteraceae* se están aplicando a más de 20 cultivos económicos en una superficie superior a las 600 mil hectáreas cultivables en el año en Cuba. Las ventajas de la aplicación de estos productos son: incremento (entre 15 y 35%) en el número de semillas a germinar y/o número de plántulas que emergen después de la siembra; aumento de la velocidad de crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas, lo cual provoca de forma general un acortamiento en el ciclo de los cultivos entre 5 y 7 días; e incremento (entre 15 y 20%) sobre el control del rendimiento agrícola, obteniéndose a su vez una mayor calidad en los frutos cosechados que provienen de las áreas tratadas. Estos resultados constituyen los primeros reportes mundiales de una aplicación masiva de bioestimuladores y la tecnología de producción está patentada desde 1989 (DIBUT, 1994, comunicación personal).

La distribución de inoculantes para uso agrícola no debe representar un aumento significativo en los costos. Si los microorganismos son "peletizados" conjuntamente con la semilla, la ventaja del ahorro de fertilizantes nitrogenados o plaguicidas trae como

consecuencia un menor costo de producción del rubro agrícola. Es probable que este "menor gasto" pase inadvertido por quien utiliza estos nuevos productos, en particular por los involucrados en la agricultura campesina. Es fundamental demostrar y hacer entender que la biotecnología conlleva herramientas de desarrollo que deben analizarse bajo contextos diferentes que los tradicionales métodos mercantiles.

Un ejemplo específico de control biológico es la utilización del género *Trichoderma* (ACEVEDO y ARCIA, 1988; BAKER, 1989), que controla principalmente parasitando y compitiendo agresivamente con los patógenos. El micelio de *Trichoderma* crece y se enrolla en las hifas del hongo hospedero, ocurriendo la penetración, vacuolización, colapso y desintegración de las hifas. En Brasil se han desarrollado ensayos bajo condiciones controladas con suelos artificialmente inoculados con *Sclerotium cepivorum* (1 esclerocio/g suelo), para control de la pudrición blanca del ajo; observándose que aplicaciones de suspensión de conidias de *Trichoderma*, al momento de la siembra, reducen la severidad de la enfermedad, incrementándose el número de plantas sanas en comparación con el tratamiento testigo.

En Venezuela, a partir de 1975 se inició el proyecto CIARCO para detectar antagonistas de hongos fitopatógenos del suelo, especialmente *Sclerotium rolfii* y *Macrophomina phaseolina* y se lograron 15 microorganismos con características antagónicas, presentando *Penicillium notatum* una actividad hiperparasitaria sobre *Sclerotium rolfii*, en condiciones de laboratorio e invernadero. El género *Trichoderma* resultó ser antagonista efectivo de los hongos *Sclerotium rolfii*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* y como agente de control de *Macrophomina phaseolina*, en ensayos realizados con ajonjolí. Luego, se han obtenido aislamientos de *Trichoderma* de climas cálidos y frescos, encontrándose algunos aislamientos con posibilidades de usarse en campo contra *Sclerotium rolfii*, *S. cepivorum*, *Sclerotinia sclerotium* y *Macrophomina phaseolina*. En ensayos con *Trichoderma* en el Estado Táchira, Venezuela (ACEVEDO y ARCIA, 1988), se ha observado un eficiente control sobre *S. cepivorum* causante de la pudrición blanca del ajo, que es un factor limitante en la siembra del ajo en los Estados Táchira y Mérida. El ensayo de campo tuvo un rendimiento de 7.208 kg/ha para el control biológico, 5.583 kg/ha para el control químico y 5.000 kg/ha para el testigo. Los resultados son prometedores pero es necesario determinar la efectividad en diferentes zonas productoras y el costo de producción (ACEVEDO y ARCIA, 1988).

La tradicional dependencia de tecnologías extranjeras para resolver problemas de desarrollo en países de América Latina y el Caribe ha sido una triste tradición. Esta realidad histórica puede también extenderse a la biotecnología, lo que conllevaría una dependencia aun mayor. Un ejemplo lo constituye el uso de ciertos pesticidas biológicos con base en *B. thuringiensis* que han sido utilizados extensivamente en Chile para controlar la polilla del brote

causada por **Rhyaciona buoliana** en plantaciones de pinos del Sur de Chile, sin considerar originalmente otras alternativas de manejo integrado de plagas.

5.3 Fijación biológica de nitrógeno atmosférico

Los fertilizantes químicos han jugado un rol relevante en la Revolución Verde. Sin embargo, para acceder a estos agroquímicos se requiere de capital o acceso al crédito, factores carenciales en la mediana y la pequeña agricultura. La fertilización es a menudo un factor limitante para una eficiente productividad agrícola y uno de los elementos más importantes para la producción vegetal es el nitrógeno, el cual es lejos el elemento más requerido.

Se necesita usar nitrógeno gaseoso para producir fertilizantes nitrogenados y aumentar la productividad vegetal. La producción industrial de fertilizantes químicos nitrogenados implica un elevado consumo de energía fósil, debido a que se requieren altas presiones y temperaturas para realizar la fijación del nitrógeno atmosférico. El nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales que limita la cantidad y calidad de alimentos producidos en el mundo. El aire está constituido por un 78% de nitrógeno gaseoso, parte del cual es transformado en nitrógeno inorgánico y nitrógeno orgánico para uso de los seres vivos. En el suelo 95% del nitrógeno se encuentra en forma orgánica y sólo un 5% en forma inorgánica (amonio y nitrato) de rápida asimilación por las plantas. La abundancia de nitrógeno gaseoso ha permitido que ciertas plantas, principalmente las leguminosas, desarrollen una estrecha relación con bacterias del género **Rhizobium**. En esta asociación, en los nódulos de las leguminosas en cuyo interior se encuentran los rizobios (bacteroides) se posibilita la fijación biológica del nitrógeno, con un evidente beneficio para la planta.

El desarrollo de inoculantes para leguminosas, de grano o forrajeras, los cuales contienen cepas seleccionadas de **Rhizobium**, es una práctica común en muchos países del mundo desarrollado. Sin embargo, en los países de la Región no existen suficientes programas que beneficien a la agricultura marginal de pequeños y medianos productores agrícolas. En cambio, en la actualidad numerosas empresas, en particular las transnacionales, venden semillas de leguminosas peletizadas con cepas específicas de rizobios que aumentan el costo de las mismas.

Los inoculantes pueden ser desarrollados localmente para la pequeña y la mediana agricultura con programas de investigación dirigidos a la distribución masiva de inoculantes. Los sistemas de producción más beneficiados son los pastizales donde abundan especies de trébol (**Trifolium** spp.) y alfalfa (**Medicago** spp.) y la producción de leguminosas de grano (**Phaseolus** spp.) (NAS, 1982). Un programa de este tipo orientado a la pequeña y la mediana agricultura, que cuente con una fuente reducida de financiamiento estatal o de organismos internacionales, debe contemplar la entrega a costos mínimos del inoculante a los agricultores.

En la fijación biológica de nitrógeno ocurre la asociación entre bacterias del género *Rhizobium* y plantas leguminosas. En promedio este sistema fija entre 100 y 150 kg de nitrógeno/ha/año, con niveles de hasta 300 kg en el caso de la asociación con *Leucaena* sp. por lo que en esta simbiosis se suministra todo o gran parte del nitrógeno necesario para el desarrollo y la productividad de esas plantas. La inoculación de las semillas de leguminosas permite disminuir los costos de fertilización en aproximadamente 5 veces, según el cultivo en tratamiento.

En Brasil la producción de inoculantes para leguminosas constituye la base de su producción agrícola. En Venezuela, esta biotecnología se inició en 1977 en el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), iniciando la producción del inoculante "Nitrobac" en el Laboratorio de Rhizobiología a nivel de planta piloto, la cual para 1988 tenía una capacidad instalada que permitía producir de 5.000 a 110.000 bolsas de inoculantes por año con posibilidades de aumentar esa producción. Debido a su eficiente producción se ha establecido un acuerdo donde la tecnología participa en "joint venture" dentro de un acuerdo privado comercial que garantizará su desarrollo.

