

SP.  
Centro Interamericano de  
Documentación e  
Información Agrícola

14 NOV 1994

IICA - CIDI

IICA-CIDI

TEMAS DE INTEGRACION Y DESARROLLO

*Salvador Arias Peñate*

**CAMPOS Y PERSPECTIVAS  
DE LA BIOTECNOLOGIA:  
una estrategia  
para su introducción  
en el istmo  
centroamericano**



IICA  
30  
696

**CORECA**

Consejo Regional de Cooperación Agrícola

**CADESCA**

Comité de Acción de Apoyo al Desarrollo  
Económico y Social de Centroamérica

**Salvador Arias Peñate, Salvadoreño, Dr. en Economía, Coordinador del Programa de Formación en Seguridad Alimentaria (PFSA), CADESCA - CCE**

*Campos y Perspectivas de la Biotecnología:  
Una Estrategia para su Introducción en el Istmo Centroamericano*

**Publicado por:  
CADESCA  
Apartado 5215 Zona 5  
Panamá, República de Panamá  
Teléfonos: 690177,694432,694437  
Telex: 3451 CADESCA PG  
FAX: 640644**

**Impreso en : Impresora Pacífico  
Panamá, Rep. de Panamá**

**IICA - CIDI**  
Centro Interamericano de  
Documentación e  
Información Agrícola  
14 NCV 1994  
**IICA — CIDI**

F30

A696

00006814



## Presentación

*La Secretaría del Comité de Acción de Apoyo al Desarrollo Económico y Social de Centroamérica, CADESCA, se complace en presentar este trabajo: "CAMPOS Y PERSPECTIVAS DE LA BIOTECNOLOGIA: UNA ESTRATEGIA PARA SU INTRODUCCION EN EL ISTMO CENTROAMERICANO". El texto fue preparado por el Dr. Salvador Arias Peñate a solicitud de la Secretaría del Consejo Regional de Cooperación Agrícola de Centroamérica, México, Panamá y República Dominicana, CORECA, y aprobado por el Consejo de Ministros de Agricultura en ese marco, en su Resolución IX-05. Representa, por lo tanto, un planteamiento oficial regional asumido al más alto nivel del sector agropecuario, y los contenidos de esta estrategia responden a resoluciones anteriores del mismo Foro.*

*Por qué la Secretaría de CADESCA auspicia la publicación de un trabajo aparentemente tan especializado se explica a partir de los trabajos que, por mandato de los Gobiernos del Istmo Centroamericano, se han venido impulsando en favor de la Seguridad Alimentaria regional.*

*Esta sólo razón bastaría para justificar este esfuerzo editorial ya que la biotecnología tiene que ver directamente con la Seguridad Alimentaria y ésta ocupa un lugar prioritario en las agendas de desarrollo regional, tal como han sido definidas por los Presidentes en la Cumbre de Antigua (junio 1990), y por los Ministros de Agricultura en la subsecuente Declaración de Tegucigalpa, y han sido reiteradas y ampliadas en sucesivos encuentros de alto nivel, en particular en la Cumbre de Puntarenas (diciembre 1990).*

*Como se sabe, CADESCA ha impulsado y está impulsando acciones y tareas en Seguridad Alimentaria que aluden directamente, entre otros, a desafíos de producción sostenida de alimentos básicos en los países del Istmo, a sistemas de investigación y transferencia de tecnología para mejorar esa producción, a la problemática de su comercialización y su consumo, al diseño de mecanismos prácticos para llegar a un mercado regional de alimentos básicos, y a sistemas de información oportuna y consistente para que todo lo anterior funcione de*



*mejor forma. Igualmente se han recibido mandatos para promover proyectos regionales de fomento agroindustrial.*

*Pero existe un razonamiento adicional para esta publicación que quizás no es tan claro y transparente como el anterior, pero que resulta igualmente importante: estamos convencidos que la biotecnología tiene un papel importantísimo en nuestro futuro desarrollo económico regional.*

*Dicho convencimiento se desprende de un conjunto de hallazgos y conclusiones producidos por los trabajos antes aludidos, al conjugarse con el análisis macroeconómico de la situación y evolución regionales, y con las tareas de gestión de cooperación internacional para otros temas relacionados como lo son el fomento de la micro y pequeña empresa y el manejo del medio ambiente.*

*Por una parte, la dinamización y reactivación económica y social del Istmo a partir de la industrialización y modernización de la agricultura se ofrece como opción promisoriosa y viable, a partir de nuestras propias capacidades. Por otra, supone una visión de desarrollo integral que nos permite opciones realistas de mejoramiento, frente a un cuadro de relaciones internacionales que ha variado drástica y vertiginosamente en el último año y que nos ubica ante esquemas económicos mundiales en donde entramos en franca desventaja, y en donde las relaciones norte-norte se fortalecen a expensas de las relaciones norte-sur.*

*Una estrategia así concebida, a partir de la ampliación de las capacidades y eficiencia para la producción de alimentos y para la agroexportación, basada en la modernización agrícola, toca múltiples planos de reactivación económica y supone la refuncionalización de nuestras organizaciones e instituciones de enseñanza a todos los niveles, de la administración pública, del sistema crediticio y bancario; supone reactivación y renovación industrial, fortalecimiento de la investigación y transferencia de tecnología; supone una mejor organización de la producción y del mercado; genera demandas internas de productos y servicios normalmente importados, produce valor agregado a nuestra producción y genera divisas; toca directamente el problema de empleo y, al mejorar las condiciones de vida del campo y convertir a la agricultura en una actividad económicamente atractiva, contribuye a resolver el éxodo hacia los centros urbanos.*

*La biotecnología es un camino aprovechable de inmediato para readecuar nuestras capacidades de producción y manejo agroalimentario y agroexportador, a partir de uno de los sistemas biogenéticos más ricos y diversos del planeta como lo es el del Istmo Centroamericano. Pero un correcto aprovechamiento de las opciones biotecnológicas a nuestro alcance supone un conjunto de decisiones estratégicas de alto nivel y un esfuerzo regional de considerables proporciones que se refleje en*

*decisiones institucionales y presupuestarias concretas. Supone hacernos cargo en serio del desarrollo de nuestras capacidades científicas y tecnológicas necesarias para ese manejo.*

*. Para que lo anterior ocurra, se necesita buena información, buen análisis, buenas propuestas, y una discusión amplia y constructiva que pueda relacionar de forma inteligente las diversas opciones científicas disponibles y las tecnologías probadas, con nuestras propias capacidades e incapacidades, con otros ámbitos de nuestro desarrollo endógeno y regional, y con nuestras relaciones internacionales en distintos niveles de oportunidad o limitación. Todo lo cual, hay que reconocerlo, es aún escaso en el Istmo.*

*A pesar del enorme potencial en el Istmo centroamericano de la biotecnología aplicada, mucho de esto se desconoce. A veces, se considera equivocadamente como tecnología ultra avanzada (llamada tecnología de punta) únicamente accesible a economías altamente desarrolladas. O se le asocia con la ciencia ficción, a partir de retazos desarticulados de información sobre la manipulación genética y la producción de "clones." Pero estamos ante una verdadera revolución tecnológica a la que tenemos derecho y a la que podemos tener acceso; y asimismo, con la que debemos tener cuidado.*

*Hoy en día se habla de "revolución tecnológica" con mucha facilidad y con mucha imprecisión. Normalmente asociada a los espectaculares desarrollos en microelectrónica e informática, la llamada revolución tecnológica se vulgariza a partir de consideraciones superficiales sobre el conjunto de aparatos y procesos de consumo doméstico, comercial e industrial que las nuevas tecnologías van arrojando a los mercados mundiales.*

*Sin embargo, nuestras poblaciones en general --incluso las metropolitanas que tienen acceso a más fuentes de información--, no están conscientes de los trascendentales cambios que se operan en nuestras sociedades a partir de la implantación de esas tecnologías, de los desequilibrios generados a partir de su acceso y su aprovechamiento tan desiguales, y del impacto que muchos de sus efectos tienen. Las verdaderas consecuencias de esa "revolución tecnológica" están ocultas tras el manto de promesas maravillosas de un nuevo mundo de comodidades y bienestar que toda esta tecnología traerá, pero que nunca termina de llegar.*

*Los medios de comunicación nos entregan cotidianamente un continuum de logros tecnológicos que relacionan los electrodomésticos con los transbordadores espaciales, los nuevos y variados detergentes con la guerra biológica, los trasplantes de órganos en los centros médicos más sofisticados del mundo con la automatización que penetra todos los*

*procesos de la vida cotidiana. Nos entregan la visión del desarrollo desde una vitrina para compradores y consumidores. Pero no nos entregan la visión de un proceso acelerado de privatización del conocimiento y de una acendrada guerra de patentes, en donde nuestros países son, en el mejor de los casos, compradores netos de la tecnología que quieran vendernos, o en el peor, resumideros de tecnologías obsoletas o de productos dañinos y prohibidos en sus sitios de origen.*

*De forma todavía marginal comienzan a aparecer cautelas acerca del daño que en el medio ambiente están causando varios de estos procesos industriales. Pero todavía pesa demasiado la idea de que el verdadero desarrollo está en el disfrute de ese bienestar y en el consumo de los bienes que esa tecnología produce, tal y como la publicidad comercial nos la muestra en los países de origen. Nos cuesta pensar en una imagen propia de país y de región, que, con una visión más austera y más adaptada a nuestra propia realidad, pueda apropiarse de la tecnología que necesita y ajustarla a nuestras propias necesidades y capacidades.*

*La profundización sobre las implicaciones de esos procesos tecnológicos y sobre su ascequibilidad en países y sociedades como las nuestras está casi siempre circunscrita a los círculos especializados y no es fácil que alcance a los altos mandos políticos en formas comprensibles y prácticas para traducirlas en políticas sensatas de desarrollo y en decisiones de rumbo estratégico para nuestros pueblos. Discusiones sectoriales entre técnicos o expertos son frecuentes, pero no es fácil que trasciendan las fronteras de la propia especialidad para generar pensamiento estratégico prospectivo globalizante, combinado con otras especialidades, de forma que permita al mismo tiempo la toma de decisiones políticas de alto nivel y la adopción y puesta en práctica de las políticas resultantes en procesos productivos acordes.*

*En el caso específico de la biotecnología, la combinación de los enormes avances en la investigación genética y biomolecular se combinan con la fenomenal capacidad de procesamiento electrónico de datos hoy a nuestra disposición, para llegar más rápido a más combinaciones experimentales que nunca. Nos ofrece la posibilidad de intervenir en nuestro propio desarrollo a partir de nuestra propia biodiversidad, una de las más ricas del mundo. Nos permite la generación de especies mejor adaptadas y resistentes, con mayores índices de productividad, nos permite el control biológico de plagas sin destruir el ambiente y nos permite el aprovechamiento múltiple de derivados agropecuarios usando diversas técnicas de fermentación y transformación disponibles.*

*Se convierte, por tanto, en un valor estratégico de primer orden. Por ello los gobiernos del Istmo se han interesado en el tema de forma directa. La biotecnología como tema de desarrollo y cooperación*



*regional forma parte de la agenda del Sistema Económico Latinoamericano desde hace varios años y ha sido objeto de decisión por parte del Consejo Latinoamericano.*

*En el caso centroamericano, este texto, asumido por los Ministros de Agricultura del área, contiene planteamientos estratégicos de amplio espectro que son una muestra elocuente del interés regional. Se trata de un esfuerzo de pertinencia y de necesidad. Es realidad disponible y es urgencia de desarrollo. Pone a prueba nuestra capacidad de discernimiento, absorción y adopción.*

*La publicación de este trabajo pretende contribuir a este proceso de reflexión crítica y adopción pragmática. Pretende sobrepasar los niveles de alarma científica o de delirios tecnológicos irreales. Pretende ir de frente a las agendas inmediatas de desarrollo regional, con nuestras limitaciones financieras, educacionales, organizativas, institucionales y tecnológicas, en una visión realista de desarrollo económico y social, mostrando la rentabilidad de varios procesos, pero también las decisiones que hay que tomar y los esfuerzos que son necesarios para llegar a ello.*

*Este trabajo pretende acercarnos a esa realidad biotecnológica que está aquí, entre nosotros. Pretende hacernos ver cómo mucha de ella, aunque es ajena, es sorprendentemente accesible. Y pretende enfrentarnos a algunas de las opciones y oportunidades de su aprovechamiento que realistamente podemos obtener.*

*Eduardo Stein  
Secretario Ejecutivo de CADESCA  
Panamá, febrero de 1991*



# Indice de Contenido

<b>PRESENTACION</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>15</b>
<b>I. BIOTECNOLOGIA Y CAMBIOS TECNOLOGICOS EN LA PRODUCCION AGRICOLA, FORESTAL Y GANADERA</b>	
<b>CONSIDERACIONES GENERALES</b>	<b>27</b>
<b>A. Biotecnologías Emergentes en la Agricultura</b>	<b>28</b>
1. La Ingeniería genética	29
2. Inoculación microbiana	29
3. Cultivo de tejidos y propagación in-vitro	30
4. Ampliación de la eficiencia fotosintética de las plantas	31
5. Reguladores del crecimiento de las plantas	31
6. Control de nemátodos y enfermedades	31
7. Control de insectos y parásitos (plagas)	33
8. Fijación biológica de nitrógeno	33
9. Relación entre el agua, suelo-agua y la planta	33
10. Multicultivos	33
11. Control de Malezas	34
<b>B. La Biotecnología y los Granos Básicos</b>	<b>34</b>
1. Maíz	35
2. Arroz	40
3. Frijol	42
4. Sorgo	44

<b>C. La Biotecnología en el Area Forestal</b>	<b>44</b>
1. El cultivo de tejidos en especies forestales	45
2. Las micorrizas	47
<b>D. La Biotecnología y el cultivo de caña de azúcar</b>	<b>48</b>
<b>E. La Biotecnología en el cultivo de la yuca</b>	<b>50</b>
1. Ingeniería genética	50
2. Cultivo de tejidos	51
3. Inoculación de micorrizas	52
4. Efectos biocidas del aceite de la semilla de yuca	52
5. Control biológico de plagas	52
<b>F. La Biotecnología y el banano</b>	<b>53</b>
<b>G. Perspectivas Biotecnológicas en el desarrollo de la ganadería</b>	<b>54</b>
1. Ingeniería genética animal	55
a. Técnicas de recombinación del DNA	55
b. Técnicas de producción de anticuerpos monoclonales	56
c. La Transferencia de embriones	56
2. Reproducción animal	56
3. Regulación del crecimiento animal y desarrollo	57
4. Nutrición animal y salud humana	57
5. Control de enfermedades y pestes	58
6. Medio ambiente y comportamiento de los animales	58
7. Utilización industrial del estiércol y de los desechos agrícolas	58

## **II. IMPACTOS Y CALENDARIO PREVISIBLE DE LAS BIOTECNOLOGIAS EMERGENTES EN LA AGRICULTURA Y LA GANADERIA**

A. Producción y rendimientos en la agricultura	61
B. Reducción de los tiempos y costos en la producción de nuevas variedades	62
C. Producción y rendimientos en la ganadería	63
D. Calendario biotecnológico	65

## **III. BIOTECNOLOGIA Y AGROINDUSTRIA**

Consideraciones Generales	69
1. La Ingeniería de la fermentación	70
2. La Ingeniería enzimática	71
A. Agroalimentación y Biotecnología	71
B. Biotecnología y Química fina	72
C. La Producción agrícola y los mercados químicos	72
D. Los campos de la química orgánica clásica	72
E. La Biotecnología y la industrialización de la caña de azúcar	73
1. La Alcohoquímica y la Sucroquímica	73
2. Los campos de la Alcohoquímica y la Sucroquímica	74
F. La Biotecnología, el maíz y las isoglucosas	81
G. La Biotecnología y los edulcorantes de bajas calorías	86
H. La Agroindustria forestal	89
I. La Agroindustria y la yuca	90

<b>IV. BIOTECNOLOGIA: MERCADOS POTENCIALES Y CAMBIOS EN LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA</b>	
A. Mercados potenciales de la Biotecnología	95
B. La Biotecnología y los cambios en la estructura de transferencia de tecnologías agrícolas de los países desarrollados a los países en desarrollo	96
<b>V. ESTRATEGIA PARA LA INTRODUCCION DE LA BIOTECNOLOGIA Y SU APLICACION EN LA AGRICULTURA, LA GANADERIA Y LA AGROINDUSTRIA EN LA REGION DEL CORECA - ISTMO CENTROAMERICANO Y REPUBLICA DOMINICANA-</b>	
A. Concepción de un modelo alternativo de desarrollo en la agricultura	103
B. Elementos fundamentales de una Estrategia de Desarrollo Biotecnológico	104
C. Principales problemas del sector agropecuario	105
D. Limitaciones por rubros seleccionados	106
E. Desarrollo de la red biotecnología	107
F. Objetivos de la Red Biotecnológica Regional	108
G. Red de laboratorios en biotecnología	108
1. Las Técnicas in-vitro	109
2. Programa para el desarrollo de la capacidad para la fijación de nitrógeno	110
3. Técnicas para el análisis del Genóma	111
4. Ingeniería Genética	111
H. Estrategia por producto a nivel agrícola	112
I. Estrategia a nivel industrial	116



J. Aspectos Institucionales de la Red Biotecnológica Regional	119
K. Programa de capacitación y formación en Biotecnología para el desarrollo agrícola y agroindustrial de la región del CORECA	122

## **INDICE DE CUADROS**

Cuadro No. 1	Revolución Verde y Biorevolución	28
Cuadro No. 2	Estados Unidos: Impacto de las Tecnologías Emergentes en los Rendimientos del Año 2000 (Tons./ha.)	35
Cuadro No. 3	Contribución de las Investigaciones Acrobiológicas al Crecimiento de la Producción del Maíz.	38
Cuadro No. 4	Granos Básicos: Biotecnología Utilizadas en América Latina	39
Cuadro No. 5	Pérdidas por Enfermedades y Perspectivas del Uso de la Biotecnología en la Producción de Vacunas	59
Cuadro No. 6	Estimación de Cambios Porcentuales en los Rendimientos en la Agricultura Norteamericana	62
Cuadro No. 7	Rendimientos Actuales y Potenciales de Productos Agrícolas y Forestales (Tons./ha.)	63
Cuadro No. 8	Cronograma del Desarrollo de Nuevas Variedades mediante Variación Somoclonal	64
Cuadro No. 9	Impacto de la Biotecnología sobre los Rendimientos de la Ganadería	64
Cuadro No. 10	Utilización masiva de Plantas Transformadas	66

Cuadro No. 11	Calendario de la Introducción Comercial de las Nuevas Tecnologías de Plantas	67
Cuadro No. 12	Calendario de la Introducción Comercial de las Nuevas Tecnologías en el Sector Pecuario	68
Cuadro No. 13	Ventas Estimadas de Productos Biotecnológicos para el Sector Agropecuario 1992 y 1997 (millones de dólares)	96
Cuadro No. 14	Empresas que desarrollan Investigaciones en Biotecnología de Plantas	98
Cuadro No. 15	Presupuestos Estatales para Investigación y Desarrollo dedicadas a la Biotecnología (miles de dólares)	99

#### **INDICE DE DIAGRAMAS**

Diagrama 1	El Sistema Azúcar desde un Punto de Vista Técnico	76
Diagrama 2	Valor Aproximado de los Subproductos de la Caña de Azúcar	78
Diagrama 3	Espectro Industrial de la Cadena de Transformación de la Caña de Azúcar	80
Diagrama 4	El Sistema Isoglucosa desde un Punto de Vista Técnico	82
Diagrama 5	Producción de Etanol por Vía Húmeda y Seca	85

## Introducción

Este informe se propone analizar la introducción paulatina de la biotecnología a la agricultura, la ganadería, la silvicultura y la producción alimentaria, dentro de una estrategia global de desarrollo agrícola y agroindustrial para el istmo centroamericano. El objetivo es asegurar un crecimiento más endógeno y autosustentado de sus economías y una mayor autosuficiencia alimentaria en el marco de una inserción más dinámica en el mercado internacional.

Numerosos diagnósticos realizados en los últimos años han señalado la pérdida progresiva de la autosuficiencia agroalimentaria, sobre todo en lo que concierne a alimentos básicos, como uno de los elementos centrales de la crisis actual de una buena parte de las economías latinoamericanas. Esta situación se agrava precisamente en los años ochenta y contribuye así a hacer más difícil el desequilibrio financiero externo de los países afectados por la deuda externa.

De esta manera, en la debilidad del sector agropecuario y agroindustrial,

estaría el elemento explicativo de fondo de la crisis general que envuelve a los países considerados en este estudio y a otros vecinos como México; situación de crisis determinada por el papel cada vez más subordinado desempeñado por la agricultura, y sobre todo su sector campesino, dentro del régimen de acumulación nacional y regional.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) está elaborando una estrategia para el desarrollo. En su documento: "Reactivación agropecuaria, una estrategia para el desarrollo", (ago-sep 1987, y en otros documentos preliminares), se enfatiza como rubro fundamental la modernización y diversificación de la agricultura. Esta proposición es sin duda la primera proveniente de un organismo interamericano que confiere a la agricultura un papel de importancia en el desarrollo global de las economías de la región. En efecto, el IICA afirma que "las restricciones macroeconómicas derivadas del endeudamiento externo y la caída de los precios de exportación son los dos

elementos contextuales dentro de los cuales cabe analizar el papel de la agricultura en el corto plazo" (ibidem p.72).

El mismo informe caracteriza la crisis actual de la agricultura como una "drástica disminución de los ingresos agrícolas ocasionada por la caída de los precios de las materias primas, la transferencia de ingresos desde la agricultura para favorecer procesos de industrialización y los desordenados procesos de urbanización, que entre otros factores, han determinado un fuerte deterioro de las condiciones de vida de la población rural, lo cual se refleja en que un 56% de los pobladores rurales aún viven en condiciones de pobreza." ( ibidem p.12)

A partir de esta concepción, se replantea y revaloriza el papel que la reactivación y modernización del sector agropecuario puedan tener en el desarrollo económico de la región. La reactivación del sector agropecuario, a través de aumentos de productividad y eficiencia, devendría consistente para la superación de las actuales restricciones mundiales (ya que el aumento de producción tiene un impacto favorable en el balance externo, reduce las presiones inflacionarias, tiene un efecto multiplicador sobre el resto de la economía y ejerce una influencia benéfica inmediata sobre los sectores más pobres de la población que precisamente viven en la zona rural). Además, se estima que para su consecución no se requieren grandes transferencias de ingresos desde otros sectores de la economía, sino más bien políticas macroeconómicas neutras que no introduzcan impulsos contrarios a los de la agricultura (ibid., p.viii).

Sin entrar aquí en el detalle de las proposiciones, conviene señalar que la propuesta del IICA es novedosa en por lo menos cinco aspectos:

a) revaloriza el papel de la agricultura y de la agroindustria en el desarrollo global de las economías de la región;

b) sostiene que la modernización, y sobre todo la utilización de tecnología, es el elemento clave para que la agricultura juegue un papel dinamizador del crecimiento económico. Esto se lograría a través de un adecuado nivel de generación y adopción de tecnologías;

c) aunque retoma el tema ya tratado de la integración económica regional, por primera vez especifica esta integración como una cooperación horizontal en el campo tecnológico;

d) afirma la necesidad de buscar nuevas formas de vinculación entre el sector agropecuario y la industria, basadas en las ventajas comparativas para asegurar una competitividad internacional en el largo plazo;

e) por primera vez en un documento de estrategia se menciona la biotecnología como un factor clave en el futuro desarrollo de la agricultura que los Estados deben tomar en cuenta en la elaboración de sus estrategias.

En cuanto al manejo de las nuevas tecnologías, uno de los puntos fuertes de la propuesta recomienda la introducción de mecanismos de control y protección (patentes) para incentivar las inversiones internas y el acceso de la región a las nuevas tecnologías (ibidem, 190); no analiza, sin embargo, la

fuerte pugna que se da actualmente, sobre todo, entre las grandes empresas de biotecnología y los países que -como Brasil- pugnan por desarrollar una tecnología propia.

Según esta institución, la estrategia de reactivación de la producción agropecuaria se orienta prioritariamente hacia el fomento de las exportaciones. Pero el documento recomienda también el aumento de la producción agrícola de "bienes salario" (maíz, carne, etc.) como un elemento central de cualquier política de estabilización de precios, y la única forma perdurable de evitar aumentos en ellos.

En suma, esta proposición tiene a nuestro modo de ver dos elementos centrales: por una parte, se subraya el efecto dinamizador que puede jugar la reactivación y modernización de la producción agrícola sobre el conjunto de la economía, en virtud de los encadenamientos con las industrias proveedoras y procesadoras y con el sector servicios, como de nuevas formas de vinculación entre los sectores agropecuario e industrial, representando la agroindustria la bisagra entre ambos; por otra, el peso asignado a los cambios tecnológicos en el desarrollo de la agricultura, y sobre todo a la biotecnología -peso que será aún mayor en el futuro- ya que la productividad y las ventajas comparativas para la producción agrícola dependerán cada vez más del nivel tecnológico y menos de los recursos naturales dados cada vez.

Antes de analizar más a fondo el desarrollo actual de la biotecnología, sus potencialidades para la agricultura y la industria alimentaria, conviene esclarecer aquí lo que se entiende por

### **una estrategia global de desarrollo con autosuficiencia alimentaria.**

Los rasgos generales de una estrategia de desarrollo alternativo son los siguientes: caracterizado por un estilo de crecimiento social más endógeno, es decir menos dependiente del exterior, que logre modificar el carácter extrovertido -diferente de la inevitable interdependencia dentro del sistema económico mundial- que ha ido adquiriendo la economía regional en los últimos años.