La alternativa de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) ha sido seleccionada como uno de los 10 procesos microbiológicos de mayor importancia y potencial mundial para lograr el mejoramiento económico y social de los países en desarrollo (STRIBLEY, 1989; POSTGATE, 1990).

5.4 Elaboración de "kits" de diagnóstico rápido

En América Latina y el Caribe se desarrolló un proyecto regional de biotecnología auspiciado por PNUD-UNIDO-UNESCO con participación de instituciones de biotecnología de Argentina, Colombia, Costa Rica, Uruguay y Venezuela para la producción de sondas y anticuerpos, poli y monoclonales, para identificar enfermedades por virus en cultivos de importancia económica, con la finalidad de unificar un sistema de diagnóstico óptimo. De esta manera se produjeron: sondas para los virus del enrollamiento de la papa (PLRV), tristeza de los cítricos (CTV) y el mosaico dorado del frijol (BGMV); anticuerpos policlonales para el virus X de la papa (PVX), Y de la papa, y el rugoso del frijol (BRMV); y anticuerpos monoclonales para el virus del rayado fino del maíz (MRFV), para cepas de Costa Rica y Venezuela. Los productos obtenidos fueron de excelente calidad y están siendo utilizados en los sistemas de diagnóstico para las respectivas virosis en la Región. Estos métodos permiten obtener "kits" de diagnóstico utilizables en condiciones de campo en apoyo a programas de producción de semillas y selección de plantas sanas. Estas tecnologías deben ser parte de los importantes desarrollos de la fruticultura de exportación en países como Chile y Colombia donde, producto de la propagación clonal por estacas e injertos asociado a la presencia de otros

vectores eficaces, las enfermedades por virus se declaran en forma explosiva. La presencia de síntomas virales no sólo disminuye el rendimiento y la calidad sino que afecta, por restricciones cuarentenarias, el acceso a los mercados. El saneamiento a través de micropropagación de meristemas de plantas tratadas por termoterapia asociados a criterios o pruebas de "indexing" por presencia de virus, debe ser incorporado a la activa industria de propagación (viveros) para prever y/o controlar estas situaciones adversas.

5.5 Biotecnología animal

La alteración genética de animales superiores y especialmente mamíferos, con el objetivo de mejorar e incrementar la producción de alimentos, es otra área en la cual se anticipan importantes contribuciones de la biotecnología. El mejoramiento de la masa ganadera puede incluir el aumento de la eficiencia de las fuentes de alimentos animales; una mejor fertilidad y eficiencia productiva; aumento de la producción de huevos y leche; mayor resistencia a las enfermedades; mayor tasa de crecimiento, e incrementos en calidad de los productos animales (leche).

Existen dos tecnologías que pueden beneficiar directamente a la ganadería de América Latina y el Caribe: la inseminación artificial, intensivamente utilizada en algunos países, y la transferencia de embriones. La primera técnica implica un mejoramiento a través de semen de machos seleccionados al utilizar hembras receptoras artificialmente inseminadas. Meses después de haber realizado la inseminación, tenemos un "solo" animal que ha nacido con esta técnica producto de cada combinación genómica machos x hembra.

Por el contrario, la transferencia de embriones implica no solamente utilizar un buen "padre" como progenitor sino también seleccionar una "madre" de excelentes registros, hacerla superovular, inseminar, recolectar varios "embriones" e implantarlos en animales hembras que sirvan como vientres "nurses". Meses después de cada combinación genómica tendremos "varios" animales que han nacido a través de esta técnica, obteniendo provecho de ambos progenitores. Estas nuevas técnicas ya están en uso en varios países y hay un decidido apoyo de varios grupos de investigadores en aplicarlas a la ganadería tradicional de América Latina, donde se destacan los auquénidos, que hasta hace poco estaban en peligro de extinción.

5.5.1 Biotecnología acuícola

Un caso exitoso de apropiación de biotecnología en acuicultura lo constituye la regulación y reversión del sexo en poblaciones de salmones y truchas "arco iris". La producción de hembras revertidas al sexo masculino en base a tratamiento hormonal con el objetivo de aumentar los rendimientos de carne, sin aumentar los costos, puede fortalecer

miniempresas agrícolas, contándose con antecedentes experimentados en la Universidad Católica de Temuco, Chile.

6. IMPLEMENTACION DE LA BIOTECNOLOGIA "APROPIABLE" EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

A corto plazo, la implementación de las biotecnologías "apropiables" en los países en desarrollo se concretarán en unidades de cultivo de tejidos vegetales (en todas sus variantes); control biológico; diagnóstico fitopatológico y conservación de germoplasma. A largo plazo se visualiza la ingeniería genética para obtener plantas mejoradas con mayor resistencia a las enfermedades, al ataque de insectos, a estreses abióticos, y en general mejor adaptación al medio donde se desarrollan y la genética molecular para asistir a los programas de mejoramiento por características de productividad y calidad reguladas por herencias cuantitativas.

Tecnologías de cultivo de tejidos vegetales: a) cultivo de meristemas para obtener y micropropagar plantas libres de virus; b) multiplicación de partes de plantas (vástagos, raíces, hojas que pueden desarrollar plantas completas; c) multiplicación a través de tejido caulinar (callo) y/o mediante embriogénesis somática; d) cultivo de callos en medios especiales para obtener y seleccionar plantas tolerantes a sales, herbicidas, suelos ácidos o alcalinos; e) obtención de plantas haploides para producir plantas homocigotas, f) el rescate de embriones sexuales producto de cruzamiento interespecífico o intervarietales; y g) variación somaclonal, variación en el genoma que ocurren espontáneamente al cultivar células del callo (con o sin sustancias mutagénicas) y que son causadas por rearrreglos cromosómicos que pueden ser fuente de nuevas variedades con características deseables.

La implementación de las unidades debe tener en cuenta la existencia de una demanda o la posibilidad de desarrollarla, de productos "bío" por parte del pequeño o mediano productor. En ello, la escala y rentabilidad de las unidades, junto con la tecnología, son básicos para la adecuación de estas técnicas en la producción agrícola.

6.1 Escala de las unidades de cultivo de tejidos

La unidad propuesta y generalizada consiste, en todos los casos, de un área de cultivo de tejidos y un invernadero de propagación. El laboratorio debería contar con: a) área de lavado y preparación de medios, b) área de cultivo, para mantenimiento de los cultivos en condiciones ambientales que varían con el tipo de cultivo (en un cuarto de 18 a 20 m² se pueden producir 20.000 plantas), y c) un cuarto de transferencia, (que puede también ubicarse en el área de

preparación de medios, de acuerdo al espacio disponible). El área de invernadero de propagación debe ubicarse cerca del laboratorio y el tamaño depende de los objetivos del programa. En general para la recepción de 15.000 plántulas un área de 300 m² sería suficiente. En el invernadero se realizarán los trabajos de siembra, endurecimiento, propagación y maduración del material vegetal *in vitro* previo a transferirlos al campo (CAF, 1991 a). En general en este tipo de laboratorio, el proceso de producción comprende: a) cultivo *in vitro* (selección de plantas, tratamiento fitosanitario de las mismas; cultivo de meristemas, plantas madres para el proceso masivo de micropropagación) y b) producción (multiplicación masiva de secciones de las plantas madres). El rango de propagación depende de la especie y oscila entre 1:5 a 1:15. En un mismo cultivo el rango de propagación varía según el balance de reguladores del crecimiento en el medio de cultivo. El número de ciclos de propagación y el intervalo entre cada ciclo depende de la especie y la estación del año.

La rentabilidad de una unidad de uso múltiple depende de aspectos técnicos, económicos, financieros, administrativos e institucionales. Las posibilidades de colocación del producto en el mercado, la localización geográfica, el tamaño, el nivel de tecnologías que se van a desarrollar, las instalaciones requeridas, los materiales y equipos, los aspectos organizativos del trabajo, los estudios económicos para determinar la inversión total requerida, los costos de operación, ingresos y puntos de equilibrio, estudios financieros, plan de financiamiento, proyecciones financieras, tasa interna de retorno, valor neto presente y período de recuperación de la inversión son elementos básicos para la decisión de la implementación de la unidad (CAF, 1991 b).