Para lograr modificar las tendencias, predominantes en ella, hacia el estancamiento, la vulnerabilidad financiera y el desequilibrio social crecientes, se debe dar mayor fuerza al mercado interno -y a los mercados regionales- como lugar de realización de bienes y productos, entre los que deberían entrar en mayor proporción los bienes de capital.

Una manera de reactivar el mercado interno (y regional) es mediante la búsqueda de una nueva articulación entre agricultura e industria, lo que implica resolver el problema de la pérdida de autosuficiencia alimentaria en granos y alimentos básicos, particularmente del sector campesino de la agricultura. Sobre este punto conviene repetir lo dicho antes: el carácter bimodal de las estrategias y políticas de desarrollo agrario que desde los años 40 han acentuado la heterogeneidad estructural de la producción agroalimentaria, constituye un obstáculo mayor al desarrollo global de la economía.

Esto se debe no sólo al creciente gasto en divisas que implica el modelo actual de desarrollo (alrededor del 20% de las importaciones para el sector agroalimentario y con tendencia a

aumentar en los años venideros) sino también al desequilibrio existente entre la débil producción de bienes de capital para la producción de bienes manufacturados, -especialmente para la agroindustria que es el sector más promisorio en el caso de la región bajo estudio-.

Ante la ausencia de un mercado interno cuya dinámica provenga de la interrelación productiva entre agricultura e industria, como ya señalamos, el nivel de actividad económica depende básicamente de la expansión de los bienes de consumo, sobre todo para la exportación y, en escasa medida, de la producción de bienes de capital cuya heterogeneidad es también claramente marcada: presencia de filiales transnacionales -o importaciones de bienes de capital- junto a un sector tecnológicamente atrasado y de menor productividad.

Lo anterior conlleva efectos negativos sobre el empleo (puesto que la tecnología adoptada sigue la pauta de los países industrializados): el que podemos definir como intensivo en capital y ahorrador de mano de obra, así como sobre la distribución del ingreso que tiende a acentuar las desigualdades económicas y sociales. Pero esta dependencia externa en lo que respecta a bienes de capital -y bienes intermedios- para su reproducción y crecimiento, -y la exigencia de exportar al mercado internacional para proveerse de las divisas necesarias para equipos y tecnologías importadas- se hace más grave en el caso de un sector agroalimentario que registra balances negativos en sus intercambios con el exterior y en un sector extractivo afectado por la baja de los precios mundiales. El intento de centrar el modelo

de acumulación en exportaciones no tradicionales no ha tampoco logrado aún tocar este problema estructural de las economías regionales.

Por lo tanto, la nueva estrategia debe poner énfasis en el mercado interno, pero buscando la materialización de un proceso de sustitución de importaciones, no sólo de bienes manufacturados como proponía la CEPAL en los años de posguerra, sino además de bienes intermedios y de capital, de servicios, de tecnología y -lo que aquí interesa particularmente- de paquetes tecnológicos que eviten en el presente que la producción alimentaria centroamericana continúe inclinándose hacia la pérdida progresiva de la autosuficiencia y seguridad alimentaria. Como se verá más abajo esta sustitución puede estimularse a partir del control selectivo de las tecnologías importadas y del desarrollo de capacidades autóctonas que transformen y valoricen los abundantes recursos disponibles en la mayoría de los países de la región.

Conviene reiterar aquí que la nueva estrategia no significa romper con el mercado internacional sino, al contrario, buscar una nueva inserción mediante la exportación no sólo de materias primas y algunos productos agropecuarios, sino también de productos transformados entre los cuales los agroindustriales deberían tener mayor importancia, cosa que, por otra parte, permitiría también la sustitución de importaciones a partir de la industrialización de la biomasa.

Para lograr esta rearticulación hay que enfrentarse a un mercado mundial donde las llamadas ventajas relativas son eminentemente dinámicas; en donde se rechazan viejos productos y aco-



gen nuevos -en un continuo cambio- lo cual se expresa en precios fluctuantes (y a la baja, en el caso de "viejos productos" como son las materias primas agrícolas tradicionales: azúcar, café, cereales, etc.).

Lo anterior, exige una agilización de las políticas de exportación recurriendo a mecanismos adecuados de comercialización, administrativos, financieros y aduaneros, para enfrentarse no sólo a los ciclos de auge y crisis de los precios, sino también a los de los productos intercambiados internacionalmente; se requiere también, aparte de una adecuada planificación prospectiva de los bienes exportables, proveerse de plantas productivas polivalentes capaces de adaptar los productos y subproductos a las variaciones del mercado.

En la estrategia propuesta aquí, la generación de excedentes no debe descansar sólo en la exportación de materias primas, sino, también, en la valorización industrial de los productos y subproductos agrícolas, pecuarios y forestales. Esto implica el desarrollo de una vigorosa agroindustria alimentaria (y también no alimentaria). Se pretende así reemplazar la dinámica actual de sobreexplotación de los recursos agrícolas y humanos, sobre todo en el sector campesino, por una dinámica de mayor productividad como fuente de excedentes, pese a los problemas ya mencionados referentes a la transferencia de tecnología a los campesinos.

Una exigencia *sine qua non* es una mayor capitalización de la agricultura y del sistema agroalimentario en su conjunto. Específicamente, si se prevé optar por una estrategia de desarrollo rural unimodal, se requiere destinar, prácticamente a fondo perdido, una

inversión cuantiosa en la agricultura campesina que no rendirá frutos a corto, ni siquiera mediano plazo, sino más bien al cabo de una generación. Sólo esto asegurará la desaparición de la heterogeneidad estructural que bloquea el desarrollo de la región. Junto con ello deberá también ampliarse el mercado de trabajo y el desarrollo de políticas de capacitación y especialización de la fuerza de trabajo; todo lo cual exige -a su vez- una reestructuración del aparato institucional que rodea a la agricultura campesina y que constituye uno de los nudos problemáticos más difíciles de romper para desatar las fuerzas productivas de ese sector.

De este modo los excedentes generados podrán orientarse al desarrollo de las fuerzas productivas y al aumento del bienestar de la población. Los recursos financieros externos al modelo sólo deberán jugar un papel complementario y no definitorio en la capitalización de la economía.

No se trata de romper con las empresas transnacionales, ni menos con la cooperación internacional, sino de aceptar selectivamente su participación en la economía regional según un plan que defina los sectores prioritarios para inversiones nacionales y extranjeras, y aquellos en que el aporte transnacional sea coherente con los objetivos económicos de mayor autosuficiencia y autonomía económica y tecnológica.

Esta estrategia de desarrollo endógeno propuesta debe asimismo tener como uno de sus ejes fundamentales el desarrollo paulatino de capacidades técnico-científicas por parte de los países de la región, de tal manera de ir cambiando el desequilibrio existente hoy entre una tecnología importada -a

menudo no coherente con los recursos disponibles de la región- y las tecnologías aún escasas, generadas por los diversos institutos de la región. Este mayor desarrollo permitirá, inicialmente al menos, seleccionar y asimilar creativamente las tecnologías importadas para pasar después a una etapa de concentración de los recursos disponibles en áreas prioritarias (definidas por la comunidad de cada país y a nivel regional).

**La autosuficiencia nacional** (y regional) en alimentos básicos implica producir un porcentaje elevado de ellos en el país -digamos al menos un 90%- para asegurar el consumo interno, es decir, satisfacer las necesidades nutricionales mínimas de toda la población. Estas necesidades están determinadas no sólo por la demanda efectiva en el mercado, sino también por la demanda potencial. Esta es la suma de los volúmenes de alimentos básicos correspondientes a los mínimos nutricionales (o más) consumidos efectivamente por las personas, a los que se agregan los requeridos por otra parte de la población -con menor acceso al mercado- para completar una ingesta calórica mínima según normas nutricionales recomendadas por ejemplo por el INCAP (el cual calcula para el istmo centroamericano una población subalimentada estimada en 17 millones de personas).

Se dice que la seguridad alimentaria tiene que ver con la capacidad de un país o región de abastecer a la población con los alimentos requeridos. Esto se puede hacer en base a la producción nacional o mediante importaciones del extranjero. En ese último caso, la seguridad alimentaria está sólo asegurada cuando el país tiene la capa-

cidad financiera necesaria para comprar, en el mercado internacional, los déficits de la producción nacional en términos de alimentos básicos requeridos por la población.

Este concepto de seguridad alimentaria sostenido por organismos internacionales es inadecuado (3, 6, 76 y 103).

En efecto, sólo sirve para medir las capacidades económicas de consumo que se expresan en los mercados de cada país, y en los mercados internacionales, sin considerar la demanda potencial de alimentos a partir de las necesidades nutricionales de la población.

En este análisis se considera que el concepto de seguridad alimentaria está profundamente ligado al de autosuficiencia alimentaria.

Se puede concebir que un país petrolero con poca o ninguna población rural obtenga su seguridad alimentaria únicamente en base a las importaciones. Pensemos en Kuwait o Brunei. Pero, en el caso de sociedades mayoritariamente rurales que han centrado su desarrollo en la agricultura, no es posible lograr a largo plazo una seguridad alimentaria en base a importaciones, -puesto que existe un sistema económico internacional de carácter asimétrico- o peor aún, a partir de la ayuda alimentaria internacional que es por naturaleza precaria y que ataca políticamente.(3.B)

En lo que toca a **autosuficiencia y seguridad alimentaria** conviene distinguir entre corto y largo plazo. En el corto plazo, la primera está determinada por el poder de compra de las

distintas capas de la población, el que no coincide necesariamente con sus necesidades. En cambio, la **seguridad alimentaria** sólo toma en cuenta los flujos de alimentos que afectan la balanza comercial y la disponibilidad financiera en la balanza de pagos. En el largo plazo, el concepto de **autosuficiencia** aquí desarrollado exige cambios en las estructuras de distribución del ingreso y por lo tanto del control del capital, mediante -por ejemplo- modificaciones en la tenencia de la tierra (en el caso de la agricultura), en los mecanismos de precios, de crédito y de salarios reales, etc.

Se considera que sólo un presupuesto de este alcance y amplitud permitiría satisfacer las necesidades alimentarias mínimas de la población. Si se agrega al análisis un componente regional o de integración a más largo plazo, se comprenderá mejor la interrelación estrecha existente entre autosuficiencia y seguridad alimentaria.(3 y 3.B)

No toca aquí analizar a fondo lo que debería ser un proceso de integración regional. Baste mencionar que la posibilidad de crear un espacio económico dentro del sistema mundial (en el que pueda darse una integración tecnológica y productiva junto con una complementariedad en los intercambios intrarregionales -utilizando si fuera necesario mecanismos de trueque-), daría mayor fuerza de negociación a la región en su conjunto frente a los países industrializados dominantes.

Si políticamente se lograra poner en práctica esta integración, esto ayudaría sin duda a sobreponerse a las graves limitaciones impuestas por la deuda externa y la falta de capitales frescos en las economías regionales y -por cier-

to- a las debilidades en el desarrollo tecnológico (que exige una complementación entre países, sobre todo los más pequeños de la región).

Sin embargo, estos conceptos abstractos se refieren a una meta que no tiene viabilidad asegurada. Esto se debe tanto a la disponibilidad restringida de recursos, como al atraso en el desarrollo tecnológico y a la carencia de capitales de los países de la región.

Una estrategia más viable de lograr, la de la **autosuficiencia alimentaria**, llevaría a luchar por ella dentro de una política efectiva de **integración regional** (aunque hay que reconocer también que, pese a su necesidad actual, no ha dado en el pasado resultados categóricamente exitosos: ALALC, ALADI, Grupo Andino, Mercado Común Centroamericano). En el mismo sentido van las proposiciones del SELA, IICA y CORECA.

Las experiencias históricas de integración se han centrado en forma preferente en el desarrollo del intercambio comercial, dejando de lado lo que es aún más importante, sobre todo en la coyuntura actual, la integración productiva y el intercambio científico y tecnológico.

En lo que respecta a la agricultura y la agroindustria resulta también claro que un proceso económico, tecnológico y político de integración, es uno de los instrumentos capaces de viabilizar, aunque políticamente difícil de poner en práctica, la transformación del sistema agroalimentario prevaleciente en los países del CORECA y en América Latina en su conjunto. Este se halla hoy subordinado al sistema agroalimentario mundial, dominado por las poten-

cias industriales y sus empresas transnacionales, con los consiguientes efectos negativos en términos de dependencia tecnológica, financiera y en los hábitos de consumo alimentario.

La región debe enfrentarse, quiera o no, al gran desafío impuesto por el desarrollo reciente de la biotecnología, del cual se dará cuenta más en detalle en la próxima sección. En efecto, la biotecnología, resultante de la aplicación de los progresos recientes de la ingeniería genética, y más ampliamente de los procesos industriales utilizadores de biomasa, puede conducir, a mediano plazo, a una profunda transformación de la agricultura -tal como se le conoce hoy- y a una nueva forma de producir alimentos a partir de nuevas materias primas y componentes intermedios agrícolas (y no agrícolas).

Estos últimos desplazan exportaciones tradicionales de los países subdesarrollados, y modifican la división internacional en la producción de alimentos, en favor de los países industrializados; dichos países adquieren una cada vez mayor autosuficiencia alimentaria mientras que países como los de Centroamérica transitan hacia la pérdida de la misma y deben recurrir a importaciones masivas de granos y alimentos básicos.

La revolución de los genes, mucho más que la revolución verde de los años 50, cuyas técnicas estaban relativamente disponibles para los países del Tercer Mundo, está siendo desarrollada y controlada principalmente por empresas transnacionales. Por lo demás, la biotecnología -cuya evolución no permitía todavía definir hasta donde transformará las formas tradicionales de producir alimentos, en lo que toca a

futuras aplicaciones industriales-, hasta ahora se ha orientado en función de los intereses de los países en los cuales ha surgido y según las disponibilidades de recursos naturales, humanos y de capital de los mismos.

Esta indeterminación de los caminos que habrá de seguir la biotecnología a nivel mundial, favorece a países como los del CORECA, ricos en biomasa y una rica y abundante diversidad genética, pero con un potencial técnico-científico relativamente poco desarrollado. En efecto, se abren a estos países algunos espacios, al menos por un tiempo, para desarrollar ciertas biotécnicas que permitan valorizar productos y subproductos, especialmente de sus regiones tropicales, hasta ahora poco aprovechados. Esto es tanto más necesario cuanto que precisamente allí se dan los productos de exportación tradicionales -azúcar, café, cacao, etc.,- que están siendo substituídos en los mercados de exportación por alimentos fabricados en los países industrializados, en base a nuevas biotécnicas.

Se producen también otros productos de gran potencialidad como yuca, forestales y sus múltiples derivados. Hasta ahora estos cultivos han sido escasamente aprovechados en la región, a pesar de que su utilización integral, mediante biotécnicas, podría ser decisiva en la perspectiva de la reconversión de la agricultura y la agroindustria para lograr superar los obstáculos puestos por la pérdida progresiva de la autosuficiencia nacional en alimentos básicos. Por lo demás, se examinarán también las posibilidades que ofrece la biotecnología para un desarrollo de la ganadería, especialmente la bovina de carne y de leche.

Esta propuesta biotecnológica se engarza perfectamente con la estrategia alternativa de desarrollo más endógeno, según la cual el sector agroalimentario debería constituirse en una área prioritaria para el desarrollo nacional (y regional). Dentro de una estrategia de autosuficiencia alimentaria, el amplio potencial en recursos naturales y humanos de la agricultura del istmo centroamericano debería desarrollarse hacia el mercado interno - cuya demanda potencial y aún efectiva, pese a la crisis actual, continúa creciendo de manera diferencial y relativa - pero también hacia el exterior mediante una nueva política de exportaciones.

Dicha política debería contemplar la conquista de mercados externos centrada en productos agroindustrializados de mayor valor agregado, capaces de satisfacer necesidades específicas en los países desarrollados y otros.

Una primera premisa fundamental es que el "no contar con un aparato científico fuerte, capaz de negociar lúcidamente una generación, adaptación y transferencia tecnológica acorde con las necesidades de la región, puede conducir a cambios que, a pesar de incrementar la productividad de algunos cultivos, tendrán consecuencias sociales, económicas y ecológicas, cuyos efectos negativos podrán superar vastamente los beneficios económicos inmediatos" (7, p 81).

Más aún, "pretender lograr la modernización y reconversión industrial y adquirir una capacidad exportadora, dependiendo totalmente de la tecnología de las mismas empresas transnacionales, con las cuales habrá que competir en el exterior, no es una señal de pragmatismo, ni de sanidad finan-

ciera ni de austeridad" (7, p 82). Es más bien simple miopía. El desarrollo selectivo de tecnologías propias y en base a recursos disponibles en la región, es una condición *sine qua non* para lograr una maestría tecnológica que permita también negociar y seleccionar la adquisición de tecnologías extranjeras útiles para el país. Esto nos trae otra vez a la hipótesis que hemos hallado fundamental de este estudio, a saber, el desarrollo combinado de tecnologías adquiridas con tecnologías autóctonas aplicadas -las dos- al germoplasma de la región.

Una segunda consideración fundamental es que no se debería ni fetichizar ni satanizar la biotecnología (41). En verdad, ésta no es una panacea que actuaría como un *Deus ex machina* en el sector agroalimentario. En el caso sobre todo de la agricultura, la modernización tiene aún mucho camino que recorrer mediante técnicas convencionales y políticas adecuadas de ingresos, precios, créditos, de tenencia de la tierra, etc., y también mediante una transformación institucional que toca tanto a la organización social de los productores campesinos, como a la de los aparatos del Estado, y en particular, a las formas en que se realiza la transferencia y adopción de las nuevas tecnologías. Lo último constituye lo que hemos llamado el segundo nudo problemático que bloquea el desarrollo sobre todo de la agricultura campesina.

Pero tampoco se debe satanizar la biotecnología. Considerarla como la causa per se -siguiendo el camino de la "Revolución verde"- de la profundización de la bimodalidad actual de la tenencia de la tierra y de la heterogeneidad estructural que padece el sector

agroalimentario, sería caer en el extremo opuesto al de su fetichización.

Distinto es tomar consciencia de que su introducción indiscriminada, sobre todo por empresas transnacionales, sin ninguna estrategia nacional ni regional para orientarla a satisfacer las necesidades alimentarias básicas de la mayoría de la población y sin una política encaminada a reconvertir al sector agropecuario y agroindustrial, llevaría a perpetuar el estancamiento de la agricultura campesina y la extroversión y dependencia del sistema agroalimentario.

Una tercera consideración fundamental tiene relación con la escasez de recursos humanos (científicos) y, aún más, de capital para inversiones en laboratorios y plantas-piloto, lo que exige fijar prioridades en la investigación y el desarrollo de la biotecnología (7, p 83).

El destino de recursos abundantes al desarrollo de la biotecnología es tanto más urgente cuanto que los espacios abiertos para la región- en un período en el cual como se verá existe una cierta indeterminación respecto a las formas que va a asumir la nueva tecnología, al contrario de la micro-electrónica, la telemática, la robótica y otras tecnologías de punta- se cerrarán paulatinamente en el futuro. Los países del CORECA están aún a tiempo para entrar en esta carrera tecnológica aunque sea en forma limitada y selectiva.

Una cuarta consideración fundamental tiene que ver con las posibilidades de que la agricultura campesina adopte la nueva tecnología.

Hay autores como Hayami y Ruttan que demuestran teóricamente que es posible concebir opciones abiertas a diversos "senderos" de desarrollo tecnológico en el caso de la agricultura campesina. Su experiencia se basa sobre todo en los países asiáticos y llegan a la conclusión errónea, si le quieren dar un carácter universal, que los solos precios relativos de insumos y productos agrícolas determinan las decisiones de demanda o adopción de nuevas tecnologías y de oferta o investigación y desarrollo de las mismas y que, por consiguiente, el "sendero" tecnológico seguido por los campesinos del Tercer Mundo es el de mayor eficiencia económica (42).

Decíamos que esta afirmación es errónea para aquellos países con estrategias unimodales de desarrollo rural. En América Latina, donde precisamente predominan más bien aquéllas que calificamos de bimodales, los "senderos" tecnológicos adoptados por los empresarios agrícolas del sector moderno y por los campesinos, no sólo son diferentes sino además están predeterminados por la estrategia bimodal, con raíces históricas precolombinas y coloniales. Si utilizamos los esquemas neoclásicos de los autores mencionados, deberíamos llegar a la conclusión que los dos "senderos" tecnológicos seguidos por la agricultura regional, estructuralmente heterogénea, no son eficientes ni en términos de dotación de recursos de tierra, capital y empleo, ni tampoco en términos de rentabilidad.

Recientemente A. Schetjman retoma implícitamente el modelo de Hayami y Ruttan al señalar que el fracaso de la "Revolución verde" respecto a la agricultura campesina no se



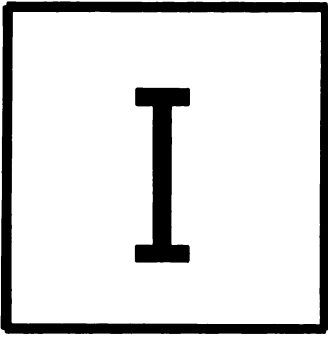
debe per se a las innovaciones traídas por la misma, y especialmente a las variedades de alto rendimiento, sino al "paquete tecnológico" que las rodeaba (alta densidad de insumos, riego, mecanización, etc.). Estas eran entonces inaccesibles para el productor campesino que carecía de recursos de tierra, crédito y seguro. De este modo, la adopción de las nuevas variedades se limitó a la agricultura capitalista mediana y grande, lo que provocó efectos concentradores, polarizadores y marginalizantes en varios países de la región (83,p 5). Según este autor, esto no debe llevar a la conclusión de que la "tecnología apropiada" para los productores campesinos sea igual a una especie de "arqueología tecnológica" que los condenaría *ad aeternum* a la pobreza derivada de bajísimos niveles de productividad. Puesto que éstos -aunque pobres- son eficientes, la transferencia de los avances tecnológicos debe limitarse a aquéllos elementos funcionales capaces de incrementar la producción y productividad campesina, mediante mecanismos que articulen el know how de las nuevas técnicas con la lógica científico-tecnológica de los campesinos -que a menudo los planificadores desconocen- y otros procedimientos institucionales que aseguren "el control campesino de los procesos de producción renovados y de por lo menos parte de los beneficios que de su renovación se derivan" (ibid, p 6).

No se puede negar lo justo de las conclusiones del autor. Sin embargo,

la tercera de ellas, referente a cuáles deberían ser las "condiciones socio institucionales" que asegurasen el control campesino, queda en lo vago. A ese respecto, es necesario recordar aquí que la estrategia presentada en esta obra insiste tanto en la necesidad de un cambio en el régimen de acumulación de las economías del istmo centroamericano y del Caribe (en que la agricultura y su sector campesino deben desempeñar un papel significativo) como en la necesidad imperiosa de fomentar un desarrollo rural unimodal mediante una inyección de recursos a fondo perdido. De igual forma, insiste que en lo tecnológico (desarrollo, transferencia y adopción) el germoplasma utilizado por los campesinos sea el que incorpore en sí mismo las grandes transformaciones tecnológicas, abandonándose la dinámica de incorporación constante de nuevas variedades que obedecen a paquetes tecnológicos de las transaccionales.

Dentro de esas orientaciones se puede concebir como posible desatar uno de los nudos problemáticos más significativos -ligado a la desigual distribución de la tierra y otros recursos y a la ineficacia de los organismos estatales- que bloquea, de hecho, la transferencia y adopción de nuevas tecnologías al productor campesino, para que se transforme también en un productor capaz de acumulación y de generación de excedentes.





# Biotecnología y Cambios Tecnológicos en la Producción Agrícola, Forestal y Ganadera

## Consideraciones generales

Entre las características fundamentales de la nueva biotecnología está su vasto campo de acción, al utilizar -en toda su potencialidad- la ingeniería genética, la cual afecta a todos los seres vivos: plantas, animales, micro-organismos, etc. (en contraste con la "*Revolución verde*" que tuvo un campo de acción más limitado no obstante que afectó, en gran medida, a las sociedades latinoamericanas al modificar las estructuras de producción y consumo, pero que a la larga significó una mayor dependencia alimentaria y tecnológica de estas economías). Para ilustrar la diferente incidencia tanto de las nuevas biotécnicas como de la "*Revolución verde*" se puede ver el cuadro No. 1.

Es por este amplio espectro de incidencia que la revolución biotecnológica es considerada como un elemento clave en "el origen de un nuevo ciclo largo de la economía occidental y parte de la génesis de una nueva era industrial".(74)

El amplio campo de acción de esta nueva tecnología nos permite prever

que sus impactos sobre la agricultura de esta región serán multifacéticos, en el sentido de que no sólo profundizarán la pérdida de los mercados internacionales de sus productos de exportación, sino que además las producciones de los países desarrollados incidirán directamente en las estructuras productivas de consumo interno, desplazándolas en la medida que dichos países ampliarán mucho más el **gap** tecnológico, lo que esta vez les permitirá incrementar la productividad y reducir costos. Lo anterior significará entrar a una situación de incompetencia, dado que las dos ventajas comparativas en que se sustentó el desarrollo de la agricultura regional, mano de obra barata y medio ambiente tropical, serán superadas.