Costo de la semilla de papa obtenida por microtubérculos. El cálculo de los costos para una unidad de producción de 5000 microtubérculos por ciclo en Venezuela comprende siembra de microtubérculos en semilleros (62 microtubérculos/m²), detección de virus y siembra de los tubérculos a campo (500.000 tubérculos/hectárea). La semilla prebásica producida tiene un costo de Bs. 780, la semilla elite I de Bs. 225 y la semilla elite II Bs. 170 por huacal. El costo de producción de macrotubérculos se recupera después de la segunda generación en el campo. El costo de producción del material elite II es inferior al de la semilla certificada importada en el país.

Un ejemplo de este tipo aplicado a la producción de cultivos múltiples es la empresa BIOSAN, San Felipe, Venezuela, que fue creada para producir plantas y semillas de importancia económica (LUCAS, 1991). La biofábrica tiene una capacidad instalada de tres millones anuales de plántulas de diferentes cultivos: caña de azúcar, ornamentales, cambur, papa, batata y ajo. La caña de azúcar y las ornamentales son transferidas a un vivero con capacidad de producción de diez millones de plantas. Otros rubros (papa, batata) son desarrolladas en viveros externos al proyecto. La forma en que se plantea el desarrollo del programa es utilizando 1/3 de la capacidad del laboratorio en el primer año, incrementando 1/3 en el segundo año, hasta cubrir su necesidad física en el tercer año. La producción está planificada de la siguiente forma: flores 315.000 esquejes claveles, "Pompón" y crisantemos; musáceas, 500.000 plántulas; papa y batata, 175.000 plántulas necesarias para producir 20.000 TM de semillas certificadas; ajo, 10.000 plántulas para viveros satélites que por propagación a campo producirán semilla certificada necesaria para los cultivos; y caña de azúcar, 25.000 plántulas elites de variedades altamente productivas.

En la unidad se contemplan las técnicas de cultivos de tejidos relativas a cultivos de meristemas, micropropagación por yemas y esquejes y en algunos casos organogénesis; se pretende trabajar con plantas elites y acelerar su multiplicación masiva para obtención de propágulos de mejor calidad. El análisis financiero de este programa se basa en la venta de ornamentales en un 100% en el mercado nacional durante un período de 10 años. Se calculó también el costo de cada producto para la proyección de 10 años, considerando precios constantes para la materia prima. Se estimó el punto de equilibrio proyectado a 10 años, como un porcentaje de las unidades de producción respecto a la producción en su máxima capacidad y en base a la estructura de costos de producción. El estado de ganancias y pérdidas se determinó calculando el volumen de ingresos netos, monto que disminuye con los costos de producción, gastos de administración y venta, y gastos financieros, arrojando una utilidad neta de EE.UU.\$ 145.508 por año. El margen neto de ganancia proyectado presenta una secuencia incremental hasta alcanzar un máximo de 49,48% al tercer año. El flujo de caja considera un saldo positivo, con tendencia creciente, que permitiría la recuperación del capital total invertido en 1 año y cinco meses. La tasa interna del proyecto (sin considerar préstamo) fue calculada en un 62,62%, lo cual representa amplias posibilidades financieras del mencionado proyecto.

6.2 Fuentes de tecnología y desarrollo

Existen en América Latina y el Caribe programas internacionales (CIP, CIAT, CATIE, CIMMYT) establecidos por largo tiempo que cuentan con unidades de biotecnología, en los cuales se hacen estudios de propagación y mejoramiento genético de plantas de cultivos.

En Centroamérica, el Centro de Agronomía Tropical de Investigación y Enseñanza, (CATIE) realiza estudios de mejoramiento y producción en escala sobre 3 cultivos principalmente: café, cacao y banano (IPBNet, 1991). En el caso del café el objetivo es producir variedades resistentes a plagas y enfermedades. En estos proyectos se ha usado la micropropagación para la multiplicación de genotipos superiores. Desde 1986 la Unidad de Biotecnología ha producido cien mil plantas de café, de las cuales sesenta mil se han enviado a países de Centroamérica para pruebas de campo (CATIE, Proceedings of the First Conf. 1991). Se analiza la posibilidad de estudiar la embriogénesis somática como método de propagación clonal para este cultivo. En el caso del banano se estudia la obtención de clones resistentes a sigatoka negra y se ha desarrollado la micropropagación por yemas de genotipos que presentan resistencia o tolerancia al hongo. En cacao se desarrollan métodos de micropropagación útiles en la selección y propagación de genotipos más eficientes, lo cual es de gran importancia para la industria del cacao. La embriogénesis somática del cacao, como método de propagación, está siendo estudiada en diversos centros de América Latina y el Caribe.

La unidad establecida por el Centro Internacional de la Papa de Perú (CIP) tiene como función básica incrementar la producción de papa y batata en los países en desarrollo (DODDS, 1988; DODDS y HORTON, 1989 y 1990). Los resultados obtenidos a través de la investigación básica y aplicada se derivan a la transferencia de tecnología e investigaciones colaborativas y entrenamientos que sirvan para capacitar a científicos de los países de la región andina (CAF, 1987). El CIP busca establecer mayor adaptación a condiciones de estrés y mayor productividad; por otra parte distribuye material genético sano a otros países. Esta institución desarrolla varias técnicas biotecnológicas aplicables a una amplia gama de cultivos andinos y para mejorar, en el caso de la papa, la calidad del producto:

- 1) Conservación del germoplasma *in vitro* (mantiene una colección de más de 3.500 accesiones de papa y más de 3.000 de batata).
- 2) Micropropagación: para i) producción de tubérculos-semillas (las plantas *in vitro* se remueven y se siembran en almácigos estériles, en invernadero o ambiente cubierto abrigado, la densidad de trasplante depende del genotipo y varía de 150 plantas/m², se cosechan los tubérculos a los 90 días, los tubérculos mayores de cinco gramos se plantan en el campo para aumentar la multiplicación, los de menos de cinco se plantan en almácigo para obtener semilla prebásica); ii) producción de plantas madres: se plantan individualmente y se utilizan en los métodos convencionales de propagación

rápida (esquejes de ramas laterales, esquejes de tallo juvenil y esquejes de tallo adulto); iii) producción de tubérculos *in vitro*; iv) conservación de germoplasma: las plántulas se colocan en medios con osmóticos que limitan el crecimiento y la transferencia a medio fresco se realiza cada 2 o 3 años.

3) Verificación de virus por ELISA y prueba Nash.

4) Ingeniería genética y biología molecular: la multiplicación se hace a partir de microtubérculos obtenidos *in vitro* y la microtuberización se induce en plantas obtenidas de tallo con 4 nudos, las plantas se cultivan en un medio con cloruro de colina.

El sector privado, en innumerables ocasiones y opciones, ha dado respuesta en la apropiación de biotecnologías apropiadas. Por ejemplo, una unidad o empresa de biotecnología que utiliza biotécnicas apropiables para la producción de *berries* (arándanos, *Vaccinium corymbosum* "high bush" y frambuesas *Rubus sp.*) es CULTIVITRO, empresa privada que surge en Chile como respuesta a la gran demanda de plantas de buena calidad sanitaria y genética en esta especie. La unidad consta de la adecuación como laboratorio de cultivo de tejidos de una casa habitación en el barrio de Macul, en la ciudad de Santiago de Chile. El laboratorio comprende salas de flujo de laminar, cultivo *in vitro*, y enraizamiento *in vitro* para más de 15 variedades de arándanos. Esta empresa ha colocado con buen éxito en el mercado nacional una abundante producción de plantas enraizadas de edades y tamaños variables. Existen productores en el sur de Chile que cuentan con importantes superficies instaladas del cultivo en producción con el total de las plantas obtenidas por micropropagación sin observarse heterogeneidad u otros problemas derivados de cultivo *in vitro*. La producción total se destina a la exportación a EE.UU., de mantenerse los precios favorables internacionales ésta y otras empresas podrían seguir activas como unidades de biotecnología apropiada.

A nivel de los cultivos industriales, las necesidades son también amplias. Por ejemplo, la forma tradicional de conservación de variedades de caña de azúcar es mediante colecciones en campo, pero tanto la erosión genética como los inconvenientes de estar expuestas a las inclemencias ambientales, hacen que este método, además de costoso, resulte poco seguro. Con el desarrollo de la biotecnología y el surgimiento del cultivo de tejidos, una alternativa a los métodos tradicionales lo constituye el establecimiento de colecciones *in vitro*. Sin embargo, la transferencia obligada de los cultivos a medio fresco de forma regular presenta una sobrecarga de trabajo, aumento de los riesgos de contaminación y peligro de variación somaclonal inducido por el cultivo de tejido prolongado. Por tal razón, se impone el desarrollo de técnicas seguras que garanticen la conservación por largos períodos.

Propágulos de sanidad controlada de yuca. Otro ejemplo concreto es una unidad establecida en Venezuela para aumentar la productividad de la yuca (usando material genético a partir de plantas producidas *in vitro*) y la producción de semillas certificadas de papa (a partir de microtubérculos producidos en el laboratorio y multiplicados bajo condiciones controladas). En yuca se analizó el costo de producción de 1 planta *in vitro* utilizando el método de propagación por microesquejes en tubos de ensayo a partir de plantas sanas obtenidas en el laboratorio a través de meristemas de estacas sometidas a quimioterapia y termoterapia. Cada planta desarrollada por un período de cuatro a cinco semanas produce además de la yema apical unos cuatro a cinco esquejes, los cuales sembrados en medio adecuado producen plantas capaces de crecer en invernadero. En el análisis de costo, se calculó el costo anual de la inversión, considerando un plazo de amortización de 15 años, y un interés anual de 30% y con un número de 4 unidades de siembra, un tiempo de retorno de 15 años, un cambio de dólar de Bs. 50 (actualmente es de 61), un costo de financiamiento anual de Bs. 6.212.551, una producción de 234.192 plantas por año, concluyéndose en un costo de una planta de Bs. 27 (EE.UU.\$ 0,54). Estas 234.192 plantas en condiciones ideales podrían alcanzar a cubrir una producción de material de siembra de 26.765 hectáreas. En el caso de la yuca, se puede también producir material de siembra convencional a partir de plantas *in vitro*, utilizando una etapa de multiplicación acelerada en semilleros, proceso que toma un período de 18 meses y la eficiencia para alcanzar las metas es de un 71,4%. Se concluye que las facilidades de laboratorio que se requieren para un programa de yuca son reducidas debido al bajo número de plantas *in vitro* requeridas por área de siembra con la adición de multiplicación acelerada en vivero que reducen aún más los costos del material de siembra.

En el curso de un Proyecto de Cooperación Técnica (TCP/CB/0056), auspiciado por la FAO, fue posible que investigadores del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) de Cuba, desarrollaran técnicas iniciadas por el Instituto Francés de Investigaciones Científicas para el Desarrollo de la Cooperación (ORSTOM), radicado en Montpellier y lograron en colaboración conjunta, la crioconservación (almacenaje en nitrógeno líquido - 196°C) del tejido meristemático del ápice de la caña de azúcar. Es conocido que el meristema apical de las plantas mantiene la estabilidad genética con el uso de las técnicas *in vitro* y que la crioconservación es el único método factible en la actualidad para el almacenaje a largo plazo de germoplasma vegetal. Sin embargo, hasta el presente, no se habían obtenido resultados positivos con el empleo de los métodos convencionales en este tejido de la caña de azúcar y sólo la aplicación de una técnica novedosa de encapsulamiento/deshidratación basada en la tecnología de la semilla artificial aseguró el éxito de los experimentos. Se partió de plantas *in vitro* subcultivadas en medio sólido con alta concentración de sacarosa. El tejido explantado bajo un estereomicroscopio en condiciones asépticas se encapsula en medio de nutrientes, conteniendo alginato al 3% se somete a una deshidratación parcial en medio líquido suplementado con sacarosa (0,75 M) por 24 h, y se continúa deshidratando bajo la incidencia

del aire estéril, en un gabinete de flujo laminar por 4-6 h antes de la inmersión y conservación en nitrógeno líquido. La sobrevivencia del tejido después de la criopreservación en 6 variedades diferentes osciló entre un 25%-90%. Las plantas regeneradas se han propagado con facilidad y constituyen una segunda generación *in vitro*. Este logro científico permite la creación del primer banco de germoplasma criopreservado de caña de azúcar, cultivo de mayor importancia económica en Cuba. En un futuro, podrá hacerse extensivo a otras especies y formas *in vitro*.

7. IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGIA EN LOS RECURSOS

Las biotecnologías que están siendo desarrolladas en los países industrializados no son necesariamente las más relevantes a los problemas de seguridad alimentaria o sostenibilidad que enfrentan los países menos avanzados. Estudios, investigaciones y otras iniciativas a nivel internacional que utilizan germoplasma originado en los países en desarrollo tienen la ventaja obvia de facilitar su pronta adaptación a las condiciones locales agroecológicas y al mismo tiempo preservar los recursos genéticos a través de una biotecnología más "apropiada" (BRENNER y KOMEN, 1994).

Frecuentemente, en los países de América Latina y el Caribe, el avance hacia la modernidad ha significado un gran impacto y grave deterioro en sus recursos naturales renovables y no renovables. La pérdida de sus numerosos sistemas forestales, la pesca indiscriminada, la erosión de suelos agrícolas y de sus riquezas genéticas vegetales, son algunos malos ejemplos del legado de la historia. Alternativamente, la biotecnología puede y debe transformarse en una herramienta útil, productiva, limpia y "apropiable" que asegure el porvenir de las futuras generaciones.

La biotecnología, a diferencia de otras tecnologías, tal como lo ha sido la Revolución Verde, presenta versatilidad y factibilidad para su apropiación productiva sin comprometer el desgaste de los recursos naturales. Por el contrario, algunas técnicas pueden potenciar sosteniblemente lo que la naturaleza y la evolución han creado para la Región y permitir mantener, explotar y potenciar nuestro germoplasma para la obtención de nuevas variedades. Mejores forrajes permitirían por ejemplo sostener la ganadería tradicional del altiplano, una mejor conservación de especies en extinción y la explotación de animales como los auquénidos.

Desafíos en el sector agrícola:

- *aumentar la productividad de la tierra,*
- *reducir el uso de sustancias químicas tóxicas y aumentar la utilización de métodos biológicos,*
- *conservar recursos naturales,*
- *disminuir la pérdida de suelo por erosión,*
- *aumentar el área de reforestación,*
- *sacar de la marginalidad a sectores definidos,*
- *incrementar la superficie de parques naturales y áreas protegidas para especies silvestres endémicas en extinción.*

Una de las más excitantes y prometedoras posibilidades de la biotecnología es disminuir el requerimiento de insumos químicos para la agricultura. Nuevas herramientas para mejorar genéticamente numerosas especies de cultivos y o forrajes por su calidad, rendimiento y/o resistencia a limitantes bióticas y abióticas pueden ser visualizadas a mediano plazo (IZQUIERDO, 1989, 1993). Dentro de este contexto, por ejemplo, el valor nutritivo de las

plantas forrajeras puede ser modificado a través del uso de estrategias de biología molecular y cultivos *in vitro*. La expresión en plantas de genes codificando proteínas con alto contenido de aminoácidos azufrados y que presenten resistencia a la degradación ruminal, aparece como un modelo posible para mejorar la dieta de los rumiantes. En estos animales son importantes los fenómenos de inmovilización temporal de nutrientes (especialmente el nitrógeno) por la microflora ruminal y las pérdidas por eructación. La relación entre proteínas degradadas en el rumen y las que son resistentes y luego hidrolizadas y absorbidas posteriormente en el tracto digestivo, se ha señalado como un importante aspecto de la nutrición de los rumiantes. Una idea propuesta recientemente es el uso de proteínas sobrepasantes de alto valor biológico, que realiza un "by-pass" del rumen para poder ser procesadas directamente en el abomaso. Numerosas proteínas candidatas a cumplir con estas características pueden estar hoy presentes en el germoplasma regional. Este podría ser el caso de las proteínas de semilla de la nuez del Brasil (*Betholletia excelsa* H.B.K.) que contienen un alto porcentaje en peso de metionina y cisteína (PAGLIANO, 1992).