Por otra parte, la forma institucional en que se desarrolla esta revolución tiende a fracturar el anterior tejido de transferencia tecnológica de los países desarrollados a los países en desarrollo (que nació después de la segunda guerra mundial), al transformarlo recientemente en una red privada de transferencia. Lo cual también implica que el único acceso a estas

**CUADRO NO.1  
REVOLUCION VERDE Y BIOEVOLUCION**

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>REVOLUCION VERDE</b>	<b>BIOEVOLUCION</b>
<b>CULTIVOS AFECTADOS</b>	Trigo, arroz, maíz	Potencialmente todos, incluidos verduras, frutas, cultivos de agroexportación (aceite de palma, cacao, azúcar, café y otras especies).
<b>OTROS PRODUCTOS AFECTADOS</b>	Ninguno	Productos animales, farmacéuticos, Alimentos, energía.
<b>ZONAS AFECTADAS</b>	Algunos países en desarrollo (tierras irrigadas y de alta calidad con transporte, etc.)	Todas, incluidas tierras marginales (semi-desérticas, con salinidad, por aluminio, etc..)
<b>DESARROLLO Y DIFUSION DE TECNOLOGIA</b>	En gran medida por el sector público o semipúblico.	Mayormente por el sector privado (empresas transnacionales y emp. nuevas)
<b>PROPIEDAD</b>	Patentes y protección de las variedades de plantas generalmente poco importantes.	Procedimiento y productos patentados y protegibles (variedades, plantas y animales).
<b>COSTOS FINANCIEROS DE INVESTIGACION</b>	Bajos	Altos
<b>Capacidad Exigida</b>	Reproducción tradicional de plantas y ciencias agrícolas paralelas.	Especialización en biotecnología celular y molecular, capacidad general en reproducción de plantas.
<b>CULTIVOS DESPLAZADOS</b>	Ninguno (excepto recursos de germoplasma de variedades y especies silvestres).	Potencialmente todos.

FUENTE:Buttel, Kenney y Kloppenburg, "From Green Revolution to Biorevolution", Economic Development and Cultural Change, E.U., octubre 1985.

nuevas tecnologías será por medio del mercado, generándose nuevas formas de transferencia tecnológica que llevarán a mayores grados de dependencia y de costo para el acceso a dichas tecnologías.

Para atacar de forma positiva las dos tendencias ya en desarrollo que ha generado la revolución biotecnológica, la región tendrá que desarrollar su propio punto de vista ante dicha revo-

lución tecnológica, así como su propia forma de afrontarla y aprovecharla para poder generar una nueva modalidad de desarrollo en la agricultura, donde la valorización de la producción al máximo deberá ser su principio básico.

#### **A. Biotecnologías emergentes en la agricultura**

Son once (11) los principales campos en que la biotecnología actuará de

aquí al año 2000, lo cual llevará a una profunda transformación en las técnicas utilizadas hasta el presente en la producción vegetal. Los niveles de transformación en la tecnología agrícola mundial y también en los países centroamericanos, dependerán del grado de desarrollo de los programas de investigación básica, así como de las posibilidades de la producción comercial de dichas tecnologías o, en su defecto, de las posibilidades de acceso por parte de los productores a estas nuevas tecnologías por medio de programas públicos.

### **1. La ingeniería genética**

O también tecnología del ADN recombinante (ADNr) en plantas, es el sustento de esta revolución tecnológica. No obstante, se puede decir que aún no es posible establecer con claridad las fronteras en esta nueva capacidad del hombre para manipular y transformar los mapas genéticos de los seres vivos. Aunque es claro que a largo plazo permitirá el surgimiento de una nueva agricultura. En los últimos 15 años se ha logrado avanzar en forma importante en la comprensión de la estructura y funcionamiento de los genes; también en el desarrollo de métodos para identificar, aislar y modificar segmentos específicos del ADN. La tecnología del ADNr significará la capacidad del hombre para programar los seres vivos de acuerdo a sus necesidades: incrementando sus cualidades naturales, las cuales podrán ser alteradas o incorporándoles nuevas, lo que permitiría reducir y eliminar sus vulnerabilidades intrínsecas, o de adaptación a un medio ambiente específico. (68, 69 y 74).

La ingeniería genética en plantas es la menos desarrollada pero es la que tendrá un mayor impacto en un futuro cercano. Utilizando la técnica de transferencia de genes es posible introducir DNA de un organismo vivo en otro, sin importar la especie y las barreras sexuales. Así, ha sido posible introducir el gene que almacena proteínas, de una variedad de frijol francés dentro de una planta de tabaco; o el gene que codifica la proteína de la fotosíntesis, de una planta de pea dentro de una planta de petunia. Además, estas técnicas pueden introducir los códigos de secuencia del DNA de cualquier fuente en las plantas, que así transformadas se les llama transgénicas. La eliminación de las barreras sexuales por medio de la transferencia de genes permitirá ampliar la diversidad genética de las plantas. Esta técnica tendrá grandes impactos en la producción de semillas y plantas, así como en el procesamiento de la biomasa en general y en la industria agroalimentaria.

### **2. Inoculación microbiana**

Esta técnica se basa en el aprovechamiento de hongos microscópicos inoculados en las raíces que pueden fijar entonces nutrientes de nitrógeno y fósforo para el desarrollo de la planta. Las investigaciones sobre las colonias de microbios establecidas en las plantas, han permitido un mejor entendimiento del papel que éstos juegan en la nutrición de las mismas, en la estimulación del crecimiento y la prevención de enfermedades. Por otra parte, existe la posibilidad de modificar genéticamente estos microbios y utilizarlos como una semilla inoculada. La inoculación de rhizobium es utilizada am-

pliamente, para mejorar la fijación de nitrógeno por parte de las plantas. El conocimiento del funcionamiento y estructura genética de esta bacteria que permite la fijación del nitrógeno, propiciará mejorar su inoculación.

Dentro de este campo, en la Universidad de Berkeley, con la técnica de la ingeniería genética, se desarrolló una bacteria que evita la formación de hielo en las plantas de papas. Asimismo, Monsanto está desarrollando una bacteria del suelo que, en forma natural, produce su propio insecticida, capaz de proteger las raíces de las plantas de los insectos que se encuentran en la tierra. Esta bacteria recibe un gene de un microorganismo llamado *bacillus thuringiensis*, el cual ha sido registrado como insecticida desde hace mucho tiempo. Las semillas pueden ser cubiertas con esta bacteria antes de ser plantadas y, en la medida que la planta se desarrolla, la bacteria permanece en el suelo cerca de sus raíces, generando el insecticida que la protege. (67 y 68)

### **3. Cultivo de tejidos y propagación in-vitro**

A menudo se confunde la técnica del cultivo de tejidos con biotécnicas utilizadas desde hace poco en la reproducción y micropropagación de plantas. En verdad, la primera es bastante simple y utilizada bajo formas naturales desde tiempos antiguos en la propagación, por ejemplo, de vid y de otras especies por medio de mugrones y de estacas. Pero lo que hoy se llama cultivo de tejidos es la micropropagación de plantas en laboratorios, usando a veces biotécnicas, es decir, el mejoramiento de variedades vegetales mediante la manipulación de genes y el ADNr,

lo que es aún poco frecuente y que ciertamente potenciaría el simple cultivo de tejidos (15).

El cultivo de tejidos se puede definir como un método que consiste en aislar cualquier parte de la planta, sea ésta una célula, un tejido o un órgano, para cultivarlo en un medio nutritivo aséptico<sup>m</sup>(58, p 4).

Uno de los materiales vegetales más usados es el meristemo o tejido compuesto por un conjunto de células idénticas que son extraídas de la yema de los tallos o de ramas de la planta. Desde un punto de vista técnico, el cultivo de meristemas, y de tejidos en general, consiste en colocar el material vegetal aséptico en un ambiente que sea y pueda ser mantenido en condición estéril y proveerlo de sustancias químicas y de regímenes de temperatura, luz, etc., apropiados para el crecimiento y desarrollo del tejido (58 y 82).

De tal manera, esta técnica ha sido utilizada para la propagación de muchas especies vegetales. Los embriones somáticos (producidos en forma asexual por el método de cultivo de tejidos) pueden ser encapsulados para producir una semilla artificial que permitirá ampliar la propagación de ciertas especies de plantas. Este método permite desarrollar nuevas técnicas para la selección de especies animales y vegetales, lo que vuelve obsoletas las técnicas tradicionales de selección y desarrollo de nuevas variedades (las cuales son más costosas y requieren de 10 a 15 años para poder obtener resultados).

La tecnología de cultivo de tejidos permite reproducir a los seres vivos -animales o vegetales- a partir de sus



órganos o parte de ellos, en forma eficiente, acelerada, en gran escala y fuera de su ambiente natural. "Se trata, en última instancia, de trasladar la agricultura al nivel de la fábrica, revolucionando la agricultura tradicional e introduciendo cambios dramáticos en sus relaciones con la industria, particularmente por el efecto sinérgico que significa la conjugación del potencial de esta técnica con el que ofrece la ingeniería genética. Aquí es donde reside el carácter estratégico del cultivo de tejidos y donde se explica la marcada prioridad que ha adquirido en la política de desarrollo de los países más importantes del mundo".(74)

#### **4. Ampliación de la eficiencia fotosintética de las plantas**

El crecimiento de las plantas está determinado fundamentalmente por la fotosíntesis, y su eficiencia se ve afectada por diversos factores, dentro de los que encontramos: algunos mecanismos propios de la fotosíntesis; problemas en la eficiencia del uso del agua y los nutrientes; el estrés provocado por el medio ambiente, etc. En la actualidad ya existen una serie de investigaciones orientadas a resolver estos problemas. La base del éxito en la corrección de éstos, descansa en el entendimiento de las reacciones de la oxigenación y en el esfuerzo para inhibir las reacciones químicas o modificar la enzima RuBP por medio de la utilización de la tecnología del ADNr. La biología molecular ha permitido desarrollar la habilidad para modificar la secuencia de los aminoácidos en la enzima RuBP carboxilasa, para la producción de una versión modificada de esta enzima.

#### **5. Reguladores del crecimiento de las plantas**

Los reguladores del crecimiento de las plantas se vienen utilizando desde 1920, pero con las nuevas tecnologías se esperan nuevos avances que permitirán ir más allá que el mejoramiento de calidades, incremento de productividad o de facilitar la cosecha. Dentro de estos alcances se prevé la producción de antídotos para herbicidas que permitan generar plantas resistentes a determinado herbicida (el cual cuando es aplicado mata todo vegetal que no tenga este antídoto). Esta técnica llevará a la generación de paquetes tecnológicos mucho más controlados por las empresas que manejen esta tecnología.

La utilización de reguladores del crecimiento de las plantas, entre otras cosas, permitirá: evitar brotes en las papas y las cebollas cuando estén en almacenamiento; cambiar la forma y tamaño de las plantas mismas -o sólo de los frutos- para facilitar su cosecha, o adecuarla a una presentación deseada; acelerar o retardar la maduración de los frutos; etc. En el caso de la caña de la azúcar se ha logrado controlar su floración; aumentar el tonelaje de fibra y de la sacarosa con la utilización del ácido giberélico, etc.

#### **6. Control de nemátodos y enfermedades**

Las enfermedades de las plantas son causadas por virus, hongos, bacterias, nemátodos y otros microorganismos, los cuales ocasionan grandes pérdidas antes y después de la cosecha. Las investigaciones en este campo

están encaminadas a un mejor manejo de los mecanismos propios de las plantas para generar resistencias. Para esto se está desarrollando la ingeniería genética que permitirá, por medio del ADNr, ya sea estimular los mecanismos de defensa de las plantas o ampliar el campo de acción de los agentes biológicos controladores.

### **7. Control de insectos y parásitos (plagas)**

La modernización agrícola iniciada sobre todo con la "Revolución verde" puso énfasis en una utilización indiscriminada de pesticidas y plaguicidas de origen químico. Dentro de la práctica agrícola, el manejo de plagas procura no tanto erradicar o exterminar al insecto depredador sino más bien lograr que su población no tenga capacidad de inferir daños fisiológicos o económicos considerables al cultivo. Es decir, se busca establecer un equilibrio ecológico insecto-planta-medio ambiente. De hecho, el manejo de plagas se basa hoy en el uso combinado del control biológico, de la resistencia varietal del cultivo y de la aplicación de prácticas culturales.

Aunque el control biológico no es una técnica nueva, sí lo son los medios para producirla (10, p 255). En la China antigua se utilizaron hormigas para controlar ciertas plagas de los cítricos. Esta misma técnica se sigue usando hoy en otras partes de Asia. En el siglo XVIII el italiano Vellischieri descubrió la asociación entre la avispa parásita

(*Apanteles glomeratus*) y el gusano del repollo (*Pieris rapae*). Los primeros usos de parásitos para control biológico se hicieron en Europa en el siglo XIX, sin embargo éste se sistematizó más tarde en Estados Unidos. El primer uso comercial exitoso fue el combate en los cítricos de California contra la escama algodonosa (*Icerya purchasi*) de origen australiano: para lograrlo los entomólogos trajeron de Australia los enemigos naturales de la escama. Se ha establecido así la técnica de crianza masiva de parásitos y predadores, y sus liberaciones periódicas para el control de plagas.

Se puede concluir que el control biológico tradicional es eficaz en ciertos casos, pero que éste no ha sido aún potenciado sino en forma incipiente por la utilización de biotécnicas. La utilización de éstas últimas apuntan más bien a desarrollar genéticamente la propia resistencia varietal a plagas externas en las variedades mejoradas de plantas.

Dentro de este campo del control de plagas, las investigaciones se desarrollan en las áreas de: productos químicos para insectos y parásitos; manipulación genética de plantas e insectos y de sus enemigos naturales; y procesamiento de información. Los avances en el conocimiento de la fisiología, toxicología y análisis químico de los insectos, están permitiendo producir compuestos que trastornan el crecimiento normal y el proceso de desarrollo de los insectos. Estos compuestos podrán ser produci

dos en gran escala, por medio de procesos de fermentación, utilizando microorganismos transformados por medio de la ingeniería genética.

### **8. Fijación biológica de nitrógeno**

Debido a que las plantas no pueden utilizar directamente el nitrógeno existente en el aire o en el suelo (en la forma de complejos orgánicos), para poder ser absorbido tiene primero que ser transformado en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3$ ). Por lo anterior, las grandes cantidades de este compuesto que utiliza la agricultura se proveen por medio de los fertilizantes nitrogenados. El nitrógeno puede ser provisto además por medio de una fijación biológica, proceso que es desarrollado por cierta bacteria y el alga blue-green, para lo cual utilizan una enzima -nitrogenasa- que convierte el  $\text{N}_2$  en  $\text{NH}_3$ . La más importante de estas bacterias pertenece al género de *Rhizobium*. Esta bacteria entra en las raíces de la legumbre y forma nódulos en donde ella se fija o convierte el nitrógeno del aire a formas usadas por la planta.

Existe otro tipo de bacteria que fija nitrógeno y habita cerca de los cereales y pastos, proveyendo posiblemente pequeñas cantidades de nitrógeno a las plantas (si estas cantidades pueden ser elevadas en forma considerable se le llama fijación asociada). Esta forma de fijación ofrece buenas posibilidades para abastecer de manera natural a los cereales y pastos del nitrógeno necesario. Ya existen investigaciones para desarrollar cereales que puedan fijar su propio nitrógeno. De tener éxito la fijación de nitrógeno en cantidades suficientes -para el caso de las legumbres- será una realidad en 10 años y para los cereales, mediante la

fijación asociada, en los próximos 15 años.

### **9. Relación entre el agua, suelo-agua y la planta**

Aún no ha sido posible desarrollar plantas que requieran menos agua, no obstante, en el momento que se identifiquen los mecanismos para el uso eficiente del agua y se tenga un mejor entendimiento de la planta como un todo, será una realidad el desarrollo de una mayor eficiencia en el uso del agua por parte de la planta. Esto posiblemente requiera unos 15 años más. Actualmente como resultado de investigaciones concretas se puede prever que por medio del cultivo de tejidos, se podrá generar material con una mayor resistencia al agua. En el caso del arroz y de la alfalfa ya existe material con tolerancia a la sal.

### **10. Multicultivos**

Pese a que los multicultivos ya se practican entre los agricultores de la región, principalmente entre los pequeños, para que esta técnica sea eficiente y contribuya en forma significativa al incremento de la producción de alimentos, se requiere avanzar en las investigaciones que permitan un mejor conocimiento de la competencia entre las diferentes especies de plantas por los factores del crecimiento (entre dos plantas de la misma especie, entre diferentes especies, entre las plantas y las malas hierbas); mejoras en la nutrición de las plantas por medio de fertilizantes y de la microbiología (rotación de cultivos, técnicas mínimas de preparación de tierras, utilización de niveles mínimos de fertilizantes para no afectar el balance biológico, fijación de nitrógeno); así como el desarrollo de una

mecanización acorde a este tipo de agricultura.

## 11. Control de malezas

Se puede definir como maleza, toda aquella planta que se desarrolla donde no se desea. Las malezas generalmente limitan las técnicas de conservación del suelo y la productividad de los multicultivos. Para su control normalmente se utilizan: la competencia entre cultivos, su rotación, fuerza de trabajo y métodos biológicos, químicos y mecánicos, dentro de sistemas de manejo integrado de malezas. Con la biotecnología se están desarrollando investigaciones para obtener un mejoramiento en los métodos químico y biológicos; químicos aleopáticos para desarrollar bioreguladores de las malezas; variedades de plantas con resistencia a herbicidas y el conocimiento de las características naturales que hacen a las malezas resistentes a los herbicidas; y el desarrollo de mejores sistemas integrados de control para la conservación del suelo y la producción de cultivos múltiples.

### B. La Biotecnología y los granos básicos

Es evidente que la biotecnología contemporánea y del futuro afecta ya -e impactará más profundamente- a todos los productos que conforman el Sistema Alimentario de la Región, sobre todo, a los cuatro granos básicos: maíz, frijol, arroz y sorgo. En los últimos años se han hecho grandes progresos en la regeneración de plantas a partir de una simple célula, a través de embriogénesis somática, de callos, células en suspensión y cultivo de protoplasto, esto en especies importantes de cereales y gramíneas.

La mayor parte de las plantas, sino todas, llegarán a ser manipuladas genéticamente. Hasta hace poco tiempo se pensaba que sólo las plantas pertenecientes a las dicotiledoneas como el tabaco, girasol, papa, etc., podrían ser transformadas, por ser sensibles al *Agrobacterium*; mientras que las plantas monocotiledoneas, en donde se encuentran todos los cereales, son resistentes a la infección por "crown gall", que se manifestaba a nivel de transferencia del ADN bacteriano. Este problema ha desaparecido desde que el grupo de J. Schell y M. Van Montagu en Bélgica y el de R.A. Schilperoort de los Países Bajos, demostraron, recientemente, que se puede transformar ciertas plantas monocotiledoneas a través del *Agrobacterium*, como es el caso del espárrago. En los cereales, apenas se comienza a saber cómo opera esta bacteria. El equipo de Y. Demarly que trabaja en Orsay, Francia, ha logrado regenerar una planta de arroz a partir del protoplasto, aspecto que era uno de los principales obstáculos que se tenían para la aplicación de la ingeniería genética en cereales. (95)

Para tener una idea más precisa de las posibles repercusiones que las biotécnicas tendrán sobre los granos básicos, veamos las estimaciones realizadas en los Estados Unidos sobre el impacto en los rendimientos de estos productos. ( Ver Cuadro No. 2)

Al comparar esta tabla con los rendimientos de la región, podemos ver cómo las posibilidades tecnológicas de la biotecnología pueden transformar drásticamente y en forma positiva la capacidad de producción en granos. Pero solamente cuando la región desarrolle su propia tecnología y aprenda a

**CUADRO NO. 2**  
**ESTADOS UNIDOS: IMPACTO DE LAS TECNOLOGIAS EMERGENTES EN LOS**  
**RENDIMIENTOS DEL AÑO 2000**  
**(Tons/ha)**

CULTIVOS	RENDIMIENTOS	RENDIMIENTOS	CENTROAMERICA	
	1983	ESPERADOS AÑO 2000	REND.PROMEDIO 1979-1983	REQUERIDOS 2000 *
MAIZ	5.1	6.55	1.48	2.82
ARROZ	5.1	5.90	2.84	3.88
FRIJOL	1.5	1.86	0.72	2.91
SORGO	3.1			

FUENTE: OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT, (67) SIECA, Estadísticas  
 Seleccionadas No. 20,  
 \* en El Salvador

manejar las biotécnicas que están surgiendo en el mundo; de lo contrario, seguramente se profundizara aún más la distancia tecnológica entre la región y los países desarrollados.

### 1. Maíz

El desarrollo biotecnológico en el caso del maíz permite prever que en los años 90 existirán variedades de plantas totalmente transformadas que podrán utilizarse masivamente a mediados de la misma década. Gracias a las nuevas variedades de maíz se espera que en el año 2000 los costos de producción y las pérdidas por cultivo se reduzcan en un 40 ó 50%. La introducción de genes resistentes a las enfermedades y a las plagas tiende a reducir el uso de productos de tratamiento (fertilizantes e insecticidas) que actualmente provocan graves problemas ambientales y arrojan aún pérdidas considerables en la producción. Se prevé que los agricultores norteamericanos economizarán hasta 200 dólares en el costo de producción por hectárea.(67) Las nuevas técnicas de la ingeniería genética tienden a mejorar el contenido cualitativo nutricional del maíz; así por ejemplo los maíces "opaco 2" y "harinoso 2" reportan mayor contenido en proteínas. La Funk Seeds

International ha dedicado considerables esfuerzos a los maíces de alto contenido de aceite, con interés especial para incrementar los mercados de exportación y ganaderos, mediante la aplicación de la técnica RMN (Resonancia magnética nuclear) que permite determinar el contenido de aceite en forma rápida, exacta y no destructiva. Investigaciones para encontrar variedades con alto contenido en amilosa (que describe al maíz con contenido de amilosa superior al 50%) se han desarrollado principalmente por la División Norte de Investigaciones sobre Aprovechamiento del USDA de Peoria, Illinois (32).

Los campos en que se está investigando para generar plantas de maíz con influencia biotecnológica son los siguientes: resistencia a plagas y enfermedades; resistencia a bajas temperaturas; fijación de nitrógeno; incremento de su valor nutricional, elevando su contenido de lisina; resistencia a la sequía; resistencia a plaguicidas, etc. Fundamentalmente los trabajos en este cereal se están realizando a través de las empresas transnacionales, de las cuales podemos mencionar entre otras: Advanced Genetic, Biotechnica International, De Kalb Pfizer Genetic, Mo-

lecular Genetics, Sungene Technologies Corporation, etc.(3)

Es importante mencionar que la empresa semillera más importante y antigua del mundo es Pioneer y los híbridos de maíz constituyen su principal campo de acción. El poder de dicha empresa radica en su capacidad de investigación. En 1982 su inversión en investigación por empleado fue de 7601 dólares, mientras que las 34 firmas agro-alimentarias norteamericanas más importantes tuvieron un promedio de 834 dólares. (32). Recientemente esta empresa ha iniciado trabajos en biotecnología con la Microbial Genéticas División y trabaja sobre productos de fermentación de ensilaje y el restablecimiento de la flora microbiana, así como sobre microbios herbicidas e insecticidas y sobre el crecimiento de las plantas. Globalmente, se observa que la investigación actual de la ingeniería genética está orientada a la obtención de variedades de maíz mejor adaptadas a la alimentación animal, en función tanto del grano como del forraje, y a los usos industriales de mayor difusión en los países desarrollados: maíz ceroso de alto almidón, maíz de alto contenido en aceite para consumo alimenticio humano y animal y para uso no alimenticio (el aceite de maíz comestible se usa en panadería, aceite para cocinar, oleomargarinas, mayonesas, aderezos, productos farmacéuticos, manteca y sopas).

Los usos no alimentarios del aceite refinado comprenden: municiones, sustancias químicas, pinturas, barnices, sustitutos de hule, anticorrosivos, jabones, aceites solubles y productos textiles, maíz de alta amilosa, maíz dulce, maíz reventón y maíz amarillo, tratando de optimizar la relación rendimien-

tos/calidad. El gran impulso del complejo cerealero-almidonero norteamericano responde específicamente a este tipo de requerimientos.

Otra área de investigación se refiere al mejoramiento de la calidad proteínica del maíz para consumo humano. Los esfuerzos en este sentido han estado encaminados a equilibrar el balance de aminoácidos, dado que la proteína del maíz normal es deficiente en los aminoácidos básicos lisina y triptofano. Básicamente se han seguido cuatro enfoques: 1) la suplementación con aminoácidos, 2) la manipulación genética, 3) la suplementación con proteínas y 4) la mezcla de calidad y de alta calidad de proteína. Estos enfoques han sido evaluados por el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) y se ha llegado a la conclusión de que la calidad proteínica que se logra mediante cualquiera de los métodos señalados, es significativamente mayor que la del maíz normal. En términos de proteína aprovechable total, el maíz suplementado con proteína es de calidad superior que el suplementado con aminoácidos o que el maíz Opaco-2. (32)

En 1986, en América Latina, se estaban desarrollando 14 proyectos de investigación en seis áreas diferentes del cultivo del maíz, dentro del marco de la biotecnología (ver cuadro No. 4). Se están realizando investigaciones en maíz específicamente en tecnologías de conservación e intercambio de germoplasma (cruzamientos amplios) y de transformación (absorción) de ADN que corresponden al área de cultivo de tejidos vegetales. El Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y del Trigo (CIMMYT) de México ha optado por tomar el material y

las tecnologías desarrolladas en los países industrializados y probarlas en los países en desarrollo. Por su relación con instituciones norteamericanas se prevé que el CIMMYT estará en posibilidades de tener acceso a información relacionada con la biotecnología. (77)

Actualmente, su Laboratorio de cruzamientos amplios de maíz realiza trabajos en las áreas de rescate de embriones y selección in vitro (6).

Otras instituciones en México que realizan investigación en el mejoramiento genético del maíz son: Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Universidad Autónoma Antonio Narro, en las áreas de selección in vitro, tolerancia a la sequía y resistencia al fusarium; y el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Universidad Autónoma de Chapingo, en las áreas de selección in-vitro y variación somaclonal. A nivel post-cosecha, en el CINVESTAV-Irapuato y en la Facultad de Química de la UNAM, se realizan investigaciones tendientes a reducir las pérdidas en almacenamiento. Esta línea de trabajo tiene particular relevancia en nuestros países ya que las pérdidas por esta causa son considerables.