7.1 Riesgo ambiental reducido

Las biotecnologías agrícolas abren nuevas expectativas en promover una menor dependencia del uso de pesticidas para la protección vegetal. Plantas transgénicas resistentes a los fitopatógenos más importantes y el uso de microorganismos seleccionados para biocontrol deberían reducir el riesgo de contaminar cosechas, suelos y agua con pesticidas.

La Región enfrenta dificultades ambientales y el deterioro de sus sistemas naturales, y se argumenta que la biotecnología puede proporcionar alternativas productivas para interrumpir el alto costo que se está pagando por la calidad de vida en algunas ciudades y comunidades. En tales situaciones, el tratamiento "productivo" de residuos industriales para producir energía; "la descon-taminación" de aguas superficiales; la replantación forestal con especies nativas; el uso de fertilizantes

Una evidencia indirecta del efecto de la reducción de productos contaminantes se puede obtener de observaciones biológicas realizadas sobre datos de vida silvestre entregados por el Centro de Control de Enfermedades de Atlanta (EE.UU.), quien documenta y asocia el aumento de ciertas poblaciones de aves depredadoras con la prohibición de usar el DDT (NUTTER, 1991).

biológicos; la peletización de semillas con inoculantes para controlar enfermedades o fijar nitrógeno; la aplicación de pesticidas biológicos para controlar insectos y enfermedades; plantas transgénicas resistentes a enfermedades, tolerantes a insectos y a estreses abióticos, constituyen ejemplos de biotecnologías apropiables proyectadas al futuro sin comprometer el medio ambiente, factibles técnicamente, aceptables culturalmente y posibles económicamente en el entorno social y productivo de la Región. El mejoramiento de las capacidades científicas

debe continuar acompañado de la formulación y promulgación de políticas de promoción de un entorno productivo industrial donde la biotecnología sea aplicada congruentemente con las necesidades de actividades de base tecnológica (JAFTE y TRIGO, 1994).

7.2 Los problemas del trabajo biotecnológico

Numerosos grupos ambientalistas han promovido a través de los medios de comunicación y en numerosos círculos de profesionales, políticos, gobernantes, agricultores y empresariales detracciones sobre los alcances y peligros que puede significar la liberación en el medio ambiente de plantas, animales y microorganismos cuyo sistema genético ha sido manipulado o modificado. La obtención y liberación de seres vivos transgénicos debe estar condicionada a factores éticos, morales y administrativos. Principalmente los riesgos se presentan y se hacen evidentes cuando personal no calificado realiza prácticas indebidas o que no son comprendidas en su real dimensión. Al igual que industrias que elaboran productos esenciales para la comunidad, su posible acción de contaminación, a la larga causa más daño de lo que aporta su desarrollo productivo. Esta verdadera paradoja se provoca por "el desconocimiento" que tienen numerosos profesionales y técnicos sobre los efectos de los contaminantes al medio ambiente. Algo análogo puede producirse al intervenir científicos no calificados en biotecnología.

Si el trabajo, la investigación y el desarrollo de nuevos productos no es realizado, controlado y autorizado por expertos en biotecnología, se corren riesgos. Estos riesgos se maximizan especialmente en relación al manejo de microorganismos transgénicos liberados del medio ambiente, los cuales deben estar debidamente probados y autorizados para su uso y producción comercial. El peligro potencial de organismos transgénicos, los cuales pueden "expresar" características negativas o indeseables además de las beneficiosas implantadas, debe ser considerado.

7.2.1 Bioseguridad

Existe genuina preocupación por los posibles efectos que pueden tener organismos modificados genéticamente hacia el medio ambiente, las plantas, los animales y los seres humanos y hasta ahora nadie puede garantizar la seguridad de los organismos genéticamente modificados en el medio ambiente (KELLER, 1988). El tema ha sido abordado constantemente por numerosos científicos y organismos internacionales y considerado inicialmente en las leyes sanitarias de los países y los convenios inter-nacionales que regulan el comercio y movimiento de productos o animales vivos y plantas. El resultado de los ensayos con individuos modificados por la ingeniería genética ha alentado, en los últimos tres años, la investigación y la inversión económica principalmente del sector privado. La liberación de plantas transgénicas al medio ambiente superó hasta 1992 los 500 ensayos experimentales en parcelas que ocuparon desde varios metros cuadrados hasta más de 500 hectáreas, como es el caso del tabaco en China, mientras que los permisos para liberaciones a campo de plantas transgénicas aprobados solamente en los países de la OECD superaron a los 1.200 durante el período 1986-1992 (OECD, París 1992 citado por BRENNER y KOMEN, 1994). Los resultados de las pruebas de campo han demostrado experimentalmente que los riesgos en el uso de plantas transgénicas son relativamente bajos, si se comparan con los beneficios esperados (disminuir el uso de pesticidas, sustituir las variedades susceptibles, disminuir costos de producción, etc.) (VILLALOBOS, 1993).

En esta temática, en todo trabajo de investigación debe existir una dirección técnica ejercida por personal entrenado y educado en el área biotecnológica. Los que dirigen este tipo de programa deben ser designados por sus capacidades científicas y curriculum por sobre otras consideraciones. Los laboratorios deben contar con un mínimo de facilidades para evitar accidentes biológicos y los ensayos que se realicen a nivel de campo deben contar con la autorización respectiva de las autoridades pertinentes.

Los países de la CE podrían variar sus políticas para la liberación de plantas transgénicas en base a los resultados de ensayos con variedades de colza transgénicas por resistencia al herbicida glufosinato-amonio en Dinamarca. Un significativo cruzamiento con colzas silvestres fue detectado obteniéndose progenies resistentes al herbicida (LT Journal, Asociación de Ingenieros Agrónomos de Los Países Bajos, 3 de noviembre de 1994).

El desarrollo de inoculantes biológicos utilizando microorganismos modificados genéticamente y la creación y liberación de plantas o animales transgénicos deben comenzar en cámaras de ambiente controlado de estricto confinamiento. Posteriormente, en condiciones semicontroladas en invernaderos y finalmente en exhaustivos ensayos de campo, la bioseguridad debe ser regulada y demostrada caso a caso.

El criterio de cuarentena debe ser aplicado a las plantas transgénicas y los Ministerios de Agricultura deberían tener lugares específicos para evaluar estas nuevas variedades de

plantas antes de ser entregadas para uso comercial. Es importante hacer notar que la autoridad fiscalizadora debe hacer estos procesos más expeditos y claros, y no transformándose en una entidad burocrática.

En 1988, el IICA, la OEA, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), y la Oficina Internacional de Epizootias (OIE) prepararon y publicaron las "Guías para el Uso y la Seguridad de las Técnicas de Ingeniería Genética o Tecnología del ADN Recombinante" (IICA, 1988 b). Igualmente en el año 1991, la OEA a través del IICA publicó las "Guías para la Liberación en el Medio Ambiente de Organismos Modificados Genéticamente" (IICA, 1991 b).

7.2.2 Etica y moralidad de la biotecnología apropiable

"Ciencia sin conciencia es la muerte del alma" (Peter Abelard, filósofo francés).

No existen respuestas simples a los enfoques, críticas y preguntas que se suscitan en relación a los aspectos morales y éticos de la biotecnología. En torno a ella, en los últimos años se ha generado preocupación y un ambiente de rechazo o reflexiva respuesta, contrastado por un positivismo científico (STRANGHAN, 1992). Las diferentes aplicaciones de la biotecnología tienen necesidad de enfoques separados y específicos. Reclamos referentes a la manipulación genética de animales, utilizando genes de distintos orígenes, e inclusive ingeniería genética de plantas han sido manifestados por grupos ambientalistas, a la fecha, sin bases científicas que los ratifiquen. Ciencia y ética deberían continuar analizando conjuntamente el avance técnico dentro del contexto social y moral. Los miedos a una falta ética o a impactos negativos sociales deben ser revisados considerando lo que "es" o "no es" moralmente cuestionable acerca de la manipulación genética frente al patentamiento biotecnológico o no de formas de vida.

La biotecnología apropiable no escapa a las consideraciones morales y éticas, dado que debe insertarse en la comunidad y ser expuesta, más que otras formas de desarrollo, al roce social, integradamente y respetando y articulando el "know how" de las nuevas técnicas con la lógica empírica de los campesinos.

8. CONCLUSIONES

En los últimos 40 años nuevas, importantes y poderosas biotecnologías basadas en notables avances en el campo de la biología molecular han impactado en forma trascendental las posibilidades de inferir y manipular las características heredables de las plantas, animales y microorganismos.

Frente a estas nuevas transformaciones, se torna apremiante la generación de estrategias alternativas y diversificadas para los pequeños y medianos productores agrícolas de América Latina y el Caribe, las cuales deben contemplar mecanismos e instrumentos para objetivos y metas específicas, dirigidas al fortalecimiento de sistemas productivos continuos y sustentados en tecnologías biológicas. Esfuerzos categóricos deben promover que las nuevas biotecnologías sean "apropiadas" a sectores marginales, dado que en el momento en que una biotecnología traspasa los umbrales del laboratorio y llega a los usuarios, ya podemos constatar su impacto. La verificación de que ha sido tomada por un grupo productivo particular cumpliendo con requisitos de viabilidad económica, factibilidad tecnológica, aceptación cultural e inocuidad ambiental, permite sólo entonces hablar de una "apropiación".

Debe existir una racionalidad en la distribución de los recursos, armonización de actividades y un decidido apoyo a la calidad científico-académica, puesto que se corre el riesgo de estancar el ímpetu que ahora se observa en la Región de América Latina y el Caribe en torno a la biotecnología.

Hay una genuina preocupación por los posibles alcances o efectos ambientales que puede tener la liberación de organismos modificados genéticamente y aunque nadie pueda garantizar la seguridad de en el medio ambiente, se aprecia que el tema es abordado constantemente por científicos, organismos internacionales y empresas comerciales con programas en biotecnología. A la fecha, numerosas y extensivas pruebas han demostrado que las aprensiones iniciales eran exageradas, dando paso a un "consciente" optimismo que debe ser regulando considerando aspectos morales y éticos de la biotecnología.

Una agricultura sostenible requiere de un sistema que permita el uso adecuado y racional de la tierra a través de una tecnología "apropiada", lo cual ayuda a establecer una producción continua. Esto implica a su vez una rotación adecuada de los cultivos y la preservación de la productividad del suelo.

Es recomendable desarrollar un sistema que compense la escasez de nutrientes en algunos suelos, desarrollando un patrón de cultivos diversificado y una fertilización permanente del suelo. Especialmente en los países de la Región, donde los períodos de vegetación son casi ininterrumpidos, se deben crear sistemas más versátiles de cultivos.

*Este documento pretende orientar a los involucrados en la toma de decisiones ya sean de políticas, de investigación o de inversión dirigidas a fortalecer el desarrollo de programas biotecnológicos "apropiables" en la Región. Estas decisiones se deben hacer **ahora**, lo que significa adelantarse en la toma de decisiones y evitar implantar programas imitadores de los "éxitos" obtenidos en los países industrializados. Algunas consideraciones y predicciones se adelantan:*

- a) Seleccionar inteligentemente líneas de investigación y desarrollo en biotecnología de acuerdo a problemas sectoriales, considerando su impacto ambiental.*
- b) Concentrar esfuerzos humanos y tecnológicos en forma armónica y descentralizada para que enfrenten las necesidades del campesinado en su propio sector.*
- c) Orientar los programas biotecnológicos hacia la sustitución de insumos importados, proveer la generación de productos (variedades, sistemas de diagnóstico y procesos) y re-orientar la productividad campesina hacia la exportación.*
- d) Integrar regionalmente los esfuerzos e inversiones en biotecnología en programas donde se incluyan la formación de recursos humanos y la asistencia técnica recíproca.*
- e) Identificar formas, mecanismos y acciones de manera de orientar a los investigadores, universidades y empresas para que integren acciones conjuntas en biotecnología.*

La adquisición de fertilizantes, herbicidas y pesticidas en general en estas regiones se dificulta y es muy costosa, debido a que generalmente son importados, por lo que es importante tomar en cuenta las alternativas del uso de inoculantes para leguminosas que permita la fijación de nitrógeno con el fin de disminuir costos de fertilización, y la selección de variedades con características de resistencia a factores bióticos y abióticos.

Es necesario mejorar el manejo de suelos y tomar especial consideración en el incremento de la eficiencia de los insumos que se usan, en la incorporación de biofertilizantes y de materia orgánica bajo la condición de descomposición permanente, y en el acortamiento de los períodos de siembra y cosecha.

La extensión de la frontera agrícola en los países latinoamericanos y del Caribe presenta dificultades, porque requiere de la utilización de tierras marginales que implican estrés (sequía, salinidad, suelos pobres, temperaturas altas o bajas) al crecimiento y desarrollo de los cultivos. La adaptación o transformación genética de plantas aptas, autóctonas o introducidas cultivadas, para estas condiciones ambientales requiere de programas de mejoramiento eficientes, asistidos por métodos biotecnológicos.

Para lograr una producción estable, deben minimizarse las pérdidas en los cultivos debidas a plagas, enfermedades y malezas.

La biotecnología "apropiada" puede contribuir directamente al establecimiento de una agricultura sostenible, ya que la aplicación de sus diferentes metodologías, en los programas de mejoramiento, producción y/o protección de los cultivos, permite la incorporación de tecnologías más compatibles con el ambiente y las características tecnológicas del pequeño y mediano productor agrícola. Por otra parte, existen técnicas biotecnológicas que incrementan la disponibilidad de nutrientes en el suelo, y otras que permiten el diagnóstico rápido de patógenos en el campo y el control biológico de patógenos. Quizás las tecnologías especializadas (ingeniería genética, y mapeo de genes), no son rentables a corto plazo para América Latina y el Caribe, pero los frutos de esas tecnologías influirán en forma definitiva y beneficiosa a largo plazo en los programas de nuestro pequeño o medio agricultor, si son apropiadas a ese entorno productivo.

Aunque la biotecnología de plantas tiene gran potencial para contribuir sustantivamente en la agricultura, su impacto será más productivo cuando se combine con programas de mejoramiento convencional. La biotecnología por sí misma es raramente apropiada cuando es utilizada en aislamiento. Ella depende de una alta utilización y efectividad de los recursos en los programas de mejoramiento; del "know-how" para la manipulación de características cuantitativas (mapeo genómico e ingeniería genética); de las técnicas y facilidades para la evaluación a campo; y de los canales de transferencia. El mejoramiento genético podría proseguir sin la biotecnología, pero para el aprovechamiento pleno de las ventajas que ofrece la nueva biotecnología, ésta debe ser integrada a un mejoramiento genético volcado a los usuarios finales.