En la encuesta realizada por el CIAT y el Colegio de Postgraduados de Chapingo, también se pudo establecer que en Centro América sólo se estaba investigando en 4 áreas dentro de la biotecnología de maíz, que eran: bioquímica, inmunología, molecular y nuclear; no existiendo ningún trabajo en el área celular con la técnica de cultivo de tejidos. Estos cuatro proyectos se ubicaban en un sólo país, Costa Rica, en el resto, según entrevistas personales con investigadores o respon-

sables de los centros de investigación agrícola de la región, sólo Nicaragua tiene un programa de investigación en maíz con biotécnicas a partir de 1989. (78) (ver cuadro No. 4)

A lo largo de todo el análisis anterior, se puede ver claramente todo el esfuerzo que se está haciendo para generar plantas de maíz influenciadas biotecnológicamente; no obstante, hasta el momento no se conocen resultados concretos cuya utilización sea generalizada (aunque ya desde 1985-86 se realizaba la manipulación genética in-vitro de esta planta). Pero en un corto plazo se tendrán variedades de maíz mejoradas con estas nuevas técnicas comercializadas masivamente. En concreto, se espera que para inicios de los años 90 ya se comercializarán plantas de maíz transformadas totalmente por medio de la biotecnología y que su utilización masiva se hará a mediados de los años 90.

De igual manera en Europa, y sobre todo en Francia, se llevan a cabo investigaciones en biotecnología del maíz. El Profesor Y. Demarly, de la Universidad de París Sud (Orsay), ha desarrollado importantes trabajos en embriogénesis somática del maíz, produciendo semillas artificiales a partir de la hoja. El grano comprendería al embrión envuelto en una cápsula artificial. (Aunque esto está a discusión, por la falta de control en las características genéticas de los embriones somáticos, los cuales pueden perder información genética importante). (2 y 95)

En base a los esfuerzos que realizan en investigación las diferentes empresas transnacionales, así como por lo que se ve en el cuadro No.3, los impactos de la biotecnología en el maíz

se encuentran, en el corto plazo, con la característica que no serán las variedades criollas de los campesinos del Istmo Centroamericano las que serán mejoradas con las biotécnicas modernas, sino las variedades de maíz que responden a los intereses y objetivos del complejo almidonero americano -y de los otros países desarrollados- las que están ya siendo transformadas.

Para dimensionar lo complejo de este problema, baste con referir que en la región existen diferentes variedades de maíz de una diversidad importante: maíz blanco, amarillo, híbrido, criollo, mejorado, de ciclo corto (3 meses), de ciclo largo (9 meses), harinoso o cristalino, etc. Esta diversidad responde a **características propias** de los recursos con que cuenta la región, tipo de productor, mercado, etc.

De ahí la urgente necesidad que los países de la región comiencen a desarrollar una cierta capacidad técnica en el manejo de la biotecnología, independientemente que al presente existan o no resultados concretos al respecto. De otra forma, se correrá el riesgo de ver -impotentes- como surgen nuevas plantas de maíz que harán más rentable este cultivo y que muy difícilmente serán accesibles al pequeño campesino, ya que su obtención sólo será posible a través de los mecanismos de mercado. Por otra parte, existe el peligro que este cultivo pase virtualmente a manos de las grandes explotaciones, desde el momento que aumenten los niveles de rentabilidad y los productores regionales puedan desarrollar una capacidad de competencia en el mercado regional y mundial. Incluso, en algunos países de la región ya se está dando este proceso.

CUADRO NO. 3  
CONTRIBUCION DE LAS INVESTIGACIONES AGROBIOLOGICAS AL CRECIMIENTO DE LA PRODUCCION DEL MAIZ.

Campo de la Investigación	Año de la primera contribución significativa	Contribución en los rendimientos del maíz al año 2000 (kg/ha)
Mejoramiento de la intensidad fotosintética	1995	497
Cultivo de tejidos (Micro-propagación)	1990	197
Reguladores del crecimiento	1994	988
Fijación biológica del nitrógeno del aire	1996	142

FUENTE; SASSON A. ¿Quelles biotechnologies pour les pays en développement? Biofutur/UNESCO, París, 1986, 200p



**CUADRO NO. 4**  
**GRANOS BÁSICOS: BIOTECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN AMÉRICA LATINA**

Tecnología	Áreas de Trabajo y Número de los Proyectos						
	Celular	Molecular	Bioquímica	Nuclear	Genética	Citogenética	Inmunología
Cultivo de tejidos a/	1(M),1(A) y 7(F)						
Cultivo de anteras	2(M),4(A) y 1(S)						
Cultivo y fusión b/	1(M) y 4(F)						
Purificación Sep c/ Cultivo de ovarios	2(M) y 2(F)		2(M),3(F)				
Irradiación		1(A)		4(F)			
Mutagénesis		2(A)		1(S),2(F)			
Fertilización en Cariotipos					1(M),1(R)		
Heredabilidad							
Pruebas inmunológicas						1(M) y 1(F)	
Hibridación ácido d/		1(M)					
Regulación expresión e/		1(M)					
Sondas marcadas					1(M),1(F)		
Mutación							
Transferencia de genes		1(M)				2(F)	
Biosíntesis f/ y Síntesis ADN g/ ADN Recombinante		1(F)		1(F) 1(F)			
Aislamiento y Clonaje							1(F)

FUENTE; ROCA, M.E, AMEZQUITA V.M, VILLALOBOS V.M, Estado Actual y Perspectivas de la Biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe, Encuesta 1986. CIAT, Colombia y Colegio de Posgraduados de Chapingo, México, 1987. M:MAIZ; A: ARROZ; F: FRIJOL; S: SORGO.

a/ cultivo y clonaje celular; b/ cultivo y fusión de protoplastos; c/ purificación, separación de proteínas, enzimas y ADN; d/ hibridación de ácidos nucleicos; e/ regulación y expresión genética; f biosíntesis y metabólicos secundarios; g/ síntesis del ADN y otros bioproductos.

Otro aspecto importante es la tendencia de los países centroamericanos a importar el maíz que producen los Estados Unidos. Es decir, que lo previsible no es sólo que los campesinos productores de maíz sean reemplazados por los grandes productores de la región, sino, y más grave aún, que sean sustituidos por los pro-

ductores norteamericanos, en la medida que se importe este cereal, ya sea a través del mercado o por donaciones. En 1987 la región importó casi 200 mil TM de maíz por medio de donaciones, importación que significó entre el 12 y 15% de la oferta interna. (3B)

Uno de los argumentos que se esgrimen para justificar que no se desarrollen investigaciones sobre maíz, a través de las técnicas biotecnológicas, radica en que la micropropagación por el método de cultivo de tejidos es muy costosa, y de ahí que todavía no sea rentable. Esta justificación, dentro de las formas de control en que se desarrollan las nuevas biotécnicas, es parcial y equivocada. El problema de la rentabilidad de la micropropagación - es ampliamente previsible- será superado en 5 ó 10 años por las mismas empresas transnacionales.

Por otra parte, se puede pensar en que la micropropagación se oriente, en primer lugar, a la reproducción de líneas puras y de polinización abierta, dejando que su producción masiva para el uso del campesino se realice por los métodos tradicionales. Además, los beneficios del cultivo in-vitro no están orientados en forma exclusiva a buscar una micropropagación, sino al desarrollo de programas de fitomejoramiento que incorporen las nuevas biotecnologías. Esto permitiría importantes economías en tiempo y costo en la generación de nuevas variedades, lo cual ya se está realizando en otros cereales, como lo veremos en el caso del arroz. Es posible pensar que las variedades de polinización abierta, al desarrollar masivamente su producción por los métodos tradicionales, puedan ser alteradas y no se obtenga lo previsto en el laboratorio.

No obstante, se debe prever, al momento en que se descubran técnicas de micropropagación que permitan la producción masiva de plantas biotecnológicamente impactadas a niveles rentables (como podría llegar a ser la técnica que investiga el Dr. Demarly),

que la región ya cuente con una capacidad técnico-científica que le permita mejorar plantas a partir del material que maneja el campesino (el cual tiene características múltiples o heterogéneas que difícilmente consideran las variedades desarrolladas por las transnacionales en sus programas de fitomejoramiento). Por último, se puede pensar en copiar las técnicas desarrolladas por las transnacionales y adaptarlas a las necesidades de la región.

## 2. Arroz

Este cereal es el primero en el que se comenzó a investigar con biotécnicas y en el cual se han obtenido resultados importantes. Desde 1971 se realizan investigaciones en la inducción de mutaciones con el uso de radiaciones y químicos. Fue en el arroz que se logró por primera vez, en cereales, el cultivo de tejidos. El inicio de experimentos para la producción de callos en cereales, inducidos en laboratorio, data de 1954. El cultivo de tejidos en arroz, comenzó en Japón en los años 60, siendo en 1964 cuando se obtiene por primera vez la inducción de callos, por Furuhashi y Yatazawa. La solución al problema de la inducción de callos fue resuelto por Yamada en 1967. En este cereal se ha trabajado en el cultivo de tejidos a partir de las raíces, de raíces de semillas germinadas, anteras, polen, nudos de las hojas, etc.

De las diferentes fuentes para la inducción de callos, el cultivo de anteras, hasta ahora, es el que ha tenido más éxito en la regeneración de plantas de arroz. El Instituto Internacional de Investigaciones del Arroz, para 1981, había generado 85 líneas de variedades, a partir del crecimiento y regeneración de callos, provenientes de anteras y

polen. Según los técnicos de este instituto, estas técnicas permiten reducir drásticamente el tiempo requerido para desarrollar líneas puras: de 7 años que se requieren normalmente para la reproducción de estas líneas, el tiempo se acorta con biotecnología entre 15 y 21 meses.(2 y 112).

El CIAT, por su parte, ha desarrollado trabajos enfocados a mejorar aspectos básicos de la técnica. Ha establecido que la producción de plantas homocigotas se da en 7-8 meses, y en 5 meses más la progenie de éstas, en forma de semillas, se encuentran listas para ser evaluadas en los ecosistemas de interés. Por métodos tradicionales este proceso requeriría 4-5 años en zonas tropicales y 10 años en zonas templadas.(79). En China se han producido más de 10 variedades mejoradas de arroz con la aplicación del cultivo de anteras. Otro aspecto importante de la técnica se encuentra en la posibilidad de desarrollar plantas tolerantes a la salinidad y a la sequía.

Por otra parte, el cultivo de tejidos permite hacer la selección genética en laboratorio, reduciendo los costosos programas de evaluación en el campo. Por último, el cultivo de tejidos permite el establecimiento de bancos de germoplasma (ya en 1979 se desarrolló una técnica para la preservación congelada de arroz, usando cultivos de células en suspensión).(112)

El mejoramiento intravarietal permite superar problemas que limitan la mayor utilización comercial de las diferentes variedades de arroz; la superación de estos defectos puede lograrse mediante la explotación de la variación somoclonal o gametoclonal. (79)

Los cruzamientos distantes son técnicas que posibilitan la transferencia de caracteres útiles de los parientes silvestres al arroz cultivado, permitiendo así la generación de una nueva variabilidad para su fitomejoramiento. De las 22 especies de *Oryza* sólo dos se cultivan. De éstas, existen especies diploides y tetraploides que contienen muchos caracteres deseables: resistentes a virus, bacteriosis, insectos, tolerancia a sequía, genes de esterilidad masculina citoplasmática y genes de apomixis.

Dentro de las técnicas de fitomejoramiento, el mapeo genético y los marcadores moleculares son de gran utilidad, dado que estas técnicas permiten la localización física de genes en el genoma de las plantas, lo que a su vez permite un uso más eficiente del germoplasma. Estas técnicas se están utilizando en el CIAT. Este Instituto plantea que dada la posibilidad de regeneración de plantas de arroz a partir de protoplastos, la obtención de plantas transgénicas de arroz no está distante. La posibilidad de transformar genéticamente las plantas de arroz permitirá desarrollar estas plantas con resistencia al virus "tungro", mediante la incorporación a la planta de genes de la capa proteica del virus, para conferir "protección cruzada".

Los avances logrados en el arroz permiten esperar, a nivel mundial, en los inicios de la década de los 90, la comercialización masiva de plantas transformadas en su totalidad por medio de la biotecnología. O sea, que se prevén no sólo investigaciones en cultivo de tejidos, sino también en la aplicación de la ingeniería genética para la transformación de plantas.

Según la misma encuesta citada en el caso del maíz, para América Latina, en 1986, existían 9 proyectos de investigación en áreas de la biotecnología, de los cuales más del 50% se concentraban en la rama celular (principalmente en cultivo de anteras). La otra área importante es la molecular, con trabajos en mutagénesis y radiaciones. En América Latina, el mejoramiento de arroz para condiciones de secano, suelos infértiles y altamente ácidos, es un proceso que puede durar 10 años. Sin embargo, los fitomejoradores pueden evaluar rápidamente líneas homogotas producidas por cultivo de anteras de plantas híbridas F1; esto reduciría el proceso de mejoramiento en cuatro o cinco generaciones con un enorme ahorro de tierra, mano de obra e insumos (77 y 78) (Ver cuadro No. 4).

Es importante señalar que, a nivel de país, sólo Panamá reporta investigaciones en arroz, concretamente en el cultivo de tejidos a partir de anteras. Por otro lado, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, se está constituyendo un laboratorio de cultivo de tejidos, financiado por la Organización Internacional de la Energía Atómica, que comenzará a trabajar en el cultivo de anteras para inducir resistencia a la piricularia en arroz.

Debemos destacar que el CIAT es el centro que cuenta con el programa más completo para el mejoramiento del arroz a partir del uso de la biotecnología. Este Instituto plantea que las líneas de investigación u oportunidades presentadas por la biotecnología en el arroz son: la obtención de líneas puras, el mejoramiento intravarietal, los cruzamientos distantes, mapeo genético y marcadores moleculares, así como la transformación genética.

### 3. Frijol

En este cultivo, los trabajos relacionados con mutagénesis han dado algunos resultados, ya que esta leguminosa es buena receptora de mutaciones. Usando rayos gama se lograron aislar líneas con mejoramiento en rendimientos y en proteínas.

La regeneración total de una planta de frijol común a partir de cultivo de células y tejidos no se ha logrado hasta el momento; el principal obstáculo es la imposibilidad de obtener una regeneración completa y consistente a partir del cultivo de callos. En este cultivo se presentan serios problemas de manejo genético por las interrelaciones múltiples que existen entre la morfogénesis de las raíces, de los tallos y de la somática. De éstas, la primera es comprendida muy bien, pero, en las otras dos, su conocimiento es aún muy pobre. Sin embargo, es importante recalcar que es fundamental seguir trabajando en esta leguminosa para obtener la técnica de cultivo de tejidos que permita la formación de embriones que puedan ser desarrollados hasta ser llevados a plantas.(2)

En phasiolus se han reportado únicamente dos experimentos exitosos en la regeneración de plantas: uno con frijol tepary (*P. acutifolius*) (56 y 82) y otro con frijol runner (*P. coccineus*) (1)

En el CIAT, las técnicas de micropropagación han sido utilizadas con plantas silvestres, familiares del *P. vulgaris*. La micropropagación de variedades del *P. vulgaris* genera 5-20 brotes por explant. El cultivo de embriones ha sido usado en pocos casos, especialmente para cruzamientos entre *P. vulgaris* y *Placutifolius* o *P. coccineus*.

El genotipo del pariente receptor presenta problemas para el crecimiento del embrión.

La propagación de frijol común ha tenido mucho éxito en el CIAT y se han logrado generar variedades resistentes a: plagas y enfermedades, sequía y suelos ácidos. También se ha obtenido el mejoramiento en la habilidad de la planta para la fijación simbiótica del nitrógeno y mejoras en la formación de la planta.

Este instituto reporta que en colaboración con la Universidad Estatal de Colorado, aplicando técnicas de regeneración, han reproducido el *P. acutifolius* y, por otra parte, han iniciado la adaptación de estas técnicas para las variedades del *P. vulgaris*. Asimismo, se ha realizado la regeneración de plantas a partir de callos inducidos de embriones, en cinco variedades de parientes de *P. vulgaris* silvestres (resultados todavía no publicados). En base a estos logros se está trabajando en la posibilidad de transferir la "capacidad de regeneración" de estas variedades silvestres al frijol común. (80)

Dentro de los otros trabajos realizados por el CIAT se deben mencionar los relacionados con las técnicas para el análisis del genoma, a partir de la utilización de marcadores bioquímicos y moleculares, a nivel de las proteínas, enzimas y el DNA. Estas técnicas, especialmente la de marcadores moleculares, RFLPs (poliformismo de fragmentos de restricción de DNA), permiten analizar directamente el DNA (los genes) y por lo tanto generar información en la presencia de genes específicos -así como su ubicación en el cromosoma-, conocimiento fundamental

para poder acelerar el proceso de aplicación de técnicas para la manipulación genética. Por otra parte este Instituto sostiene que el *P. vulgaris* es susceptible de ser transformado por el Agrobacteria, lo que posibilita el camino para la producción de plantas transgénicas. Para lograr lo anterior, es necesario conseguir regenerar plantas a partir de las técnicas de cultivo in-vitro.

En general, las investigaciones que se realizan en frijol -en las diferentes áreas de la biotecnología- son significativas a nivel de América Latina. Por ejemplo, en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional de México (IPN), ubicado en Irapuato, se está desarrollando el cultivo de tejidos en frijol, para introducirle características que le den resistencia a ciertos problemas de la planta, utilizando la ingeniería genética.

En base a la Encuesta de Roca sobre los granos básicos, el frijol es el que reportó, en 1986, el mayor número de proyectos de investigación (77 y 78) siendo el área celular la que absorbe casi el 50% de éstas investigaciones, destacando el cultivo de tejidos con 13 investigaciones. La segunda en importancia es la nuclear, con 7 proyectos de investigación en radiación, mutagénesis y sondas marcadas. En el área de la biología molecular, base para la ingeniería genética, se encuentran dos proyectos: uno en ADN recombinante y otro en aislamiento y clonaje. Del total de investigaciones en frijol, en México se realiza la tercera parte: 10 investigaciones, y sólo el Centro de Investigaciones sobre fijación de nitrógeno concentra 8 proyectos (ver cuadro No. 4).

En lo que concierne a la participación del Istmo Centroamericano, encontramos a Costa Rica con un (1) proyecto en el Centro de Investigaciones en biología celular (en cultivo de tejidos y fusión celular). Guatemala tiene dos (2) proyectos en la Universidad de San Carlos, en las áreas de genética y nuclear. Estos dos países son los únicos de la región que han comenzado a trabajar en biotecnología del frijol.

#### **4. Sorgo**

La inducción y el cultivo de callos de sorgo es ahora una cosa rutinaria con el uso de 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D). No obstante, la regeneración de plantas a partir de éstos se encuentra restringida a pocas variedades. Este cereal es, según el material examinado, el que tiene menos proyectos de investigación en biotecnología. Las empresas transnacionales han desarrollado programas para la producción de híbridos en América Latina. Según la encuesta ya citada, se encontraron dos proyectos, uno en cultivo de tejidos a partir de anteras y otro en bioquímica. En Centroamérica, no se conocen proyectos de investigación en biotecnología en este cultivo. (Ver cuadro No.4) (3) En la esfera de las empresas transnacionales, la De Kalb Pfizer Genetic trabaja investigación biotecnológica orientada a producir semillas de sorgo híbridas. (3 y 8)

#### **C. La Biotecnología en el Area Forestal**

El desarrollo de la biotecnología en la silvicultura presenta dos líneas principales de investigación: el cultivo de tejidos en especies forestales y el desarrollo de micorrizas. Los avances

en estas ramas son incipientes. No obstante, sus expectativas en el corto y mediano plazo parecen ser de una gran significación (estos avances deben desde ahora ser tomados en cuenta para el desarrollo de cualquier estrategia relacionada con los recursos forestales del Istmo Centroamericano).

Sin duda, el mayor avance biotecnológico se encuentra en los países capitalistas desarrollados, especialmente en los que son poseedores de importantes recursos forestales como Estados Unidos y Canadá, y en países como Japón que, careciendo de grandes masas arbóreas, importan gran parte de la materia prima para alimentar su moderna industria (3).

La biotecnología en el área silvícola abre la posibilidad a la micropropagación de especies no maderables como son el guayule, la jojoba, el bambú y otras que crecen en diferentes zonas climáticas de la región y que representan un potencial económico para resolver problemas en las industrias hulera, aceitera y del papel (5, 9). Así también, la investigación sobre micorrizas ofrece oportunidades, ya que posibilita la reforestación y recuperación de los suelos erosionados en un corto plazo; su aplicación, a bajos costos, permite su difusión en gran escala en países con limitados recursos económicos (23 y 97).

Los países subdesarrollados se enfrentan a graves problemas en el área forestal. En efecto, la producción y exportación de maderas tropicales de estos países se ha reducido drásticamente en los últimos diez años, y su tendencia es a continuar disminuyendo por el creciente deterioro de sus recursos forestales (66). Su producción y

exportación no puede ser substituida por los países desarrollados, ya que ésta se encuentra determinada por factores climáticos y ambientales propios de las selvas. Ante la presión del mercado mundial y la falta de divisas de los países subdesarrollados, éstos tendrán también que implementar tarde o temprano una política de recuperación de sus selvas y un aumento de productividad en las mismas. En este esfuerzo los avances de la investigación biotecnológica en materia forestal están llamados a jugar un papel de primera importancia.

Los principales problemas de la región en la producción silvícola tienen una connotación de urgencia y responden a una multicausalidad compleja. Podemos sintetizarlos en dos grandes líneas: la subutilización de la mayor parte de sus recursos forestales y la creciente pérdida de bosques y selvas (situación que afecta directamente a elementos vitales como la flora y fauna, los microclimas, suelos y agua, la productividad agrícola, etc., al alterar los ciclos biológicos básicos). Esto tiene ya efectos negativos sobre la producción de alimentos y contribuye a los procesos de creciente erosión y a la pérdida de fertilidad en las cuencas.(6)

### **1.El Cultivo de tejidos en especies forestales**

Esta es la línea de investigación más promisoría; particularmente: la micropropagación o multiplicación masiva *in vitro* de una especie a partir de tejidos u órganos, el mejoramiento genético de las especies, la obtención de plantas libres de virus y otros patógenos y la conservación de germoplasma. (105, 106, 107)

El cultivo de tejidos se inicia en 1934 con el cultivo del Cambium de *Pinus Pinaster* y *Abies Alba*. Sin embargo, los avances más importantes no se dan sino hasta la década de los 70, cuando el Dr. Brown logró la primera conífera diferenciada *in vitro* de la especie *Pinus Palustris*. Así mismo, en esa década, se descubrió el primer caso en la diferenciación de elementos vasculares a partir de células en suspensión y se hicieron los primeros estudios de aislamientos de protoplastos, seguido de la división celular, así como la obtención de callos al cultivar megagametofitos haploides de *Picea Abies*, logrando la diferenciación de raíces (106).

Tradicionalmente, los bosques se reproducen a través de semillas de polinización abierta. En algunas plantaciones del mundo se ha practicado la repoblación a partir de semillas provenientes de árboles superiores, obteniéndose mejoras genéticas (aunque existen grandes variaciones en la forma y crecimiento de los árboles). Otro sistema de repoblación es el de la propagación vegetativa, empleando árboles élites como fuente de estacas, incrementando así en forma importante el rendimiento de la biomasa.

La micropropagación de especies forestales consiste en desarrollar los meristemos (105) para obtener de cada uno de ellos una planta. Los métodos que existen son:

a) La multiplicación por meristemos laterales, que consiste en cultivar ápices en un medio de cultivo con citocinina (brotando prematuramente las yemas laterales, seguidas de brotes secundarios, terciarios y así sucesivamente). Estos brotes son separados y cultivados

nuevamente, obteniéndose una multiplicación ilimitada. Este sistema ha tenido poca aplicabilidad en gimnospermas, debido a que la dominancia apical evita el desarrollo de los brotes laterales.

b) La multiplicación por brotes adventicios es el sistema más utilizado en especies forestales, debido a que, de manera natural, existe una alta frecuencia de brotes adventicios a partir de hojas, tallos, raíces y también a la capacidad regenerativa de las células vegetales. De 1974 a 1985 se han logrado regenerar por este sistemas más de 15 diferentes especies de coníferas y 42 de latifoliadas. En el caso específico del *Pinus radiata*, obtenido por este procedimiento, se ha demostrado después de 8 años un crecimiento superior en los árboles, comparándolo con el obtenido por semillas mejoradas.

c) La multiplicación por callos o células en suspensión, tiene importancia especial por representar una mayor capacidad de reproducción. Es posible regenerar una planta a partir de pequeñas aglomeraciones celulares. Se inicia el proceso con el cultivo de un explante que produzca brotes múltiples. Estos brotes pueden ser inducidos a partir de células no organizadas (callos), quienes por medio de un crecimiento no sincronizado producirán una callosidad que se cultivará en suspensión usando medios líquidos. Este método ha tenido éxito en especies como *Eucalyptus*, pero aún no se ha desarrollado con éxito en coníferas.

Actualmente hay ya 57 especies maderables que han podido, mediante esta técnica, regenerar *in vitro* una planta completa. Se ha preferido usar tejidos juveniles (ya que se ha com-

probado que es mas fácil obtener la micropropagación que con tejidos maduros). En coníferas, los inóculos más comunes empleados con éxito han sido: embriones, partes de la plántula, cotiledones e hipocótilos provenientes de semillas germinadas asépticamente, que emplean diferentes medios de cultivo. Aunque la tendencia actual es a enraizar en condiciones no estériles, esto significa que los brotes diferenciados *in vitro* son estimulados para formar raíces en sustratos (bermiculita, agrolita u otros) que producen mejores brotes. La mayor cantidad de brotes obtenidos de una sola semilla es de 1376, luego de 24 meses de siembra. Se ha demostrado que los cotiledones de semillas germinadas fueron la mejor fuente de inóculo (107).