9. BIBLIOGRAFIA

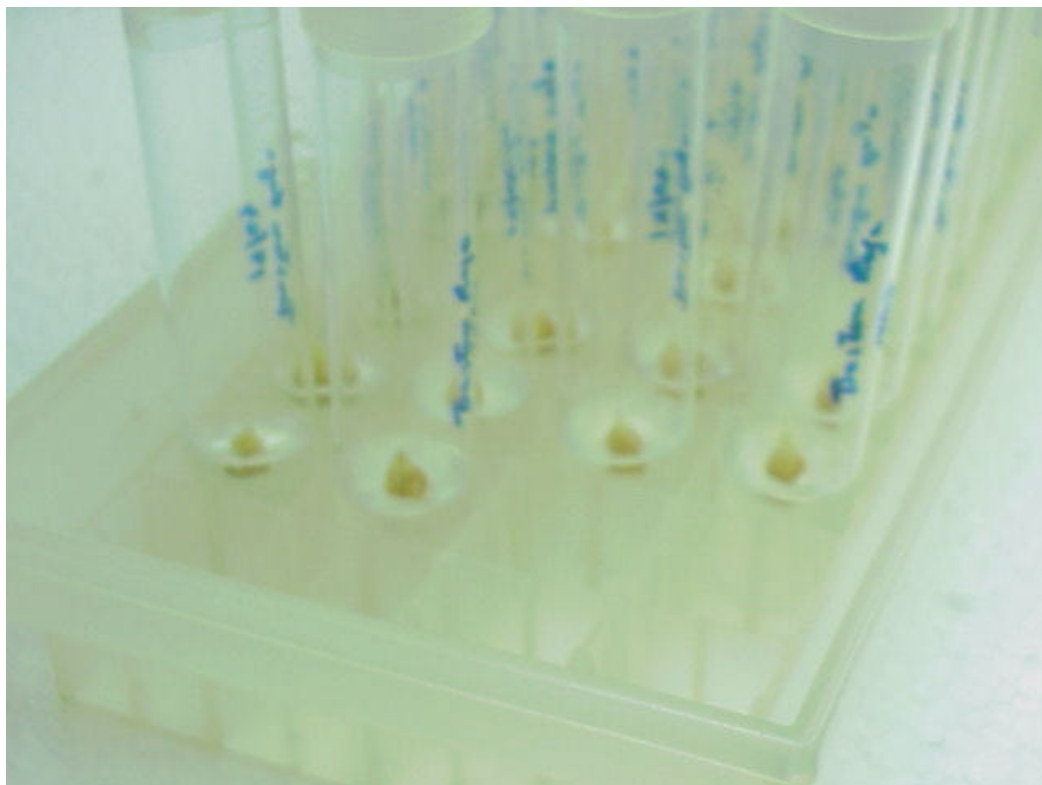
- ACEVEDO, R. y ARCIA, A. 1988. **Trichoderma** spp.: una alternativa de control biológico de hongos fitopatógenos del suelo. II simposio Nacional sobre Biotecnología. Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. pp. 51-59.
- ARCIA, R. 1990. Biotecnología y sus implicaciones en la producción agrícola de Venezuela. *Agronomía Tropical* 40(3): 4-6.
- BAKER, R. 1989. Improved **Trichoderma** spp. for Promoting Crop Productivity. *Trends in Biotechnology* 4(7): 34-38.
- BID. 1988. Progreso económico y social en América Latina. Informe 1988. Washington, USA, BID. pp 632.
- BRAVO, A y R. QUINTERO. 1993. Importancia y potencial del *Bacillus thuringiensis* en el control de plagas. FAO/RLAC/93/11 - REDBIO-04, ssp.
- BRENNER, C. y J. KOMEN. 1994. International initiatives in biotechnology for developing countries agriculture: promise and problems. OECD Development Centre, Technical papers Nr. 100, 60p. Paris.
- CEPAL-FAO (Comisión Económica para América Latina y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 1986. Agricultura Campesina en América Latina. División Agrícola Conjunta CEPAL/FAO. Santiago de Chile. 145 pp.
- CIAMPI, P., L. 1990. Actividades Fitopatológicas y Biotecnología. Proyecto CIID-UACH: Variedades Mejoradas para los Pequeños Agricultores. Informe Anual CIID-Canada. Universidad Austral de Chile, Instituto de Producción y Sanidad Vegetal. Valdivia, Chile.
- CONTRERAS, A. y L. CIAMPI. 1989. Mejoramiento de cultivos para pequeños agricultores. Informe Final 1985-89. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 99 pp.
- COOK, A.G. 1989. Patents as non-tariff trade barriers. *Trends in biotechnology*. 7(10): 258-263
- CORPORACION ANDINA DE FOMENTO (CAF). 1987. Programa para el desarrollo de la Biotecnología en el grupo andino. 43 p.
- CORPORACION ANDINA DE FOMENTO (CAF). 1991a. Unidad de micro-propagación para cultivos múltiples.
- CORPORACION ANDINA DE FOMENTO (CAF). 1991b. Guía para la determinación de rentabilidad de unidades de micropropagación para cultivos múltiples.
- COVA, L. 1988. Estrategia para comercializar material vegetal producido por cultivo *in vitro*. II Simposio Nacional sobre Biotecnología. Maracaibo, Venezuela. pp. 60-72.
- CTA/FAO. 1989. Plant biotechnologies for developing countries. Proceedings International Symposium, Luxembourg, June 1989 368p.
- DODDS, J. H. 1988. Biotechnological Techniques Applied to Potato and Sweet Potato Improvement for Developing Countries. Workshop Resource Papers. pp. 221-227.

- DODDS, J. H. y HORTON, D. 1989. Collaborative Biotechnology Networks in Developing Countries. The International Potato Center. Ag. Biotech. News and Information 2(6): 903-906.
- DODDS, J. H. y HORTON, D. 1990. Impact of Biotechnology on Potato Production in Developing Countries. Ag. Biotech. News and Information 2(3): 397-400.
- DUKE, S.O., J.J. MENN y J.R. PLIMMER. 1993. Challenges of pest control with enhanced toxicological and environmental safety. An overview. ACS Symposium series. Amer. Chemical Society. (524): p. 1-13
- FAO. 1989. Informe de la reunión de planeación sobre aplicación y desarrollo de Biotecnología apropiada en la producción de cultivos. 69pp.
- FAO. 1990. Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal (REDBIO) 47p.
- FAO. 1991. Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal (REDBIO). Carta Circular # 1 (Septiembre 1991).
- FAO. 1992. Informe XXII Conferencia Regional, Uruguay. 51p.
- FAO. 1993a La agro-biotecnología en América Latina y el Caribe. XXII Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. RLAC-LARC/92/4, 63p.
- FAO. 1993b. Hacia un Código Internacional de Conducta para la Biotecnología Vegetal en cuanto que afecta a la conservación y utilización de los recursos fitogenéticos. FAO/CPGR/93/9, 20p.
- FAO. 1994. International Code of Conduct on Plant Biotechnology as it affects the Conservation and Utilization of Plant Genetic Resources. Revised version of CPGR/93/9 Annex.
- FERCHAK, J. and S. RIBEIRO. 1992. Lab to land: Biotechnology for Sustainable Agriculture in Asia. I ANSAB Workshop, ATI, Washington.
- FRANCIS, Ch.A. 1991. Plant Breeding and Sustainable Agriculture Considerations for Objectives and Methods. CCSSA Special Publication No.18, 83-93.
- GALHARDI, R.M.M.A. 1992. Employment and income effects of biotechnology in Latin America: a speculative assesment. International Labour Office. mimeoph. 86p.
- GARCIA, E. de. 1986. El cultivo de tejidos vegetales. Una Biotecnología para la agricultura. En: Biotecnología, oportunidades para Venezuela. Caracas. Fondo Editorial Acta Científica. pp. 28-34.
- GARCIA, E. de. 1988 a. El cultivo de tejidos vegetales y el mejoramiento de la productividad de la caña de azúcar. II Simposio Nacional sobre Biotecnología. Maracaibo, Venezuela. pp. 12-22.
- GARCIA, E. de. 1988 a. Variaciones somaclonales, su aplicación en los estudios de mejoramiento de la caña de azúcar. En: Cultivo de tejidos vegetales aplicados a la producción agrícola. Villegas, L. (ed). pp 81-89.
- GARCIA, E. de. 1991. El impacto de la Biotecnología en la productividad agrícola. Ciencia al día 30(4): 44-46.
- GEORGHIOU, G.P. y A. LAGUNES-TEJADA. 1991. The occurrence of resistance to pesticides in Arthropods. FAO. FAPP/MISC/91-1, 318p. Rome.