Las limitaciones referentes a los aspectos de la aplicación, tienen que ver con el hecho de que -en teoría- es posible micropropagar cualquier especie, pero, a la fecha, son relativamente pocas las que se propagan eficientemente. En la medida que se logren mayores avances en aspectos tales como: morfogénesis vegetal, anatomía celular y fisiología, se podrá desarrollar mejor esta técnica.

Entre las limitaciones técnicas encontramos la **vitrificación**, que consiste en que algunas plantas bajo condiciones *in vitro* adquieren apariencia suculenta y sus hojas presentan un verde intenso, pero, cuando son trasplantadas al suelo no sobreviven. También puede presentarse la contaminación por microorganismos de saprófitos, principalmente bacterias: la desinfección superficial no elimina hongos y bacterias del interior de los tejidos. Finalmente, está la síntesis de fenoles que afecta a pocas especies; los



fenoles bloquean la división celular y alteran el balance de alimentación de la planta y del medio interfiriendo en la morfogénesis (106).

Comercialmente, en Brasil existen tres empresas que desarrollan plantaciones de Eucalyptus utilizando la micropropagación. Para 1985 se tuvo una producción de 250 mil plantas y se pretendían micropropagar dos millones de plantas para finales de 1987. Asimismo, en Nueva Zelanda, dos empresas, la Tasman Forestry Ld. y la Topline Laboratories Ld. se dedican a micropropagar Pinus ratiata comercialmente, utilizando el cultivo de cotiledones provenientes de semillas seleccionadas (108). Los expertos consideran que en el futuro la micropropagación estará plenamente asegurada, en la medida que se logre establecer sistemas de propagación por embriogénesis somática en todas las especies, especialmente coníferas, es decir, la propagación a partir de las células. Esta conquista permitirá la multiplicación ilimitada de las especies de mayor importancia para el hombre.

## 2. Las micorrizas

Los hongos, cuando se adhieren a la raíz de las plantas, forman una asociación simbiótica llamada micorriza. Estas se clasifican en ectomicorrizas y en endomicorrizas. Las primeras son las que se asocian a las especies forestales. (16) En la naturaleza todas las plantas tienen micorrizas, pero no todas contribuyen a su beneficio, ni en igual proporción. Se han realizado estudios sobre la influencia de algunos tipos de hongos en determinadas especies desarrolladas en viveros y plantadas posteriormente en terrenos po-

bres en nutrientes, encontrándose sorprendentes resultados.

Por ejemplo, se ha comprobado que la asociación vegetativa de micelios de Pisolithus Tinctorius mas el saprofítico Lepiota Lutea, en Pinus Pseudostrobus plantados en terrenos erosionados, mostraron a los tres años una alta tasa de sobrevivencia y mayores volúmenes de diámetro y altura de hasta un 538% con respecto a los árboles no inoculados. También se pudo comprobar que se presentaban diferencias dependiendo de las especies arbóreas; por ejemplo, los Pinus y Pseudostrobus fueron más susceptibles a la buena influencia de las ectomicorrizas que el Pinus Michoacana. Se debe considerar también que muchos microorganismos, que crecen en las cercanías de las raíces de las plantas, producen efectos estimulantes sobre la asociación micorrízica a través de la producción de sustancias que aumentan la permeabilidad de sus membranas o por enzimas que transforman la materia orgánica a una forma accesible para los árboles. (102)

La obtención de plántulas de árboles élite, por sistemas de micropropagación, combinadas con las adecuadas asociaciones de micorrizas y prácticas culturales, así como la aplicación de gibrelinas (aceleran los procesos de floración) permite incrementar en forma significativa el crecimiento y la calidad de la madera. De tal modo que si antes les tomaba a los árboles 20 años para alcanzar las condiciones requeridas por el mercado, ahora en sólo cinco años podrán tener los diámetros y alturas requeridos. En el caso de las especies de rápido crecimiento o de plantaciones de celulosa y papel, los

tiempos de espera podrían reducirse un poco más.

Las ventajas de la micorrización en especies leñosas son las siguientes: contribuyen a acelerar el crecimiento de los árboles; en especies maderables los crecimientos comprobados han sido de más de un 200% y en cítricos de más de un 700%; protegen las raíces contra patógenos, contribuyendo al establecimiento de plántulas, al producir sustancias antifúngicas; aumentan, entre otros, el nitrógeno y el fósforo de la planta(49).

En los próximos años se tendrán que intensificar los estudios relacionados con las micorrizas y desarrollar eficientemente el proceso de inoculación para llegar a la fase de la comercialización.

La aplicación de micorrizas en las plantaciones futuras es altamente promisoría, sobre todo, en los países subdesarrollados donde la creciente erosión de los suelos es un problema dramático. Si se considera además la alta variedad existente de hongos comestibles y se piensa en la asociación de éstos con los simbiosistas, se tendrá una alternativa más para tratar de resolver el otro problema acuciante de estos países: el de la alimentación.

#### **D. La Biotecnología y el cultivo de caña de azúcar**

En lo que toca específicamente a la caña de azúcar, el desarrollo de las nuevas biotécnicas tiene dos clases de efectos: los directos y los indirectos. Los primeros están fundamentalmente relacionados, por un lado, con el desarrollo de variedades de caña con alto rendimiento, resistencia a plagas y

enfermedades, y con el control de su floración, así como el incremento del contenido de fibra (bagazo) y de azúcar. Los segundos, son negativos y difíciles de estimar con margen estrecho de probabilidad, y están relacionados con la substitución de la azúcar de caña por edulcorantes producidos a partir de otras materias primas de origen agrícola -por ejemplo almidón de maíz, papa, yuca, etc. o de frutas silvestres africanas con un poder edulcorante miles de veces superior a de la sacarosa de caña- o de productos fabricados de origen químico entre los cuales destaca el aspartamo.

El mejoramiento de variedades de azúcar depende, por supuesto, de fuentes de variedad genética, las cuales se encuentran principalmente en plantas originarias de algunos países del Asia. Al introducirse el cultivo de tejidos en el mejoramiento de las variedades de caña, es posible reducir los plazos en comparación con técnicas tradicionales de selección y obtener, en los próximos lustros, avances espectaculares en los rendimientos. Estos alcanzan hoy un promedio mundial de 58 toneladas de caña de azúcar por hectárea y en los países miembros de GEPLACEA 55 y 69 para Centro América y podrían llegar a 150 o 200 a mediados de los años 90. Se lograría gracias a la manipulación genética *in vitro* ya utilizada en laboratorio, la cual permitiría obtener, hacia comienzos de la próxima década, plantas totalmente transformadas. (3 y 64)

Sin embargo, también es cierto que lo anterior no significa que las nuevas variedades de alto rendimiento y más resistentes a plagas y enfermedades se podrán aplicar en forma casi automática a los países produc-

tores de caña como es el caso de Centroamérica.

Las variedades autóctonas de caña han permitido extender el cultivo a nuevas regiones y aumentar considerablemente los rendimientos cuando han sido utilizadas en la selección y multiplicación de nuevas variedades. En el caso de regiones infectadas, la única solución consiste en introducir nuevas variedades resistentes en base a genes provenientes de variedades indígenas. De ahí la importancia para los países productores de saber quién controla los bancos de germoplasma, si están en manos de organismos internacionales, o bien estatales o simplemente de intereses privados. Cuando estos últimos los controlan, existen precedentes para afirmar que esto conducirá a una uniformización del material genético, pues sólo se conservan las variedades comerciales pudiendo perderse, en forma irreversible, las variedades silvestres que son precisamente fuente de diversidad (60 y 81).

En los bancos actualmente existentes en la región de Indonesia, Malasia, Papúa, Nueva Guinea, sólo están representadas 148 variedades de caña; es decir, apenas un 0.5% del material genético mundial. Sucede por lo tanto con la caña lo mismo que con otras plantas: se produce una "fuga de genes" desde los países en desarrollo, ricos en material genético, hacia los países desarrollados del norte. En Estados Unidos y Centro América los bancos controlan 6,079 variedades, es decir 19.4% del total existente. Sin embargo, el proceso de transferencia de genes del sur al norte es menos pronunciado que en el caso de otras plantas. De acuerdo con investigaciones de Mooney, uno de los especialistas en la materia, un 67% de

las variedades estaría conservado en bancos de los países en desarrollo (81, pp 5-7tesis). Además, parte importante de las colecciones está en manos de intereses privados. Por ejemplo, el mayor banco de germoplasma pertenece a la International Society of Sugarcane Technologists, dirigida por la Asociación de Productores de Caña de Hawaii.

Realmente, este es un programa conjunto de empresas transnacionales como Amfac (Gulf & Western) y Tate & Lyle, que producen y comercializan semillas. Otras empresas privadas importantes son CRS (Australia), Fiji Sugar, Victrotios Milling Co. (Filipinas), Planalsucar y Pesagro-Rio (ambas brasileñas). Existen también organismos públicos y paraestatales en algunos países productores como México y también en naciones industriales como Francia y Estados Unidos (en Florida) (81).

Conviene finalmente añadir que los cultivos de caña entran menos en la mira de las transnacionales por el simple hecho que, contrariamente a las semillas de cereales y de otras especies susceptibles de ser patentadas y por lo tanto monopolizadas, éstas son de fácil reproducción y difíciles por lo tanto de sustraer de la competencia.

El aislamiento de protoplasto a partir de cultivos de células embrionarias en suspensión, para el caso de la caña, ha permitido la regeneración de plantas capaces de desarrollarse en el suelo.(111)

En 1986 según una investigación dirigida por W.M. Roca, M.C. Amezcua y B.M. Villalobos del CIAT y del Centro de Genética de Chapingo,

México, existían 17 proyectos de biotecnología estudiando los diferentes problemas de la caña de azúcar en América Latina. En Centroamérica, solamente Costa Rica trabajaba sobre un proyecto de cultivo de tejidos en la caña de azúcar.

### **E. La Biotecnología en el cultivo de la yuca**

El desarrollo intensivo de la investigación científica y tecnológica sobre el cultivo de la yuca y su procesamiento agroindustrial se da a partir de los años setenta. Su utilidad como alimento básico en gran número de países tropicales y el incremento estable del consumo forrajero en Europa, coincide con el avance de la biotecnología aplicada a la agricultura y la producción de alimentos.(5)

Existen varios organismos científicos y tecnológicos que han contribuido a nivel mundial a la investigación de la yuca y de sus subproductos. Entre los más importantes están el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IIAT), de Nigeria; el Centro Filipino de Investigación y Capacitación en Cultivos de Base, Universidad de Visayas, Filipinas; en América Latina, el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia; el Instituto de Tecnología de Alimentos de Campinas, Brasil; en México se encuentra la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Ixtapalapa; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); Depto. de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV; Instituto Tecnológico de Veracruz y la Facultad de Química de la UNAM. secado) En el CIAT de Cali, Colombia, se ha concentrado e integrado la investigación sobre los

diferentes aspectos científicos y tecnológicos en torno a la yuca. Estos trabajos no se limitan sólo a los aspectos agronómicos, sino cubren también áreas de la agroindustrialización y análisis económicos y sociales de la producción y consumo de la yuca y sus subproductos. Sin embargo, no se ha llegado aún en muchos casos al escalamiento en el plano comercial de la producción y esto concierne sobre todo a los procesamientos industriales como por ejemplo el enriquecimiento proteico de harinas de yuca.

Las principales áreas de investigación son las siguientes:

#### **1. Ingeniería genética**

El mejoramiento de variedades locales y la producción de variedades híbridas se desarrolló desde mediados de los setentas principalmente en el CIAT, el cual dispone de un banco de germoplasma contado entre los más grandes del mundo. Este contiene más de 3,400 accesiones de yuca obtenidas en 13 países de América Latina y 2 de Asia.

La semilla sexual ha sido la principal forma de transferencia de germoplasma. Debido al alto grado de heterocigocidad, los clones de yuca deben propagarse vegetativamente si se busca mantener ciertas combinaciones particulares de genes. Para lograrlo es necesario mantener colecciones continuas en el campo, con renovación periódica mediante propagación vegetativa, lo que implica considerables costos de mantenimiento y conservación. Por otra parte, las semillas de accesiones de germoplasma de polinización abierta se conservan -en almacenamiento en frío- como reserva

genética a la cual pueden recurrir en el caso de que haya pérdidas imprevistas de la colección mantenida vegetativamente.

La distribución de híbridos del CIAT ha sido significativa en América Latina y el Caribe y ha beneficiado a Brasil, Ecuador, México, Perú, Panamá y las Antillas, aparte de Colombia. Personal científico de esos países ha recibido además capacitación en el CIAT. Incluso en Africa, la situación es promisoría en la producción de híbridos gracias a un programa de investigación conjunta entre el CIAT y el IITA de Nigeria. Se ha logrado una cierta diversificación de variedades con clones resistentes a plagas y enfermedades frecuentes en ese continente. A partir de 1975, el IITA ha recibido más de 70 mil semillas genéticamente diferenciadas provenientes del CIAT, lo cual ha incrementado en forma substancial el Banco de germoplasma de esa institución.

Dentro de los principales logros del CIAT se cuenta el aumento de rendimientos de la yuca. En un ambiente con suelos de fertilidad mediana a alta, en el trópico de altitud intermedia, se han obtenido rendimientos promedios de 40 ton/ha. e, inclusive, en base a ciertas variedades, se han alcanzado más de 60 ton/ha. con un contenido de materia seca superior a un 35 por ciento. Otros logros incluyen el desarrollo de mayor resistencia varietal a las enfermedades y plagas más comunes y la obtención de variedades de alto rendimiento que no requieren de fertilización química y de otras con rendimientos elevados en condiciones particulares edafoclimáticas, etc.

## 2. Cultivo de tejidos

El cultivo de tejidos goza de ventajas sobre la selección y mejoramiento de plantas ya sea por semillas o, asexualmente, por medio de estacas, como es el caso de la yuca. En efecto, el período de producción de una nueva variedad se puede acortar considerablemente para algunas especies y además las plántulas o clones obtenidos -genéticamente idénticos- están libres de contaminación viral la que afecta particularmente a la yuca (17 y 58). En el caso de la yuca el material utilizado, además de meristemas apicales, son tejidos de nudos y de tips.

El CIAT comenzó, en 1980, a utilizar estos métodos de micropropagación de la yuca para las nuevas adiciones al banco de germoplasma, ya que esta técnica permite la incorporación de clones libres de enfermedad y plagas. Posibilita, además, la conservación del material vegetal por largos períodos, bajo condición que las plántulas sean transferidas a un medio de cultivo nuevo aproximadamente cada dos años. De este modo, el almacenamiento de germoplasma se hace más costeable que el tradicional. De hecho el CIAT está transfiriendo gradualmente su banco de germoplasma a este nuevo tipo de almacenamiento (16).

Otra técnica utilizada más recientemente por el CIAT es el cultivo de embriones, pero está sólo en sus inicios. Con la utilización de la técnica del cultivo de tejido, las plantas de variedades tradicionales de yuca obtenidas a partir de meristemas rinden un 50% más de raíces y de material

de siembra que aquéllas provenientes de estacas. Esto se debe posiblemente a que la primera de las dos técnicas erradica enfermedades y virus que atacan el vigor y la fisiología de la yuca. Otros sistemas de propagación vegetativa rápida de yuca, y poco costosos, son a partir de brotes desarrollados de estacas de dos nudos y de esquejes de una sola hoja y yema (ibidem).

### **3. Inoculación de micorrizas**

A comienzos de 1981 se inician las investigaciones sobre micorrizas y a la fecha se ha logrado, mediante diversos inoculantes, que la planta desarrolle una mayor capacidad de absorción de fósforo. Esto ha redundado en mejores rendimientos, pero a la vez se ha detectado que la aplicación de la técnica depende de las poblaciones nativas de micorrizas. En efecto, en un caso en que se inoculó una cepa eficaz en un suelo que abrigaba una cepa ineficiente, los rendimientos de la yuca se incrementaron en un 90 %. En general, los ensayos con micorrizas en terrenos de cultivo de yuca registran aumentos de producción del orden de un 30%. El CIAT poseía hacia 1984 cerca de 400 cepas diferentes y su investigación se dirigía a estudiar la interrelación entre cepas de micorrizas, tipos de suelos y rendimientos de yuca.

### **4. Efectos biocidas del aceite de la semilla de yuca**

Investigaciones realizadas por el Central Tuber Crops Research Institute en Kerabe, India, utilizan variedades de yuca con gran ramificación y abundantes flores y semillas que dan un rendimiento en semillas de 2 a 3 kgs. por planta. El objetivo es producir aceite de semilla de yuca que sirve como

insecticida eficaz. El procedimiento para producir aceite comienza con la extracción de los lípidos de los frutos, que constituyen en promedio un 40% de la semilla. El proceso de extracción dura 16 horas -mediante el método SOKHLET- y produce un rendimiento de 25-30% de aceite de color amarillo claro y de olor muy suave.

En el control del Trips de la yuca (*rethrus syriacus*) se han experimentado diversas concentraciones del aceite de yuca. La investigación se orienta, por lo tanto, a lograr variedades de yuca que produzcan numerosas semillas sin afectar adversamente el rendimiento en raíces. Si esto se logra, las semillas podrían ser utilizadas asimismo como forraje para animales y el aceite extraído se usaría como materia prima del insecticida de origen vegetal.

### **5. Control Biológico de Plagas**

En el caso de la yuca, el control de plagas mediante productos químicos es particularmente ineficaz debido, sobre todo, al largo período de cultivo (hasta 18-22 meses). Una de las formas de sustituirlo es mediante el control biológico de plagas.

El CIAT ha orientado sus esfuerzos a estudiar el control biológico del gusano cachón (*Erimmyis ello*), plaga muy común en las tierras cultivadas con yuca. Una de las formas más frecuentes de control es el parasitismo en huevos del gusano por medio de *trichogramma spp* y *telenomus sp*. El *trichogramma* es un parásito de mucha importancia ya que se encuentra todo el año en los campos de yuca y ocasiona parasitismos superiores al 50% y además es fácil de reproducir masivamente en laboratorio. Otros predadores

utilizados en forma masiva en el control biológico de E. ello son los siguientes: polistes, chinches podisus, avispas apanteles, algunos tachinidos, etc. El control biológico del gusano de la yuca puede también recurrir a virus y a bacterias. La bacteria thurigiensis puede ser adquirida comercialmente; ésta ataca eficazmente a las larvas de E. ello y no afecta a los enemigos naturales del gusano ni tampoco a otros insectos (45, pp 259-261).

Sin duda alguna, el trabajo adelantado en este cultivo es de una importancia significativa. En 1988 se realizó un seminario en el CIAT donde se expusieron los distintos avances en la investigación de este cultivo, formándose una red de centros de investigación con el objeto de planificar, coordinar y buscar la complementación entre los diferentes esfuerzos, teniendo conciencia que los esfuerzos individuales (por institución) no podrían, por la misma escasez de recursos, resolver los grandes problemas de este producto. En total se presentaron 19 ponencias, las cuales demuestran los grandes potenciales de la biotecnología en el mejoramiento de la yuca, así como la importancia del establecimiento de la red internacional. El CIAT y el IITA presentaron lo que serían los principales problemas y áreas de investigación, que definirían el quehacer de la red en investigaciones avanzadas sobre yuca, las cuales se utilizan en este informe para definir la estrategia en biotecnología para este cultivo.

#### **F. La Biotecnología y el banano**

De las investigaciones hechas se ha logrado ubicar cuatro lugares donde se trabaja en programas relacionados con el banano y el plátano. El Instituto

Internacional sobre Agricultura Tropical (IITA) trabaja en cultivo de tejidos orientado hacia: eliminación de enfermedades; propagación rápida y distribución internacional de material genético libre de virus; conservación de germoplasma; evaluación y desarrollo de otros sistemas de cultivo de tejidos, para apoyar a los cultivadores en la obtención de variedades deseables de plátano.

Para la eliminación de enfermedades, este instituto utiliza el cultivo de meristemas en combinación con métodos de inducción de virus. En este laboratorio la utilización del medio para meristemas se hace rutinariamente y un total de 50 variedades de plátano y banano han sido regeneradas por medio de esta técnica.

El medio para la multiplicación rápida a partir de cortes en nódulos (bulbos de apical y axilares -apical and axillary buds), está bien establecido. Es posible regenerar plantas de las yemas, a partir de cortes de bulbos de yam. El cultivo *in-vitro* fue estimulado cuando se usó una concentración de azúcar en el medio de 5%.

En cuanto a la conservación de germoplasma, se tienen 250 clones de germoplasma de plátano que se mantienen en condiciones normales de crecimiento. Con el plátano también se ha desarrollado la metodología del cultivo de embriones. Este tipo de cultivo se ha aplicado rutinariamente para germinar semillas híbridas de plátano y banano diploide (resistente a la sigatoka negra). Con el plátano fue obtenida una variación somoclonal en el proceso de multiplicación, y se encontró que era de un genotipo específico. Un aspecto importante de la varia-

ción somoclonal, fue la reversión de "false horn type" (ausencia de flores machos) a un tipo fresco (con una inflorescencia total), que permite utilizar este material en el programa de cultivo.

**La Fundación Hondureña de Investigación Agrícola** trabaja en fitomejoramiento con los procedimientos tradicionales de mejoramiento genético. Esta institución es la que más ha avanzado en la región latinoamericana en cuanto al fitomejoramiento del banano. Sus áreas fundamentales de trabajo son: el mejoramiento genético de plantas resistentes al fusarium 4, o mal de Panamá II, y a la sigatoka negra.(30)

La sigatoka negra actualmente se enfrenta o ataca por medio de dos diferentes enfoques; el primero, consiste en buscar una mayor racionalidad entre el clima, la acción de los fungicidas y la biología del hongo y, el segundo, en el mejoramiento genético tradicional. Según la FHIA, el costo anual por el control de la sigatoka negra, en 1987, significó casi 120 millones de dólares para los países latinoamericanos productores y exportadores de banano; costo que, para 1992, se estima que alcanzará casi los 164 millones de dólares.(30)

Actualmente la FHIA ha logrado desarrollar plantas resistentes a la sigatoka negra, aunque estas plantas no producen un fruto que reúna las características comerciales necesarias. En cuanto al mal de Panamá F-4, sólo trabaja la FHIA y ha desarrollado variedades resistentes a una nueva raza del mal de Panamá que sí afecta a los bananos actuales. En Panamá se ha establecido un programa de biotecnología, para lo cual se implementó un

laboratorio de cultivo de tejidos, que trabaja en la inducción de mutaciones en cavendish para introducir resistencias a la sigatoka negra. Este esfuerzo es financiado con el apoyo de la Organización Internacional de la Energía Atómica, de la AID y de la Organización de Productores y Exportadores de Banano (Consultoría PSA). En Costa Rica, el CATIE, con el apoyo de la cooperación francesa, ha iniciado un programa biotecnológico para el mejoramiento genético del banano con el objetivo de desarrollar nuevos materiales de cultivo con resistencia especialmente a la Sigatoka Negra y a la Raza r del Fusarium (causante del Mal de Panamá). Además, se plantea investigar, entre otros problemas, los relacionados con el Bunchy Top o cogollo racimoso del banano -sigatoka amarilla-. Así, también estos nuevos materiales deberán reunir los requisitos de calidad del mercado internacional. Por otra parte, se piensa fortalecer la colección de germoplasma (en campo, in-vitro y crio-conservación). Por último, se quiere intensificar la investigación en el uso de métodos de mejoramiento para el desarrollo de los nuevos materiales, a partir de la inducción de mutaciones, variación somoclonal, la fusión de protoplastos y el ADNr. Este proyecto cuenta con el apoyo de la UPEB, y actualmente se esta buscando financiamiento.

#### **G. Perspectivas biotecnológicas en el desarrollo de la ganadería**

Hasta el momento, la ganadería es el sector que ha sido el más impactado por las biotécnicas, previéndose, para el futuro mediano, transformaciones de gran profundidad. Las perspectivas de la transformación tecnológica en la producción ganadera, están sustentadas



en 12 nuevas tecnologías emergentes, a partir de la revolución biotecnológica, las cuales describimos brevemente a continuación: (67)

### **1. Ingeniería genética animal**

La cual incluye una serie de procedimientos que permiten manipular a los genes, dentro de los cuales, en el área pecuaria, podemos mencionar tres:

**a. Técnicas de recombinación del DNA, que permiten alterar las formas naturales de la vida.** Una de las aplicaciones concretas es la producción de hormonas del crecimiento, que pueden ser inyectadas a los animales, para incrementar la productividad. En este campo, Monsanto, Eli Lilly, y otras firmas, están desarrollando hormonas de crecimiento (las cuales son producidas, en forma natural, por la glándula pituitaria del ganado y sintetizadas).

Estas hormonas de crecimiento, proláctinas (que estimulan la producción de leche), enzimas digestivas e interferones, permitirán aumentar tanto el crecimiento y la producción de leche, como la resistencia a enfermedades. La inyección de esta hormona en una vaca permite incrementos en la productividad que oscilan del 10 al 40%. La introducción comercial de esta hormona se esperaba en 1988 (67 y 68). Es sabido que Monsanto, en este momento, está probando el uso de tal hormona en ganado costarricense, a través del programa de mejoramiento ganadero que lleva adelante el CATIE. Otra técnica, dentro de esta área, es resultado de la manipulación genética y manipulación de embriones, lo que permitirá que genes recombinados sean insertos en las células reproductoras

del ganado y de las aves, lo que se reflejará en un mejoramiento en la salud animal y en la productividad.