- HAAS, M.J. 1984. Methods and applications of genetic engineering. *Food Technology* 38: 69-77.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA (IICA). 1988 a. La nueva Biotecnología en Agricultura y Salud. Serie Documentos de Programas. No. 7. San José, Costa Rica. 156 p.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA (IICA). 1988 b. Guías para el Uso y la Seguridad de las Técnicas de Ingeniería Genética o Tecnología del ADN Recombinante. Washington D.C., U.S.A. 151 p.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA (IICA). 1990. Biotecnología e industria. Un ensayo de interpretación teórica. 80p.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA (IICA). 1991 a. Análisis de impacto de las Biotecnologías en la agricultura, aspectos conceptuales y metodológicos. Jaffé, W. (ed). 186 p.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA (IICA). 1991 b. Guías para la Liberación en el Medio Ambiente de Organismos Modificados Genéticamente. San José, Costa Rica. 145 pp.
- IPBNet. 1991. Biotechnology for Tropical Crop Improvement in Latin America. Proceedings of the Fourth Conference of the International Plant Biotechnology Network. (IPBNet). San José, Costa Rica.
- IZQUIERDO, J. 1989. Biotecnología Apropriada. Oficial Regional de Producción Vegetal, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. 33pp (mimeo).
- IZQUIERDO, J. 1990. Situación actual de los laboratorios de biotecnología vegetal de América Latina y el Caribe. En: Catálogo Regional de Laboratorios de Biotecnología Vegetal: Encuesta Regional FAO/RLAC.
- IZQUIERDO, J. 1993. New varieties for sustainable agriculture: genetic improvement assisted by biotechnology. In: Seeds of Conflict: biodiversity and food security. US Nat. Comm. World Food Day. 1993.
- JAFFE, W. 1988. Diagnóstico de las agrobiotecnologías en América Central. En: Seminario Oportunidades de las Biotecnologías Agropecuarias en América Central. San Pedro Sula, Honduras, IICA. No.21-23.
- JAFFE, W. y E. TRIGO. 1994. La agrobiotecnología en América Latina y el Caribe: elementos para estrategias nacionales. *Comercio Exterior* Vol. 44 Nr. 7, 571-581, México.
- JAYNES, J., y J. DODDS. 1987. Synthetic genes make better potatoes. *New Scientist* 17: 62-64.
- JOHOW, V. Biotecnología: una revolución en la agricultura. Chile. *Hortofrutícola*. pp. 16-20.
- KEELER, K.H. 1988. Can we guarantee the safety of genetically engineered organisms in the environment? *CRC Critical Reviews in Biotechnology* 8: 85-97.

- KLOPPENBURG, J. 1993. Planetary patriots or sophisticated scoundrets? Biotechnology and Development. MONITOR N° 16, p. 24.
- KNUDSEN, H. 1991. Is appropriate Technology passé? Biotechnology and Development Monitor 8: 19-21.
- KNUDSON, M.K. y B.A. LARSON. 1989. A framework for examining technical change. Journal of Agricultural Economic Research 41(4):21-28.
- KOMARI, T. 1989. Transformation of callus cultures of nine plant species mediated by **Agrobacterium**. Plant Science 60: 223-229.
- LUCAS, G. 1991. Estudio de factibilidad técnico-económica para la instalación de la empresa “ Biotecnología San Felipe C. A.” (BIOSAN), para la producción de plantas y semillas de importancia económica (Venezuela).
- MARTIN, M.A. 1991. Socioeconomic aspects of agricultural biotechnology. Symposium Assessing the Effects of Agricultural Biotechnology. Phytopathology (81): 356-360.
- MEDLEY, T.L. 1992. Status of regulatory approval of biotechnology derived plants and animals. Critical reviews in food science and nutrition. 32(2):151-155
- NAS (National Academy of Sciences). 1982. Priorities in Biotechnology Research for International Development. Proceedings of a Workshop. National Academy Press. Washington, D.C. U.S.A. 261 pp.
- NAS (National Academy of Sciences). 1979. Microbial Processes: Promising Technologies for Developing Countries. National Academy Press. Washington, D.C. U.S.A. 198 pp.
- NUTTER, F.W. 1991. Assessing the benefits associated with planned introductions of genetically engineered organisms. Symposium Assessing the Effects of Agricultural Biotechnology. Phytopathology (81): 343-351.
- PAGLIANO, D. 1992. Aplicación de la biotecnología al mejoramiento del valor nutritivo de las pasturas. REDBIO C.C. #4
- POSTGATE, J. 1990. Fixing the Nitrogen Fixers. New Scientist. pp. 57-61.
- PRIOR, R. 1989. Biological pesticides for low external-input agriculture. Biocontrol News and Information (10) :17-22.
- QUINTERO, R. 1993. Prospectiva de las biotecnologías. IICA. Serie Documentos de Programas No.34. 162p.
- RADULOVICH, R. 1991. Desarrollo agrícola en el trópico latinoamericano. El caso del pequeño agricultor v/s la economía nacional. Interciencia 16(3): 125-130.
- REDENBAUGH, K. 1990. Application of Artificial Seed to Tropical Crops. Plant Genetics Inc. pp. 251-253.
- ROCA, W. 1990. Biotecnología: oportunidades para la investigación agrícola en América Latina. CIAT.
- ROCA, W.M., AMEZQUITA, M.C. y VILLALOBOS, V.M. 1986. Estado actual y perspectivas de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe. En: Memorias Seminario Internacional BID-CIAT. CIAT.

- RUIVENKAMP, G. 1992. Biotecnologías "a la medida": posibilidades de una evolución centrada en los agricultores. *Agricultura y Sociedad* No.64 (p 83-64).
- SASSON, A. 1987. *Biotechnologies: Present and Future, with Special Reference to Developing Countries*. *Sains Malaysiana* 16(3): 241-308.
- SCHEJTMAN, A. 1988. Campesinado y biotecnología. Notas para una reflexión. En: págs. 287-298, *Desarrollo Agrícola y Participación Campesina*. Naciones Unidas, Libros de la CEPAL No. 20, Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- SCHELL, J.S. 1987. Transgenic plants as tools to study the molecular organization of plant genes. *Science* 237: 1176-1182.
- SHAND, H. 1993. Control of cotton: the patenting of transgenic cotton. *RAFI Communiqué*, July-August. 8pp.
- SICARDI de MALLORCA, M. y WILLIAMS, P. 1986. Los inoculantes para leguminosas como alternativa al uso de fertilizantes químicos nitrogenados. En: *Biotecnología, oportunidades para Venezuela*. Caracas. Fondo Editorial Acta Científica. pp. 35-52.
- STRANGHAN, R. 1992. Ethic, morality and crop biotechnology. *ICI Seeds*, mimeoph. 41p.
- STRIBLEY, D. P. 1989. Present and Future Value of Mycorrhizal Inoculants. In: *Microbiological of Crop Plants*. Campbell, R. y Macdonal, R. M. IRL Press, Oxford. pp. 49-65.
- UNDP-BIORIO (United Nations Development Program y Fundación BIORIO). 1990. *La biotecnología Industrial en América Latina y el Caribe*. Simposio Rio de Janeiro, Bernardo Sorj, Organizador. 124 pp.
- VAECK, M., A. REYNAERTS, H. HOFTE, S. JANSSENS, M.DE BEUCKELEER, C. DEAN, M. ZABEAU, M. VAN MONTAGU y J. LEEMANS. 1987. Transgenic plants protected from insect attack. *Nature* 328: 33-37.
- VAYDA, M. y PARK, W. D. 1990. *The Molecular and Cellular Biology of the Potato*. CAB International. pp. 223-232.
- VILLALOBOS, V. 1993. El aporte de las biotecnologías al mejoramiento de los cultivos agrícolas, 8p. manusc., no publicado.
- WATSON I.A. 1979 The recognition and use of multilines of genes for specific resistance to rust. *Indian J. of Genetics and Pl. Breeding*. 39:50-59.



Cultivo in vitro de flores (Bastón del Remperador). Laboratorio Biotecnología. Estación Experimental La Joya. Bolivia. Foto: J. Izquierdo, Octubre 1999