Esta técnica posibilitará que las características deseadas puedan ser heredadas dentro de las diferentes generaciones, superando, por lo tanto, la importancia de las hormonas de crecimiento (las cuales no son heredables). A partir de esta técnica, científicos del USDA, en el Centro de Investigaciones Beltsville Agriculture de Pensilvania, están llevando adelante experimentos para producir mejores corderos y cerdos, como resultado de inyectarles genes de las hormonas humanas del crecimiento en sus células reproductivas. Los embriones, después de ser inyectados con la hormona del crecimiento, son depositados nuevamente en la matriz de la madre.

**b. Técnicas de producción de anticuerpos monoclonales.** Los anticuerpos son proteínas producidas por glóbulos blancos, en reacción a sustancias extrañas en el cuerpo como son los virus y las bacterias, los que son así inactivados. La sangre animal era la fuente principal de los anticuerpos utilizados como inmunizantes en la medicina; pero el suero sanguíneo contiene sólo cientos de éstos y por lo tanto la producción de anticuerpos específicos era limitada.

La biotecnología permite, actualmente, la producción masiva de éstos mediante la técnica de los anticuerpos monoclonales. Esta utiliza mielomas (células cancerosas productoras de anticuerpos) que son fusionadas con otras productoras de un anticuerpo específico. El resultado de la fusión es un hibridoma que fabrica, indefinidamente en principio, gran cantidad de anticuerpos idénticos (y por lo tanto

monoclonales) en forma pura y concentrada. De este modo se producen hoy anticuerpos capaces de combatir los principales virus, bacterias, hongos y parásitos infecciosos, y de diagnosticar la presencia de los mismos en los fluidos corporales.

Entre los muchos usos importantes de los anticuerpos monoclonales conviene recordar aquéllos aplicables a la ganadería: purificación de proteínas obtenidas con el ADN; inmunización de terneros contra ciertas pestes; sustitución de vacunas, antitoxinas y antídotos contra venenos convencionales; determinación del sexo de embriones del ganado; diagnóstico post-coital de contracepción y preñez; tratamiento de células cancerígenas; diagnóstico de los niveles de presencia de hormonas y drogas; prevención del rechazo de transplantes de órganos; detección de venenos en los alimentos (ibidem, pp 35-36).

**c. La transferencia de embriones.** Esta técnica permite mejorar rápidamente la calidad del hato, sobre todo vacuno, y elevar la productividad en términos de carne y leche. Hasta hace poco la inseminación artificial era la técnica más avanzada: con un sólo reproductor se podían fecundar hasta 100,000 vacas por año. Desde los años 70 se comienza a introducir la transferencia de embriones de vacas "super-ovuladas", es decir, que han recibido drogas capaces de aumentar su ovulación. Las vacas son fecundadas artificialmente y los embriones resultantes son extraídos de manera no quirúrgica (por succión).

Antes de implantar los embriones en vacas nodrizas, éstos pueden recibir el sexo masculino (preferentemente para ganado de carne) o el femenino

(para ganado lechero) mediante el empleo de anticuerpos monoclonales; pueden ser divididos para obtener mellizos, fusionados con embriones de otras especies animales y, finalmente, congelados en nitrógeno líquido (hasta que se produzca el estro de las vacas nodrizas o "portadoras" en las cuáles se va a implantar el germen fecundado).

De este modo, una vaca genéticamente superior podrá producir 50 a 60 crías por año y -paradójicamente -sin dar a luz a ninguna. Es decir, que no sólo como antes un toro de calidad superior puede producir 100,000 terneros, sino además, estos terneros del mismo padre tendrían sólo 2,000 vacas madres de calidad superior. Esto reduce considerablemente los plazos de crianza y selección de animales: en un sólo ciclo se puede realizar significativamente la productividad del hato (6).

## 2. Reproducción animal

Con la utilización de la nueva biotecnología desarrollada en el área de la producción animal, en un término de 10 años, se tendrá un sistema totalmente nuevo de reproducción. Se espera que la técnica de la embrionización artificial, combinada con la técnica de recombinación genética, desarrolle un nuevo sistema que permitirá que se puedan depositar embriones en el útero de animales, cuyo ciclo menstrual ha sido artificialmente regulado, por medio de hormonas inyectadas, implantadas a través de un medio intravaginal. El óvulo proveniente de esta "superovulación" puede ser abstraído en forma quirúrgica o no, y luego ser fertilizado en el laboratorio con un espermatozoide proveniente de un animal de alto pedigrí. Este óvulo

luego puede ser cultivado, congelado y almacenado hasta que sea necesario.

La introducción al vientre de la madre nodriza del óvulo se hará en forma no quirúrgica. En este proceso se le puede definir el sexo al embrión, si se va orientar a leche o carne, reducir la mortalidad de los mismos, así como combatir las causas de infertilidad.

Como resultado de esta revolución tecnológica en la reproducción animal -y en la medida que se continúe trabajando fuertemente en esta línea de investigación-, para finales de este siglo, 9 años, se tendrá una comercialización bastante extensa de embriones transformados por medio de la ingeniería genética, los cuales tendrán un mapa genético programado para una mayor fertilidad, fecundidad, productividad y una mayor resistencia a plagas y enfermedades. Todas estas posibles transformaciones buscarían una mayor eficiencia que se refleje en la posibilidad que, con una menor cantidad de animales, insumos y fuerza de trabajo, se produzcan cantidades iguales o superiores de carne y leche.

### **3. Regulación del crecimiento animal y desarrollo**

El conocimiento de los mecanismos metabólicos, hormonales y celulares, que determinan cómo y en qué medida los nutrientes son asignados al crecimiento (de los músculos, grasa, huesos y tejidos), es un área de la investigación biotecnológica que está en proceso para poder obtener tecnologías que permitan el desarrollo de nuevos productos, una mayor productividad y eficiencia, así como la composición del crecimiento de los anima-

les. Las aplicaciones de la ingeniería genética, el clonaje y la inmunología en la consecución de estos objetivos, ofrecen promisorios resultados.

Estos avances podrían permitir generar un ganado más pequeño, con menores costos de mantenimiento, lo que daría la posibilidad de abaratar la producción de la carne, así como la alternativa de ampliar o popularizar su consumo. Igualmente, se prevé la posibilidad de asignar más vitalidad al desarrollo de animales que tengan una mayor asignación proteica, hacia el desarrollo de músculos en contra de los tejidos adiposos (grasa).

### **4. Nutrición animal y salud humana**

Aunque la importancia de la producción animal no es la determinante en la dieta de la población centroamericana, en la medida que cerca del 80% tiene una base alimentaria en términos de calorías y proteínas provenientes de alimentos vegetales, es importante mencionar cómo se están desarrollando técnicas que permitirán la producción de productos cárnicos y lácteos, que estarán en gran medida mejor adaptados a las características del cuerpo humano, dado que estos productos podrán ser desarrollados de tal manera que no sean contrarios a la salud humana. En esta línea se presentan cinco grandes áreas de investigación (que es probable que en los próximos 20 años tengan resultados importantes). Estas son: a. relación entre el consumo de productos animales y la salud humana; b. microbiología alimentaria y la fisiología digestiva; c. control voluntario de las cantidades de alimentos ingeridos; d. nutrición material y desarrollo progenital y e. acuicultura.

## **5. Control de enfermedades y pestes**

Las enfermedades y pestes tienen una alta incidencia en la rentabilidad pecuaria. Actualmente, son causantes de grandes pérdidas, por lo que las investigaciones biotecnológicas en este campo son muy amplias y las áreas prioritarias de trabajo son, entre otras: a. sistemas de análisis y administración; b. tests de diagnósticos rápidos; c. selección rápida para la resistencia de enfermedades de los animales; d. ingeniería genética de micro-organismos y embriones; e. inmunología. Las posibilidades en este campo podemos verlas en el cuadro No.5

## **6. Medio ambiente y comportamiento de los animales**

Esta área de trabajo de la biotecnología esta orientada a resolver los problemas que se generan en la ganadería intensiva, fundamentalmente la ganadería estabulada, la cual confina a los animales en espacios reducidos y en un medio ambiente artificial. Esto normalmente genera efectos negativos sobre el funcionamiento y comportamiento de los animales. Las investigaciones en este campo se orientan a la conservación de energía, optimización del

stress, resistencia a las enfermedades provocadas por el stress y fotoregulación del fenómeno fisiológico (esto principalmente en el caso de la producción de aves).

## **7. Utilización industrial del estiércol y desechos agrícolas, etc.**

Los inmensos volúmenes de biomasa que significan estos dos tipos de material, han sido siempre sujeto de estudio para su aprovechamiento, actualmente por medios biotecnológicos, de forma tal de poder producir a partir de ellos energía, abono y alimento para animales, así como productos químicos, esto último de los residuos agrícolas. Por otra parte se llevan investigaciones tendientes a volver rentable la recolección de este tipo de biomasa.

8. Las otras cuatro áreas de desarrollo tecnológico, que se complementan con las potencialidades de la biotecnología, para prever una transformación total y un incremento sustancial en la rentabilidad de la actividad pecuaria son: control y monitoreo de animales, comunicaciones y administración de información, telecomunicaciones y ahorro de fuerza de trabajo.

**CUADRO NO.5**  
**PERDIDAS POR ENFERMEADES Y PERSPECTIVAS DEL USO DE LA**  
**BIOTECNOLOGIA EN LA PRODUCCION DE VACUNAS.**

<b>Vacunas</b>	<b>USAR</b>	<b>Pérdidas</b>	<b>Efectividad</b>	<b>Posibilidades</b>
<b>Enfermedad</b>		<b>Económicas</b> <b>En PSD*</b>	<b>Existente</b>	<b>BIOTEC PB**</b>
Tuberculosis		Altas	Cuestionable	Medias
Diarrea neonatal		Altas	Pobre	Altas
Enfermedades respiratorias bacterianas		Altas	Pobre	NBI***
Fiebre africana		Alta	Ninguna	Altas Porcina
Enfermedades homotrópicas		Altas	Pobre	Altas
Rabias		Altas	Variable	Altas
Enfermedades de los pies y de la boca		Altas	Regular	Altas
Pestes que atacan la piel		Altas	Excelente	No Aplic.
Estomatitis vesicular		Baja	Ninguna	Altas
Cólera caliente		Altas	Buena	Buenas
Encefalitis equina		Altas	Buena	Buenas
Brucelosis		Altas	Regular	NBI***

FUENTE: SRI International, Biotechnologie in agriculture,  
 Report No. 707, Etats-Unis, Fall 1984.

\* PSD: Países subdesarrollados

\*\* PB: Producción de vacunas

\*\*\* NBI: Necesidad de investigación básica



# II

## Impactos y Calendario Previsible de las Biotecnologías Emergentes en la Agricultura y la Ganadería

### A. Producción y rendimientos en la agricultura

Como ya se mencionó, la biotecnología en curso generará grandes transformaciones en la agricultura y la ganadería que se reflejarán, por una parte, en la reducción de los costos de producción, como resultado de todas las transformaciones mencionadas anteriormente (que permitirán mejorar las relaciones entre el suelo, el agua y las plantas, así como una mejor conversión de las proteínas vegetales en proteína animal); por otra parte, esto significará cambios importantes en los rendimientos o biomasa producida por unidad de superficie -en cuanto a los bienes agrícolas se refiere- y una mayor productividad en carne y leche; además se producirán alimentos de mejor calidad y más adecuados a las necesidades de los humanos.

Para poder concretar los impactos posibles en los rendimientos, hemos introducido el cuadro No.6, que muestra los cambios esperados en algunos productos de la agricultura norteamericana, como resultado de la aplicación de paquetes tecnológicos que incor-

poran la biotecnología. Los rendimientos variarán dependiendo del paquete tecnológico que se adopte; así, por ejemplo, en el caso del maíz, el paquete tecnológico A significa la aplicación de ingeniería genética, control de enfermedades y nemátodos, mejoras en el manejo de la relación suelo-agua-planta, manejo de insectos y plagas e introducción de las comunicaciones e informática. Se señala que en el caso de Estados Unidos, existirán plantaciones de maíz robotizadas para mediados de los años 90.

El incremento en los rendimientos en el escenario III, que implica que los recursos dedicados a la investigación y extensión se incrementen en un 4% anual, serían de un 28.5%, lo que implicaría elevar los rendimientos de 5.1 a 6.6 TM/ha. en el año 2000, o sea aumentar en 1.45 Tm la producción por hectárea. Lo anterior equivale a incrementar casi un 100% los rendimientos promedios de la región, los cuales entre 1979-1983 fueron de 1.48 Tm/ha., así como ampliar significativamente el gap tecnológico. Análisis similar se puede hacer para el resto de cultivos mencionados en el cuadro.

**CUADRO NO. 6**  
**ESTIMACION DE CAMBIOS PORCENTUALES EN LOS RENDIMIENTOS EN LA**  
**AGRICULTURA NORTEAMERICANA**

Producto	Paquete Tecnológico*	Escenarios		
		I	II	III
MAIZ	A	15.6	21.5	28.5
	B	8.8	14.4	20.8
	C	-31.2	-28.8	-28.0
ALGODON	A	5.4	9.0	12.0
	B	2.3	2.8	3.1
	C	0.0	0.0	0.0
ARROZ	A	8.4	12.4	15.6
	B	8.8	14.4	18.6
TRIGO	A	24.0	24.0	24.0
	B	1.5	1.5	1.5
	C	5.0	5.0	5.0
SOYA	A	14.9	22.1	23.9
	B	4.9	7.2	7.5
	C	5.0	5.0	5.0

\*Los paquetes "A" implican el uso de la biotecnología.

FUENTE: Office of Technology Assessment, Technology (67)

Como es observable en el cuadro anterior, las biotécnicas no son una panacea; sin embargo, sus impactos futuros en la agricultura serán de gran profundidad.

Para constatar un poco más el nivel de la transformación que se producirá en la agricultura, veamos los cambios esperados en los rendimientos de algunos productos agrícolas.

Si relacionamos el reporte del cuadro 7 con los posibles campos de acción de las biotécnicas descritas anteriormente, podemos señalar que el elemento central que determinará en el futuro las posibilidades de comercializar productos agrícolas en el mercado mundial, será la eficiencia en la productividad. Esto significa, como ya se expresó, que las tradicionales ventajas comparativas que las economías de los países de la región, y del mundo subdesarrollado en general, han utilizado para exportar -como son las condiciones naturales de la región y los bajos salarios pagados a la fuerza de

trabajo-, pasarán a tener un segundo o tercer orden de importancia.

#### **B. Reducción de los tiempos y costos en la producción de nuevas variedades**

La posibilidad de reducir los períodos de generación de nuevas variedades será una realidad con el desarrollo de las biotécnicas, lo que, sin duda alguna, es un aspecto que revolucionará la agricultura. Si nuevas plagas o enfermedades aparecieran en las variedades existentes será posible, en un menor tiempo, y por lo tanto a un menor costo, crear nuevas variedades resistentes a estas enfermedades. Este aspecto vendría a ser un elemento de defensa contra el peligro de tener plantas clonadas (idénticas a sí mismas y en todas sus características), ya que el surgimiento de nuevas plagas y enfermedades tendría efectos más devastadores que en la actualidad (un caso concreto de este problema se da en el banano con los clones cavendish). La reducción en el tiempo de generación



**CUADRO-NO.7**  
**RENDIMIENTOS ACTUALES Y POTENCIALES DE PRODUCTOS AGRICOLAS Y**  
**FORESTALES**  
**(Tons./ha.)**

Producto	Rendimiento Actual	Rendimiento Potencial
Caña de azúcar	75-90	150-200
Mandioca o yuca	15-20	60-100
Tomate	20-40	60-100
Aceite de palma	2-5	10-12
Cacahuete	1,6	4
Aceite de castor	0,6	2,5
Madera clima templado	---	30-40
Madera tropical	10-20	40-60
Coníferas clima templado	6-8	20-30
Coníferas tropical	12-20	40-60
Bambú	25	100
Pasto Guinea	25	50

SOURCE: ATAS BULLETIN, Octubre 1984, Vol I, No. 1 , p 15

de nuevas variedades podemos verlo en el cuadro No. 8.

### C. Producción y rendimientos en la ganadería

Como resultado de las posibilidades -en el horizonte cercano- de desarrollo de las biotécnicas en el área pecuaria, los efectos más inmediatos de la introducción de la biotecnología van a ser sentidos con mayor fuerza en la ganadería que en la agricultura. En la ganadería las técnicas ya descritas de transferencia de embriones, inserción de genes, hormonas de crecimiento bovino y otras, permitirán aumentar la productividad en la producción de leche y carne y no sólo en el caso de los bovinos sino también en aves, cerdos y ovejas. Según estimaciones del informe OTA, ya citado, el impacto de la nueva tecnología en la eficiencia de producción animal para ese país hacia el año 2000, registraría crecimientos mayores en la producción de leche si las nuevas tecnologías (hormonas de crecimiento y aditivos a los alimentos) son adoptadas completamente (ver cuadro No.9).

A nivel mundial, en los próximos 10 o 15 años, la ganadería tendrá impactos trascendentales por las innovaciones biotecnológicas, aumentando su productividad en las diferentes etapas del subsistema. En el campo se prevén incrementos hasta del 100 por ciento en los rendimientos de pastos (en el caso del pasto guinea, podría tener rendimientos de 50 TM/ha., en relación a las 25 TM/ha. que se obtienen actualmente), además se podrá mejorar la calidad nutritiva de éstos. Lo cual significará transformar la ganadería extensiva hacia la forma de producción intensiva, sin tener que hacer grandes inversiones en sistemas de riego o de utilización intensiva de alimentos balanceados (o sea el modelo norteamericano).

A nivel del animal propiamente tal, la transferencia de embriones permite mejorar genéticamente el hato en forma acelerada, y elevar la productividad en carne y leche. En 1984, en los Estados Unidos, la producción promedio por vaca fue de 12,500 libras de leche; con el mejoramiento genético se prevén incrementos que pueden ir de

**CUADRO NO. 8**  
**CRONOGRAMA DEL DESARROLLO DE NUEVAS VARIETADES MEDIANTE**  
**LA VARIACION SOMOCLONAL**

Espece	Mejoramiento convencional (Años)	Variación somoclonal (Años)
Tomate	7 - 8	3 - 4
Remolacha azucarera	14 - 15	7 - 8
Café de azúcar	14	7
Café	15 - 20	7 - 10

FUENTE: Quintero, Ramírez Rodolfo (73)

**CUADRO No. 9**  
**IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGIA SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE LA**  
**GANADERIA**

	1982	Tasa crecimiento 2000	anual ( % )
<b>Ganado de carne:</b>			
Lbs. de carne por lb. alimento	0.07	0.072	0.2
Terneros por vaca	0.88	1.000	0.7
<b>Ganado de leche:</b>			
Lbs. de leche por lb. alimento	0.99	1.03	0.2
Leche por vaca por año (1,000 lb.)	12.30	24.70	3.9
<b>Aves:</b>			
Lbs. de carne por lb. alimento	0.40	0.57	2.0
Huevos por ponedora por año	243.00	275.00	0.7
<b>Cerdos:</b>			
Lbs. de carne por lb. alimento	0.157	0.176	0.6
Crías por marrana por año	14.400	17.400	1.1

Fuente: Office of Technology Assessment, 1986, p 10 (67)

las 20,000 a 24,000 libras de leche al año por animal que esté en la producción comercial.(55)

Por otra parte, es promisoría la posibilidad de regular las hormonas del crecimiento, lo que implicará definir estatura y volumen de carne de los animales. Asimismo se están realizando

investigaciones sobre las hormonas que determinan la capacidad digestiva del animal, para poder regular su capacidad de conversión de alimento vegetal en proteína animal, lo que significaría reducir los requerimientos de cereales por kilogramo de carne. De igual manera, se está investigando en las técni-

cas que puedan influir en la textura y consistencia de la carne.

Actualmente ya se logró, con el uso de hormonas de crecimiento, que los cerdos se desarrollen en dos terceras partes del tiempo normal (además de que produzcan el mismo volumen de carne con menos contenido de grasa y con una ingesta alimenticia de menor cantidad); esto último, debido a que dichas hormonas desarrollan en el cerdo la capacidad de asimilación de los alimentos, reduciéndose el índice de requerimientos de volúmenes de proteína vegetal para la producción de proteína animal. En el presente ya se está trabajando en la posibilidad de introducir a la base genética de los cerdos estas características; el problema, todavía no resuelto, se relaciona con garantizar la heredabilidad de estas cualidades en forma estable. (59 y 67)

Respecto a la salud animal, los posibles impactos de la biotecnología son de mucha esperanza, dado que al desarrollar características genéticas en el animal, que en forma propia pueda combatir ciertas plagas y enfermedades, revolucionará este campo, haciendo innecesaria la implementación de grandes campañas sanitarias. Por ejemplo, en el control de la garrapata, si el animal mismo genera las toxinas necesarias para combatir esta plaga, puede tener resultados positivos constantes sin depender que otros ganaderos también combatan dicha plaga.

Por otra parte, la producción de vacunas a través del ADN será más rápida y segura, garantizando más pureza, mayor eficacia y más especificidad en cuanto a virus y enfermedades bacterianas. Además estas nuevas vacunas podrán ser almacenadas con mayor

seguridad, mejor transportadas, etc. (67 y 4). (Ver cuadro No. 5)

#### **D. Calendario Biotecnológico**

En qué momento se puede decir que la biotecnología se volverá un factor que transforme en forma profunda y generalizada la agricultura. Según estudios de la Oficina de Tecnología del Congreso de los Estados Unidos, y otras fuentes, para el año 2000 existirá un comercio generalizado de plantas transformadas por técnicas biotecnológicas. En el cuadro No. 10 puede apreciarse, en lo concreto, los períodos en que se espera se hará ya una utilización masiva de plantas transformadas totalmente, por medio de técnicas biotecnológicas. Es correcto deducir de dicho cuadro que -de hecho- la biotecnología ya está presente de forma importante en casi todos los productos que interesan a la región, y que el momento en que éstos productos serán transformados profundamente está en el corto plazo.

A continuación, hemos introducido los Cuadros No. 11 y 12 que nos permiten ver concretamente el calendario biotecnológico (a nivel de las diferentes técnicas que se están desarrollando -o vayan a desarrollarse- a partir de la biotecnología en plantas y en animales), aclarando que este calendario, así como puede ser adelantado, también podría atrasarse (lo cual dependerá, en lo fundamental, de los esfuerzos que se sigan haciendo en el área de la investigación y desarrollo de las metodologías y técnicas necesarias).

Los tiempos previstos, no reflejan el calendario biotecnológico en relación a cuándo estos adelantos tecnológicos le llegarán al productor de la región.

Sin duda alguna, el acceso a esta tecnología por parte de la agricultura comercial de los países desarrollados, será el primer paso; como resultado -en primer lugar- que la tecnología que se desarrolla en estos países responde a las necesidades de su agricultura y, por otra parte, dicha agricultura tiene la capacidad económica para absorber

estas nuevas técnicas. En el caso de los países de la región, serán los productores de la agricultura comercial los que, sin duda alguna, podrán absorber las biotécnicas. En cuanto a la agricultura campesina y la ganadería extensiva, la absorción o transferencia dependerá, entre otras cosas, de las acciones que tomen los Estados al respecto.

CUADRO NO.10  
Utilización masiva de Plantas transformadas

Producto	Primeras variedades comercializadas	Manipulación genética In-vitro	Primeras plantas transformadas totalmente	utilización masiva plantas transformadas
Maíz	actualmente	ya existen	inicios años 90	mediados año 90
Trigo	1984-1986	1985-1986	Inicios años 90	mediados año 90
Arroz	actualmente	1985-1987	fin años 90	inicios año 90
Soya	1988-1990	cualquier año	inicios año 90	mediados año 90
Tomate	actualmente	1984-1986	1983-1984	mediados año 90
Caña de az.	actualmente	1987-1989	inicios an.90	mediados año 90
Algodón	1983-1985	1985-1987	inicios an.90	mediadas año 90

FUENTE: ATAS, BULLETIN, Octubre 1984, Vol. I, No. 1, p. 5

CUADRO NO. 11

CALENDARIO DE LA INTRODUCCION COMERCIAL DE LAS NUEVAS  
TECNOLOGIAS DE PLANTAS

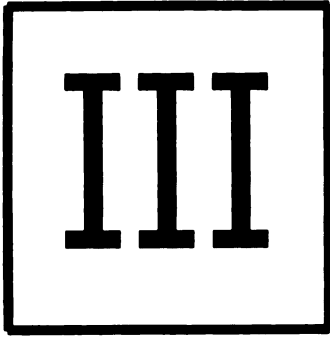
Tecnología	Período más probable	Tecnología	Período más probable
<b>INGENIERIA GENETICA</b>		<b>AGUA Y LA RELACION</b>	
Inoculación microbios	1990	SUELO-AGUA-PLANTA	
Propagación plantas	1983-1990	Comprensión a la tolerancia y resistencia a la sequía	2020
Ingeniería genética en plantas		Generación de plantas	1984
-vegetales	1990	Biotecnología:DNAR	
-cereales	2000	-Uso eficiente del agua	2030
-soya/algodon	1995	-Manejo del agua	1984
		-Sistema fotoeléctrico	1995
<b>AMPLIACION EFICIENCIA</b>		<b>MULTICULTIVOS</b>	
<b>FOTOSINTETICA DE PLANTAS</b>		Generación de plantas para sistemas intensivos de producción	1985
Procesos básicos de fotosíntesis	1983	Doble cultivo/con un cultivo intercalado	1985
Control de la fotosíntesis por medios internos y externos	1983-90	Competencia entre las plantas por nutrientes	1995
Fotosíntesis cambios por biología molecular y genética	1990-2000	Nutrición plantas con fertilizantes y microbiología	2000
Mecanismos de respuesta y adaptación a stress	1983-1995	Mecanización multicultivos	1990
<b>REGULADORES DEL CRECIMIENTO EN PLANTAS</b>		<b>MANEJO INSECTOS Y MICROBIOS</b>	
Control de crecimiento y desarrollo	1984	Controles químicos	2000
Resistencia a enfermedades insectos y pestes	1988	- Nuevos químicos	1984
Superación de afectaciones del medioambiente	1988	-Tecnología aplicada	1990
Preservación postcosecha	1986	Ingeniería genética	
		-Químicos Patogénicos	2000
		-Plantas	2005
<b>CONTROL DE MALEZAS</b>		<b>CONTROL DE ENFERMEDADES Y NEMATODOS</b>	
Reguladores biológicos por medio de tecnología química y biológica	1984-2000	Producción cultivos	1984
Químicos alelopáticos como bioreguladores	1995	Ingeniería genética	2000
Tolerancia de las plantas y susceptibilidad a agentes controladores	1998	Bactericidas, fungicidas y nematocidas	1990
Sistemas integrados de manejo de malezas y multicultivos anuales	1984-2000	Agentes biocontroladores	1990
		Disminución pérdidas de cosecha	1990
<b>FIJACION BIOLOGICA NITROGENO</b>		<b>TECNOLOGIAS AHORRADORAS DE MANO DE OBRA</b>	
mejoramiento de las razas del rhizobium	1984	Mecanización labores de frutas y vegetales	1985
Tolerancia al stress del rhizobium	1990-95	Fincas Robotizadas	
Legumbres más activas en la fijación de nitrógeno	1990-95	-Frutas y vegetales	2000
por la raíz en los cereales	> 2000	-Cereales	2000
Fijación de nitrógeno en cereales	> 2000		

FUENTE: Office of Technology Assessment, (67)

**CUADRO NO. 12**  
**CALENDARIO DE LA INTRODUCCION COMERCIAL DE LAS NUEVAS TECNOLOGIAS**  
**EN EL SECTOR PECUARIO**

Tecnología	Período más probable	Tecnología	Período más probable
<b>INGENIERÍA GENÉTICA</b>			
Producción fármacos	1982	<b>CONTROL DE PESTES</b>	
Control enfermedades infecciosas	1983	Insecticidas de liberación lenta	1984
Mejoramiento en la producción animal	2000	vacunas	1986
Detección y tratamiento de anomalías genéticas		Sistemas integrados	1989
-detección	1995	Modificación de hábitos de los insectos	2000
-tratamiento	2000	Desarrollo de resistencia animal a los insectos	2000
Control de cáncer y leucemia	1990	Utilización de sistemas de inmunización	1990
<b>PRODUCCION ANIMAL</b>			
Regulación ciclo menstrual	1989	<b>CONTROL DE ENFERMEDADES</b>	
Superovulación, transferencia de embriones y manipulación embriones	1983	Banco de datos y análisis de sistemas	1980
Mejoramiento fertilidad	1995	Métodos de diagnóstico	1986
Técnicas de Ingeniería para animales de finca	2000	Selección an base a resistencia a enfermedades	1999
		Ingeniería genética de microorganismos y embriones	
		-embriones	1999
		-microorganismos	1989
		Inmunobiología	1983
<b>REGULACION DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO</b>			
Músculo y tejido adiposo	1992	<b>UTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS VEGETALES Y EXCREMENTO ANIMAL</b>	
Hormona, suero, y elementos de los tejidos importantes para el crecimiento	2000	Energía a partir de heces	1985
Atracción inmunológica de los animales	1995	Químicos a partir subproductos vegetales	1990
<b>NUTRICION ANIMAL</b>			
Productos de consumo animal y salud animal	2000	Alimento animal a partir de subproductos vegetales	1990
Ruta alimentaria microbiológica, fisiología digestiva	2000	Alimento animal a partir de compuestos orgánicos	1995
Alimentación libre y eficiencia animal	1995	<b>AHORRO MANO DE OBRA</b>	
Nutrición maternal y desarrollo del feto	1984	Granjas robotizadas	2000
Acuicultura	1984		

FUENTE: Office of Technology Assessment, (67)



## Biotecnología y Agroindustria

### Consideraciones Generales

Las posibilidades que tienen las nuevas biotécnicas para obtener productos industrializados de segunda, tercera y hasta cuarta y quinta transformación, a partir de los productos agrícolas y de la biomasa en general, es otra parte de la biotecnología que se hace necesario estudiar con mucha prioridad, ya que permitiría industrializar al sector agropecuario, y por lo tanto darle otra dimensión y valorización a los diferentes subsistemas agrícolas. Además, la industrialización de la agricultura con las técnicas de la Ingeniería enzimática y la Ingeniería de la fermentación, podría convertir a casi todos los sub-sistemas agrícolas en fuente importante de proteínas, dándole otro carácter al Sistema Alimentario de Centro América.

De tal manera, la industrialización de productos y subproductos, tales como el azúcar, banano, forestales, yuca, café, etc, podría llegar a ser la base para la elaboración de una estrategia de desarrollo que permitiría a los países del CORECA impulsar un esquema económico más endógeno, para combatir en profundidad el problema

alimentario, así como utilizar de una mejor manera el potencial de sus recursos naturales.

La diversificación industrial de sus propios sistemas agrícolas, en los países subdesarrollados, podría ser el fundamento de un modelo económico más integral, con una capacidad de reproducción propia. Esta estrategia permitiría obtener una estructura productiva diversificada que daría una base más sólida a éstos países, para definir, de forma más independiente, su inserción en el mercado mundial. De tal forma, las economías de los países Centroamericanos estarían menos sujetas -por el desarrollo de sus fuerzas productivas- al comportamiento de los precios de uno o dos productos. De otra parte, su mejoría en la coyuntura de precios remunerativos favorecería de una manera más positiva y profunda la economía, para que ella misma tuviera una capacidad de absorción más significativa de beneficios extraordinarios.

Como lo señala A. Sasson, la mayoría de las biotécnicas han sido concebidas y perfeccionadas en los países industrializados, como es el caso de fermentaciones en continuo, inmo-

vilización de enzimas y de células, la ingeniería genética y el clonaje de genes. Sin embargo, el mismo autor señala que existen tecnologías tradicionales, sobre todo en el área de la fermentación, en los países en desarrollo. Sin tener necesariamente que recurrir a técnicas más sofisticadas, las mismas pueden ser mejoradas notablemente. Esto parece ser cierto en el caso de la alimentación (85, p 52).

Los subsistemas agrícolas, como es el caso de la caña de azúcar, banano y yuca, que actualmente tienen una mínima participación en el sistema alimentario de los países subdesarrollados, y que son fuente importante de calorías, podrían, con su industrialización, convertirse en una fuente importante de producción de proteínas vegetales, capaz de ser consumida directamente por el humano o de ser transformada en proteínas animales. Estos productos llegarían a ser una base importante para la producción de proteínas y pudieran convertirse en un elemento fundamental en el sistema alimentario de los países subdesarrollados. Para los países subdesarrollados, y más especialmente el Istmo Centromericano y la República Dominicana, esta estrategia no será fácil de implementar en un corto plazo, ya que, en el actual desarrollo mundial del capitalismo, las firmas multinacionales agrícolas están en un proceso de diversificación no solamente al interior de sus propias cadenas, sino también incorporando las firmas especializadas en bienes agrícolas, a toda la cadena agro-alimentaria. De otra parte, estas firmas multinacionales son las que tienen un mayor control sobre el desarrollo de las nuevas tecnologías biotécnicas. Por lo que en un futuro inmediato y a más largo plazo, el rol de las firmas multinaciona-

les será aún más importante en la definición de las nuevas tecnologías y también en los nuevos productos y servicios que crearán nuevas necesidades, ante las que será muy difícil competir.

Adicionalmente, las posibilidades de los pequeños países y de los países subdesarrollados para definir sus propias estrategias agro-alimentarias y un desarrollo global más endógeno, afrontarán las dificultades provenientes de presiones externas por imponer ciertas tecnologías, tanto de mercado y del financiamiento como de la comercialización.

Las dos técnicas que con metodologías biotecnológicas hacen posible esta forma de industrializar la agricultura son: la ingeniería de fermentación y la ingeniería enzimática, las cuales explicamos brevemente a continuación:

### **1. La ingeniería de la fermentación**

Estas biotécnicas funcionan con bacterias, hongos filamentosos, levaduras y algas unicelulares. Sus avances descansan en la manipulación genética de las bacterias útiles para la producción de alimentos, medicamentos y otros productos. Las bacterias desarrollan una gran capacidad de producción de proteína; así tenemos que mientras una res de 500 kgs. produce proteína en 24 horas, 500 kgs. de micro-organismos cultivados en fermentación pueden producir entre 5 y 50 toneladas en el mismo tiempo. Las fermentaciones microbianas tienen la ventaja de utilizar poca energía, dado que la fermentación puede usar procedimientos que no requieren altas temperaturas.



Otro cambio importante en este campo es la introducción de los bio-reactores en contínuo, que fue posible cuando se logró fijar en un sustrato los micro-organismos. Esta técnica tiene dos ventajas: ahorra el proceso de purificación o separación del producto obtenido y conserva los micro-organismos después de cada ciclo productivo (4 y 6).

## **2.La ingeniería enzimática**

Ella consiste en utilizar enzimas para facilitar y acelerar las reacciones químicas, lo cual permite aumentar la eficiencia de los procesos. Cuando éstas son fijadas en un soporte mecánico se logra conservarlas y hacer circular en contínuo la solución a través de las enzimas inmovilizadas. Actualmente se utilizan 20 enzimas, principalmente en la producción de alimentos (4). Las posibilidades concretas que estas dos biotécnicas permiten prever en la industrialización de la agricultura, se pueden observar con más detalle en la industrialización de la caña para azúcar, banano, productos forestales, yuca, etc.

A partir de estas técnicas las posibilidades de industrialización las podemos agrupar en dos grandes campos:

### **A. Agroalimentación y biotecnología**

Las aplicaciones de la biotecnología para el desarrollo de la industria agroalimentaria de la región, las podemos organizar en 4 grandes grupos:(11)

1) La aplicación de la biotecnología para el mejoramiento de las técnicas biotecnológicas tradicionales: panadería, bebidas, quesos, etc;

2) Para la producción de productos microbiales, principalmente proteínas, en volúmenes relativamente altos;

3) Producción y uso de enzimas;

4) Producción de aditivos para la industria alimentaria.

Dentro de estas posibilidades podemos destacar la producción de proteína unicelular, tanto para consumo humano, como animal. Esta proteína se obtiene por medio de la utilización de sustratos orgánicos, tales como la celulosa y hemicelulosa, el almidón y el azúcar, los cuales pueden provenir, entre otras fuentes, de los productos y subproductos agrícolas, tales como: la melaza y el bagazo -subproductos de la caña de azúcar-; sueros de la industria lechera; residuos de las plantas de pulpa de papel; del banano de desecho; de la yuca, residuos del café, etc.

Esta línea de desarrollo agroindustrial es de gran importancia para los países del CORECA, dados los grandes déficit que éstos presentan en términos de proteína para la población. Por otra parte, esta línea de industrialización biotecnológica puede ayudar a disminuir la fuerte dependencia agroalimentaria que presentan estos países, dado que la proteína unicelular puede sustituir las importaciones de oleaginosas orientadas a la producción de proteína animal. Cuba, en la actualidad, opera 14 plantas que producen proteína unicelular para el consumo animal, permitiéndole un uso integral de la caña de azúcar, así como la eliminación total de importaciones de proteína para consumo animal.

## **B. Biotecnología y química fina (11)**

Esta área de la biotecnología está basada en los procesos de fermentación; los productos de esta parte de la química pueden clasificarse en los siguientes grupos:

1) **Enzimas.** Estas son moléculas protéicas capaces de catalizar reacciones químicas. Tienen acciones muy específicas y presentan la propiedad de acelerar la velocidad de reacciones millones de veces. Actualmente se han identificado entre 2,500 y 3,000 enzimas, de las cuales alrededor de 200 han sido estudiadas y más de 20 se utilizan en escala industrial. La mayoría se obtiene a partir de microorganismos y sólo unas pocas a partir de plantas o animales. Las técnicas de inmovilización aplicadas a la producción de enzimas ha permitido reducir costos, además de posibilitar procesos en continuo.

La ingeniería enzimática y su aplicación industrial debe verse desde el ángulo de la producción de enzimas y de la utilización de éstas como biocatalizadores. En la producción de enzimas el uso de la ingeniería genética permite la extracción de enzimas de las plantas o tejidos animales, así como el logro de sistemas de producción de enzimas microbianas, aplicando las técnicas del ADN. Como biocatalizadores, éstas tienen un amplio uso en la industria de detergentes, medicina, producción alimentaria, etc.;

2) **Los aminoácidos.** Sirven para mejorar la calidad de los alimentos animales y humanos;

3) **Vitaminas.** Sirven para la preparación de alimentos humanos y animales.

En la actualidad se obtienen de síntesis química, no obstante, se visualiza la biotecnología como un medio para obtenerlas, dado que éstas se encuentran en forma natural (lo cual permitiría reducir costos y aumentar su producción);

4) **Polímeros;**

5) **Lípidos complejos;**

6) **Sustancias aromáticas.**

## **C. La Producción agrícola y los mercados químicos**

Dentro del campo de la química, en forma más general, se prevé que la biotecnología permitirá ampliar la producción agrícola hacia los mercados de la química bajo el criterio de que sus aplicaciones contribuirán a: (12)

- Disminuir los costos de producción y de transformación de la biomasa agrícola;

- Aumentar los volúmenes producidos a fin de satisfacer simultáneamente las necesidades agroalimentarias y las necesidades energético-químico, sin incrementar los precios agrícolas;

- Ampliar la gama de productos de la química orgánica.

## **D. Los campos de la Química orgánica clásica**

Los campos precisos de desarrollo que serían competitivos de la química orgánica clásica serían:

1) La alcohoquímica, derivada del etanol, que es una alternativa biotécnica de la química de "grandes inter-

mediarios", fundada sobre la transformación de materias primas de origen fósil (gas, petróleo); 2); La sucroquímica derivada de azúcares (glúcidos), alternativa biotécnica a la química de "especialidades".

## **E. La Biotecnología y la industrialización de la caña de azúcar**

### **1. La alcohoquímica y la sucroquímica**

La química orgánica se sustenta, básicamente, en la transformación de materias primas de origen fósil, o sea de recursos naturales no renovables como petróleo, gas y carbón. La biotecnología abre todo un campo de posibilidades para que la biomasa verde pase a ser una fuente de producción de los intermediarios químicos. Así, se puede definir la alcohoquímica como la química orgánica sustentada en la biomasa agrícola. Existen toda una serie de aspectos básicos necesarios de superar o de acceder a ellos para que la producción agrícola pueda entrar a los mercados químicos. A nivel de las economías industrializadas, esta posibilidad en gran medida se interrelaciona con las condiciones de desarrollo tecnológico y competitividad que tengan respecto de la petroquímica.

El fuerte desarrollo agrícola experimentado de la postguerra a la fecha, ha permitido a los países desarrollados tener a su disposición sustanciales cantidades de biomasa agrícola que pueden dar base a la alcohoquímica y que con la biotecnología podría incrementarse aún más. También se cuentan consideraciones de tipo político relacionadas con la perspectiva de tener una dependencia muy marcada

respecto a elementos estratégicos, a partir de un mercado como el petrolero, que no son totalmente controlados por ellos.

A nivel de la región del CORECA, los siguientes aspectos serían los que podrían determinar tomar la decisión de entrar al desarrollo de la química orgánica, a partir de la industrialización de la biomasa. Algunos de éstos elementos son igualmente cuestiones relevantes para impulsar la nueva química orgánica en los países industrializados. La química que se desarrolla en la región tiene como base materias primas fósiles, las cuales además de ser casi inexistentes, dependen de la importación de petróleo o de sus derivados, de ahí que la mayoría de los productos intermedios químicos que se utilizan en la industria manufacturera sean importados. Hay que recordar, además, que una de las causas del deterioro del sistema algodonero de la región, es la sustitución de sus productos por otros de origen petroquímico.

Los precios de obtención del petróleo importado, así como el grado y costo de la industrialización de sus derivados, son un elemento de peso en relación a lo que significaría producir internamente combustible y desarrollar la química orgánica a partir de la biomasa agrícola. Como se mencionó más arriba, el nivel de industrialización de los grandes intermediarios de la química orgánica es casi inexistente, de tal forma que el elemento central se reduce al precio de adquisición del petróleo.

El espectro de posibilidades de la química orgánica está casi exclusivamente restringido al desarrollo de la biomasa de la caña de azúcar y a las

alternativas que presenta la biotecnología para incidir de forma importante en la reducción de los costos de producción (en la medida que se den incrementos sustanciales en los rendimientos de producción por unidad de superficie).

Un segundo elemento a tener en cuenta en el desarrollo de la sucroquímica o sea la alcohquímica a partir de la industrialización de la caña para azúcar, es garantizar los volúmenes de biomasa necesarios para mantener funcionando esta industria. (12,y 59) Las cantidades de biomasa que se producen ya en la región permiten contar con una base suficiente para este desarrollo, así como de los posibles incrementos de ésta a partir de la introducción de las biotécnicas en la agricultura de la caña para azúcar, lo cual puede ser favorable para el desarrollo de la industria de los grandes intermediarios de la química orgánica.

Asimismo, los países desarrollados consideran que las posibilidades de la alcohquímica para aumentar la gama de los productos derivados de la química orgánica, es otro elemento que habría que tener en cuenta para el desarrollo de esta industria. (12) Como se verá más adelante, esta posibilidad existe con la alcohquímica y la sucroquímica.

Por último, en la región centroamericana, el desarrollo de la química orgánica a partir de la biomasa de la caña para azúcar, en lo fundamental, descansa en la voluntad política que exista para impulsar un Modelo de carácter endógeno, cuya justificación básica sería: la alternativa presentada por la sucroquímica de sustituir la producción de energéticos, y la impor-

tación de intermediarios químicos de origen petrolero, por la producción de los mismos a través de la industrialización de las materias primas producidas en la región, así como sustituir la importación de otros bienes intermedios y finales que se producirían a partir de la industrialización de la biomasa.

La posibilidad de valorización de la agricultura -al tener asegurada la materia prima básica- debería recibir una gran ponderación en la determinación de desarrollar esta industria (más allá del análisis puro de comparación de precios entre el petróleo y los costos de producción de energéticos y de los intermediarios químicos producidos a partir de la industrialización de la caña para azúcar).

## **2. Los campos de la alcohquímica y la sucroquímica**

La industrialización de la caña por medios biotecnológicos, permitiría para la región incursionar en dos grandes áreas de la química orgánica: la química de los grandes intermediarios -como el etanol- y la química de especialidades.

Esta visión estratégica de industrialización, puede ser la respuesta - clara y contundente- a la pérdida de los mercados mundiales del azúcar producida en la región y a los previsibles aumentos de la biomasa agrícola, producto de la aplicación de la biotecnología. Sin embargo, la estrategia que actualmente se está siguiendo como resultado del descenso del mercado norteamericano, es la especialización exclusiva en la producción de alcohol carburante, la cual es una visión restringida y peligrosa que llevará a la

región a continuar su dependencia en un solo producto, sea para consumo interno o para exportación, en contraste desfavorable con la alternativa de impulsar una industria con un gran abanico de productos intermedios y finales.

El mercado de los grandes intermediarios químicos susceptibles de ser producidos por vía biológica, se clasifican en dos grandes conjuntos: el etanol y los derivados del etanol.

El etanol deshidratado permite producir el etileno y sus derivados (cloruro de etileno, etileno glucol, etilbenzeno), los cuales han sido introducidos al mercado del plástico (el P.V.C., el polietileno), al de fibras, al de films, etc. El etanol oxigenado se transforma en acetaldehído y ácido acético, que tiene acceso al mercado de las pinturas, los cauchos y los productos alimenticios. Los productos obtenidos

a partir de la sucroquímica, aliada ésta a la química de especialidades, pueden clasificarse en cinco grandes familias: (12, cap.IV)

- **Los solventes:** etanol, butanol, acetona, butanediol e isopropanol;

- **Los ácidos orgánicos:** ácido láctico, ácido cítrico, ácido propiónico, ácido succínico, ácido acrílico, ácido acético, ácido tartárico y ácido fumárico;

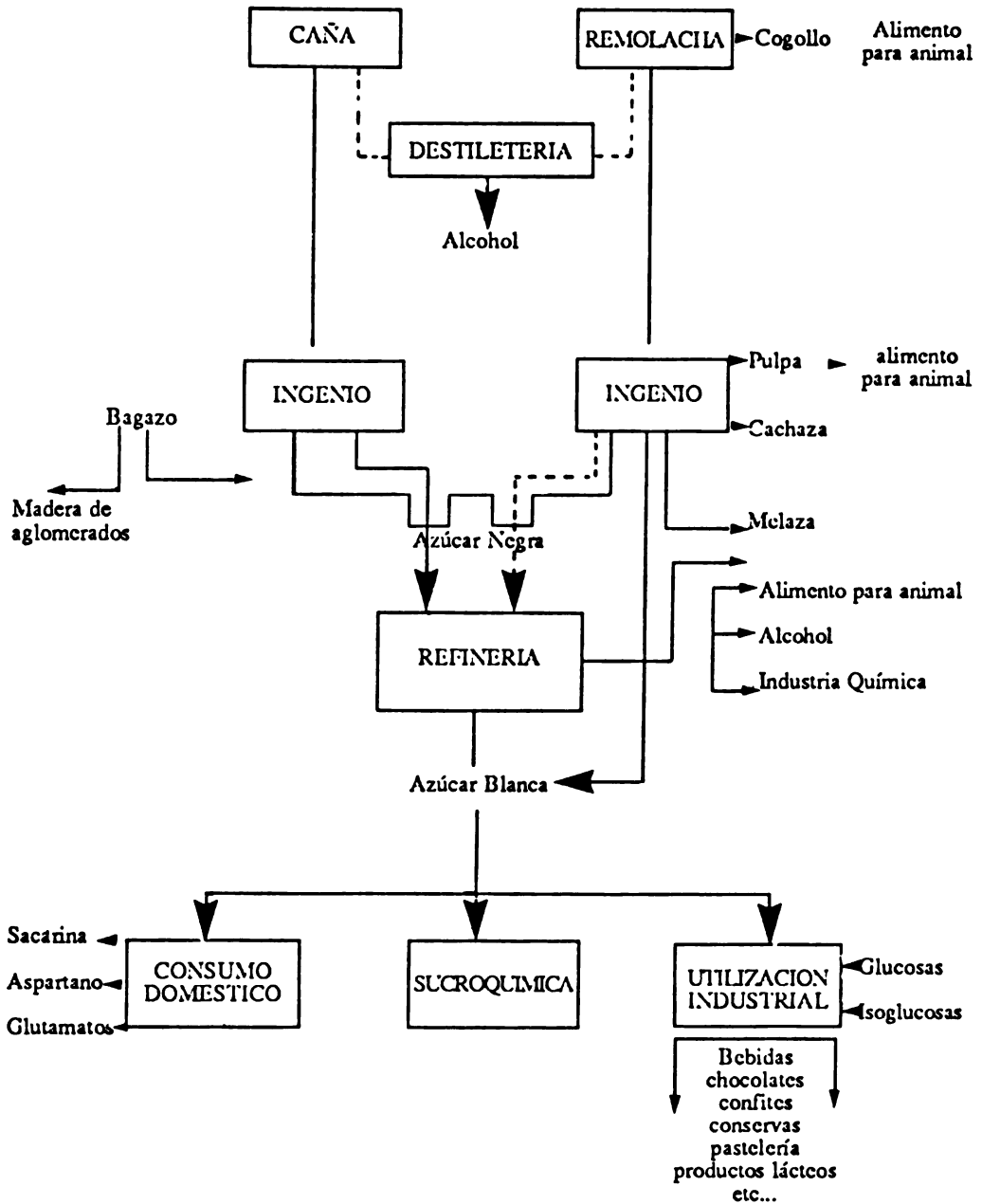
- **Los derivados de sacarosa:** éter, grasa de sacarosa, octacetato de sacarosa, subbutirato de sacarosa y benzoato de sacarosa;

- **Los polisacáridos:** dextrana, goma xantana, pululán, ácido alquímico;

- **Los derivados celulares:** lisina, metionina, ácido glutámico y ácido nucleico.

# DIAGRAMA 1

## El Sistema Azúcar desde un Punto de Vista Técnico



FUENTE: R. II. Chalmin, (24).

Si se considera ahora el sistema o línea de producto azúcar (de caña y remolacha), tenemos el **Diagrama 1** que representa las relaciones técnicas, o el conjunto de operaciones que intervienen en el subsistema del azúcar, desde su producción hasta la etapa de consumo final.

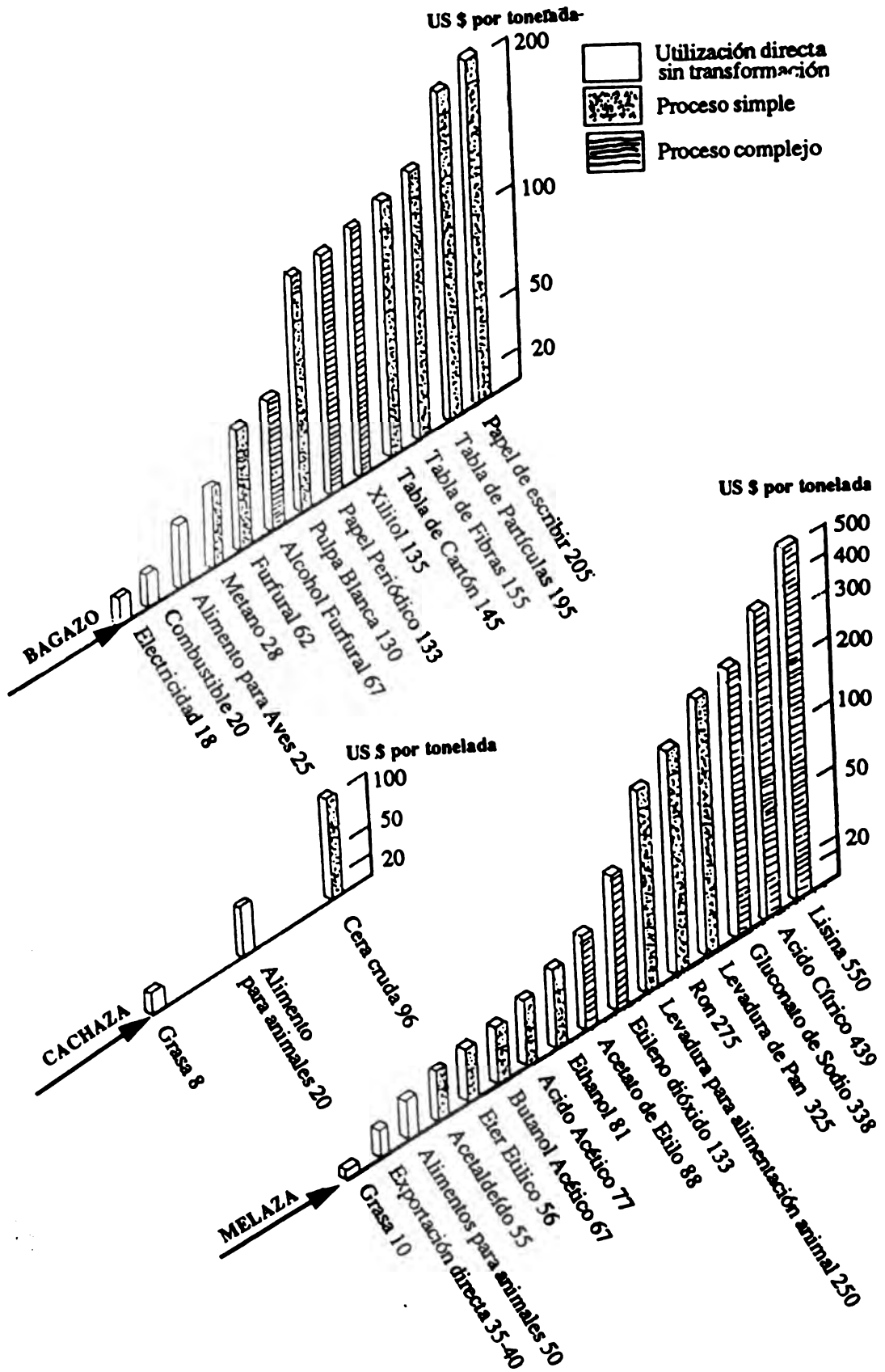
El interés de este diagrama simplificado es que presenta: los principales subproductos en las diferentes etapas por las que atraviesa la materia prima azúcar (en el ingenio: bagazo, melaza y cachaza); los diversos usos alternativos de la caña (destilación para producir alcohol, etanol y otros); del

azúcar refinada (utilización en la industria alimentaria y en la industria aparte del consumo doméstico final ); el uso industrial de los subproductos cuyo valor por tonelada está indicado en el **Diagrama 2**.

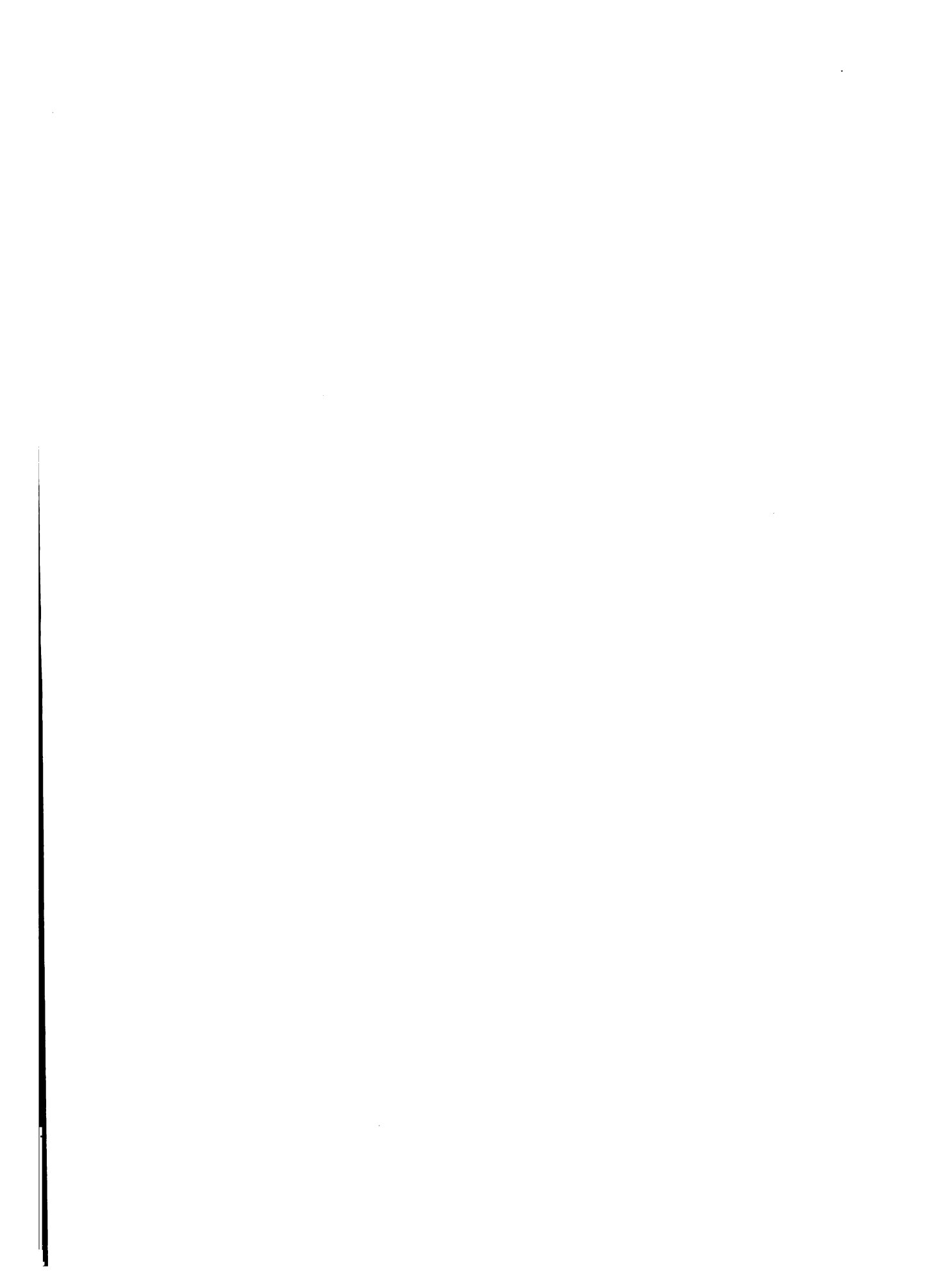
El **Diagrama 1** también presenta los substitutos principales del azúcar refinada en el uso industrial (las isoglucosas) y en la utilización doméstica (sacarina, aspartamo, glutamato); estos substitutos son producidos por las líneas o sistemas paralelos al sistema azúcar. El desarrollo industrial de las isoglucosas es el más amenazante para la producción del azúcar.

## DIAGRAMA 2

### Valor Aproximado de los Subproductos de la Caña de Azúcar







El espectro posible de valorización del subsistema caña, a partir de la industrialización de sus subproductos, se puede apreciar claramente en el **Diagrama 2**, el cual, combinado con los potenciales de la alcohoquimia y de la sucroquímica, permite tener claridad en la importancia que este subsistema puede llegar a tener para la región si se modifica la lógica de utilizar la caña únicamente para producir azúcar (tanto

para consumo interno como para exportar).

Para poder tener una visión completa del espectro industrial de la caña de azúcar, lo cual permita visualizar la diversificación de la economía de la región a partir de la industrialización de la agricultura, puede verse el **Diagrama 3**.

## **F. La biotecnología, el maíz y las isoglucosas**

Las isoglucosas, bajo la forma de jarabe de maíz con un alto contenido de fructuosa (JMRF): un 42%, 55% o 90% de fructuosa (según sean de primera, segunda o tercera generación), son, sin duda alguna, el sustituto de azúcar más importante (actualmente en los Estados Unidos absorben alrededor del 53% del mercado de edulcorantes). Estas constituyen una innovación integrada al sistema almidonero norteamericano que crea las bases de un nuevo sistema que puede producir simultáneamente edulcorantes y proteínas.

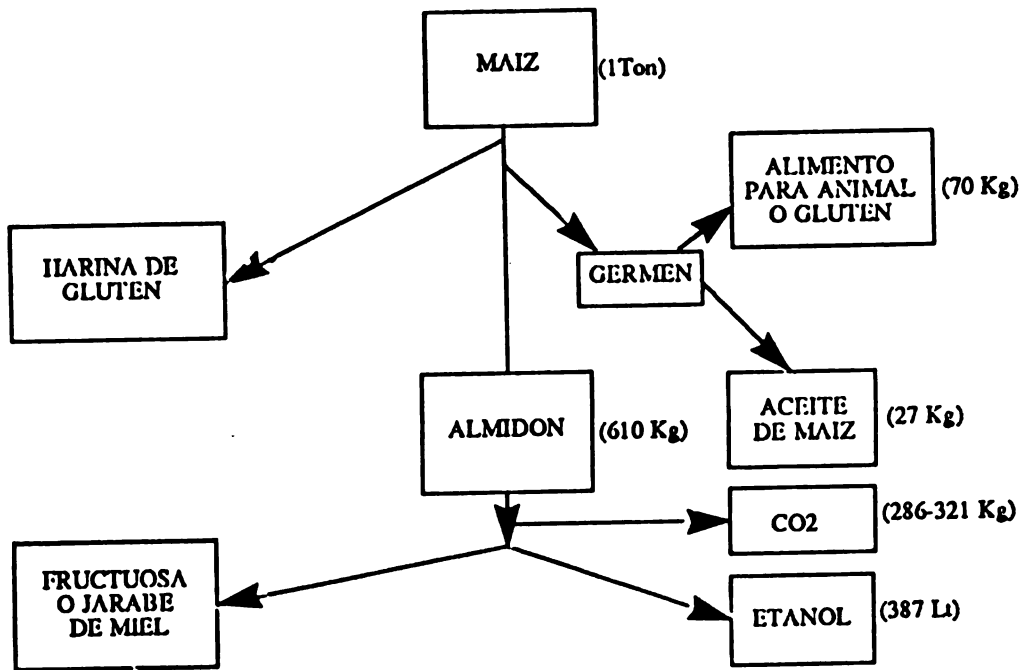
Considerando al maíz en su proceso de industrialización, se presentan tres usos principales: molienda en húmedo, molienda en seco y producción de

alcohol. La molienda en húmedo agrupa la mayor parte de los principales usos actuales del maíz transformado; como insumo, ella requiere maíz con contenidos elevados de almidón, aceite y proteína.

El **Diagrama 4** nos muestra en forma simplificada la fabricación de isoglucosas a partir de maíz. Esta es la materia prima utilizada por el llamado "complejo cerealero-almidonero" de los Estados Unidos para producir isoglucosas bajo la forma de jarabes de maíz ricos en fructuosa. Pero el almidón puede también obtenerse de otras fuentes: tubérculos como la papa, mandioca o yuca, etc.; a partir de la pulpa de cítricos, que es un subproducto de la fabricación de jugos; y a partir de otros cereales como trigo y sorgo.

## DIAGRAMA 4

### El Sistema Isoglucosa desde un Punto de Vista Técnico



Fuente: PH. Chalmin, op. cit.

La fabricación de estos edulcorantes se localiza principalmente en los Estados Unidos, pero también en la C.E.E. -con materias primas excedentarias locales o importadas (mandioca)- y en Japón. Para los países con agricultura tropical, como los centroamericanos, donde la producción de sacarosa es abundante, o al menos abundante en potencia, no se justifica la producción de iso-glucosas.

Si se utilizara el almidón de maíz como materia prima, se agravaría la carencia actual de este producto básico en la dieta de la población, y si se emplearan materias primas alternativas como la yuca, cuyas potencialidades de producción son excelentes en ciertas regiones, se impediría su uso para producir productos alternativos y actualmente en déficit más que considerable.

La fabricación de este edulcorante exige tres transformaciones enzimáticas sucesivas: la liquefacción, la sacarificación y la isomerización, cada una de ellas utilizando una enzima especializada, respectivamente: la alfa-amilasa, la amilo-glucidasa y la glucosa-isomerasa. En la mayor parte de las unidades productivas modernas de isoglucosas, estas tres operaciones se hacen en continuo. El procedimiento técnico fue descubierto en Estados Unidos en los años 50, posteriormente fue mejorado por los japoneses en los 60. Pero, la glucosa-isomerasa no fue utilizada a gran escala en la producción de JMRF sino hasta después de los años 70. Dos empresas ligadas al complejo cerealero-almidonero en Estados Unidos, la CPC International y la Clinton, fueron las que adaptaron y perfeccionaron el proceso de la glucosa isomerasa, además de las firmas farmacéuticas y de

microbiología y enzimología Novo, Gist Brocades, ICI, Miles, Nagase, Miles Kali y Saumatsu.

Más tarde, intervinieron las firmas American Maize Products, A. E. Stanley Manufacturing, ADM Corn Sweeteners, y otras del citado complejo. También contribuyeron al desarrollo agroindustrial de las iso-glucosas algunas empresas ligadas con el comercio internacional de granos (Cargill); las azucareras (Amstar, Tate and Lyle); las alimenticias (Archer Daniels) o las firmas químicas (National Starch y Hubinger). (12, pp 123-124).

La primera introducción comercial en gran escala del jarabe de maíz JMRF se realiza en un período en que el precio de la sacarosa sube hasta casi 30 centavos la libra (en 1974-75), es decir por encima de su propio precio de costo. La solidez de la industria almidonera reside en que hoy en día es técnicamente polivalente, es decir, que es capaz a la vez de utilizar distintas materias primas y de fabricar diferentes productos a partir del almidón (productos alimentarios: isoglucosas, gluten, proteínas; a partir del etanol extraído del almidón, productos energéticos: alcohol, carburantes, alcoholes químicos, etc) según sean y fluctúen los precios del mercado.

Esta flexibilidad de pasar de los alimentos a los energéticos, es un aspecto importante en la estrategia actual del complejo almidonero-cerealero que se diversifica en la medida en que la producción de enzimas se banaliza y le quita el instrumento de control oligopólico inicial. Es debido a esto que se observa un reforzamiento progresivo de la wet-milling industry en detrimento de la dry-milling industry, más especia-

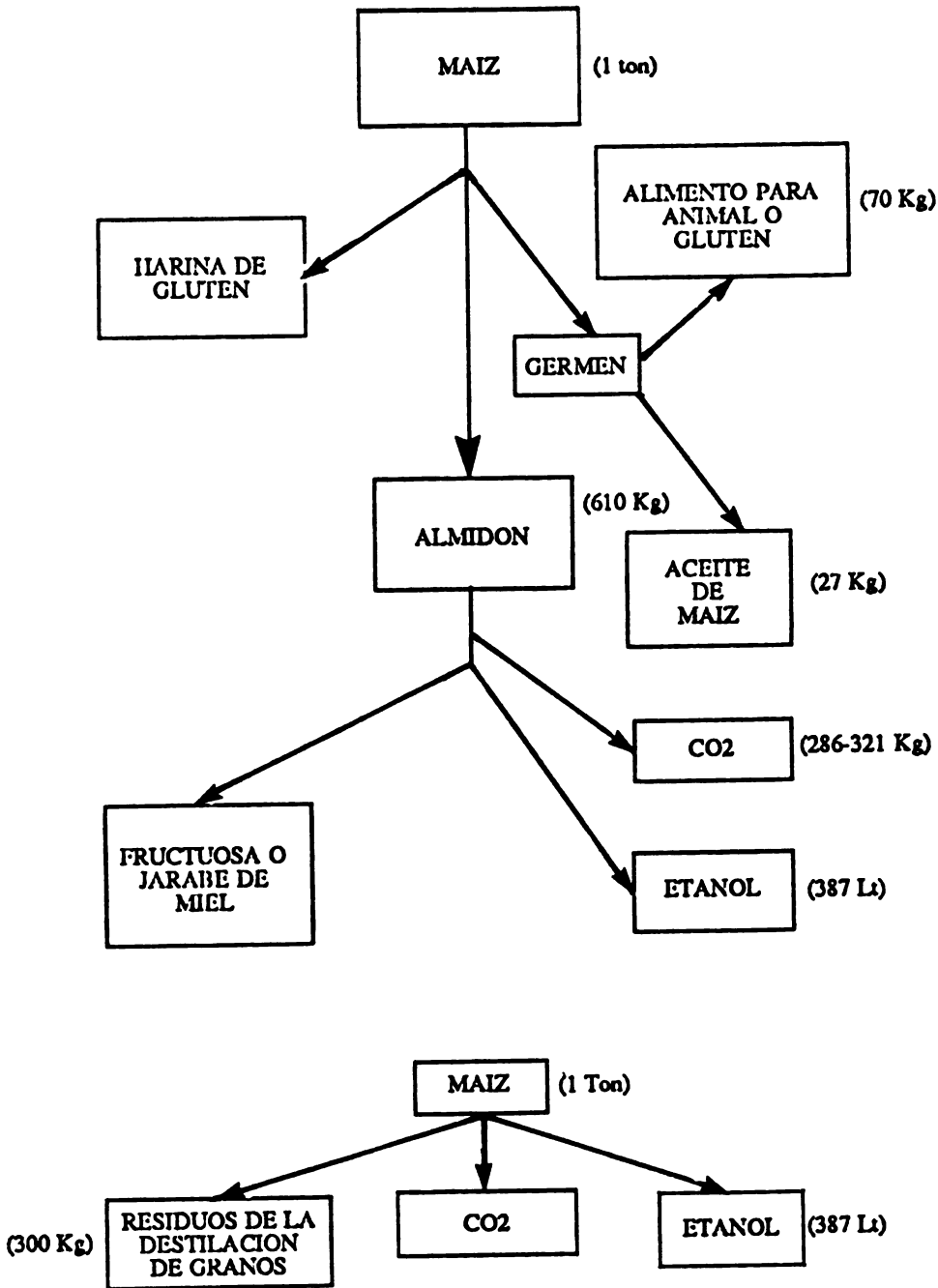
lizada en la producción de alimentos y menos capaz de una reconversión a la producción energética, estimulada, además, por la prohibición de la C.E.E., a partir de 1989, de agregar plomo a la gasolina.

La fuerza de esta industria en los Estados Unidos reside, además, en la sustancial disponibilidad asegurada del maíz como materia prima. Ya que el JMRF ha desplazado el consumo de azúcar de caña y remolacha en diversos usos industriales. Lo que le permite tener, a este país, una gran ventaja sobre fuentes alternativas como la papa, la mandioca y la casava, así como desechos de cereales (trigo, sorgo y arroz), para producir subproductos como el aceite, pero sobre todo alimentos a partir del gluten (corn gluten y gluten feed) cuyas ventas cubren una

parte importante del costo del maíz (Diagrama 5).

Esto es relevante dada la estructura de costos en la fabricación de los distintos edulcorantes: casi dos veces más altos para la fabricación de glucosas y de JMRF que para la sacarosa. Otro elemento clave en la consolidación de las iso-glucosas es el apoyo prestado por la industria refresquera, de galletas, pasteles, conservas y de alimentos dietéticos a este producto que se presenta en forma líquida y por lo tanto técnicamente fácil de transportar y de utilizar en la fabricación de esos alimentos. Sin embargo, hay indicios que señalan que en Estados Unidos este mercado puede llegar a su saturación: las industrias refresqueras y de alimentos ya señaladas parecen haber reemplazado ya totalmente la sacarosa por JMRF (12 y 81).

**DIAGRAMA No. 5**  
**Producción de Etanol por Vía Húmeda y Seca**



Fuente: O.C.D.E. *Utilisation de la biomasse, aspects économiques et politiques de la production d'énergie par l'agriculture*, Paris, 1983, 148 págs. y anexos.

En 1987, el consumo en los Estados Unidos de JMRF representó 67.9 libras per-cápita, y los edulcorantes hechos a partir de la caña de azúcar y de remolacha significaron 59.6 libras per-cápita; mientras que, en 1975, el consumo fue, respectivamente, de 27.5 y de 89.2 libras per-cápita.

Les quedan, a las firmas transnacionales, mercados extranjeros por conquistar, no sólo en otros países industrializados -los cuales no usarían por cierto el maíz como materia prima- sino también en países en vías de desarrollo. Esta conquista se hará directamente a través de las filiales ya presentes en los países; ellas venderán la tecnología a las empresas públicas u otras.

La producción de las isoglucosas podría convenir a los intereses de algunas grandes empresas, sin embargo, esto no favorecerá en nada las estrategias alimentarias de los países subdesarrollados y, más bien, darían un golpe mortal a la industria azucarera (la cual ya tiene graves problemas a causa de la sustitución de azúcar de caña por el jarabe de maíz producido en los Estados Unidos, como es el caso de los países de América Central).

#### **G. La biotecnología y los edulcorantes de bajas calorías**

Los edulcorantes de origen sintético, natural y agrícola, que cuentan con un mayor poder edulcorante que la sacarosa, son los sustitutos potenciales del azúcar. En 1986 se autorizó en los Estados Unidos un nuevo edulcorante sintético de la transnacional Pfizer, llamado Alitame, lo que deja entrever la tendencia de la industria química; igualmente, existen una serie de inves-

tigaciones alrededor de otras plantas naturales para la producción de edulcorantes.

En toda esta línea de trabajo están empresas transnacionales muy importantes como la Du Pont, Monsanto, Tate & Lyle y otras grandes empresas japonesas. Por ejemplo, la Reading, en Inglaterra, que es la mayor refinería de azúcar, con ventas anuales de 2 billones de dólares, desarrolla investigaciones sobre enzimas para producir edulcorantes alternativos.

Según algunos habría más de 20 substitutos capaces de competir con el azúcar de caña y de remolacha (3, 65 y 81), sin contar las isoglucosas derivadas del almidón. Entre los edulcorantes de origen sintético el más antiguo es la sacarina, fabricada desde el siglo pasado y con un poder edulcorante 25 veces el del azúcar. El consumo de este edulcorante en los Estados Unidos pasó de 2.2 libras per-cápita, en 1960, a 10 libras en 1984, año del más grande consumo, ya que fue prohibida su venta por detectársele posibles efectos cancerígenos. Por lo que, a partir de 1985, su consumo comenzó a declinar rápidamente y ha pasado a un consumo de 6.6 libras per-cápita. (35)

Un estudio elaborado en Estados Unidos por Par M. Wolkstein, de Reach Associates, señala que existen 8 nuevos edulcorantes que están en estudio y que podrían penetrar al mercado en el transcurso de los próximos 15 años. Este mismo trabajo estima que para el año de 1990 el mercado americano de edulcorantes pasará de 146.8 millones de libras en el presente a 154.3. Se estima, asimismo, que el mercado que cubrirán los edulcorantes caloríficos disminuirá de 129.8 a 124



millones de libras (para el año 2005 disminuirán aun más: 109.6).

Por su parte los edulcorantes no calóricos o de bajo contenido calórico, aumentarán su participación en el mercado, pasando de 17 a 30.3 millones de libras en 1990, y para el año 2005, subirán a 45.3. Estas tendencias permiten concluir, claramente, que el mercado futuro de los edulcorantes estará dominado básicamente por los edulcorantes bajos en calorías, tendiendo a perder cada vez más importancia la azúcar de caña, de remolacha y de maíz. Esto es un resultado directo de la importancia creciente que van tomando los alimentos y bebidas con bajo contenido calórico, los cuales en 1982 tenían un mercado de 25 millones, proyectándose para 1990 un mercado de 41.2 millones. (65, p 68)

Un edulcorante ya mencionado y que es el más importante desde el punto de vista comercial, es el aspartame, un dipéptido cuyo poder edulcorante es alrededor de 200 veces superior al de la sacarosa. Fue descubierto en 1969 por la firma farmacéutica G.D. Searle, hoy adquirida por Monsanto. Se presenta como polvo o tableta y es hipo-calórico, por esta razón la firma Coca-Cola ha comenzado a usarlo en su bebida dietética comercializada ya en los Estados Unidos, México, América Central y otros países subdesarrollados.. Es fabricada también por el grupo japonés Ajinomoto y por Hoescht en Alemania Federal. Su fabricación, por síntesis química, depende del insumo fenil-alanina obtenido por fermentación y cuya producción está dominada por tres firmas japonesas (12, p 210).

Se estima que sus ventas alcanzaron 500 millones de dólares en 1986. Su consumo era nulo en 1980, pero, en los cinco años posteriores, se ha elevado rápidamente y en 1987 el consumo per-cápita en los Estados Unidos fue de 15 libras (se puede decir que más del doble del consumo de la sacarina). Los edulcorantes de origen sintético que en 1974 representaron 5.9 libras per-cápita, pasaron, en 1987, a 18.5 libras, es decir alrededor del 12.5% el consumo de los edulcorantes en los Estados Unidos. (35)

La Thaumatine es el edulcorante que ofrece más posibilidades y se extrae de un arbusto originario del oeste de Africa. Su poder edulcorante se sitúa entre 2,000 a 2,500 veces superior al azúcar de sacarosa, e incluso es superior según otras fuentes; (12 p. 209, 75 y 65) además, su sabor edulcorante se manifiesta lentamente y persiste durante mucho tiempo. Otra característica importante es el de poder amplificar otros sabores, como el de la menta; estas características hacen de este edulcorante un gran candidato para la industria de la goma de mascar y la farmacéutica.

Actualmente se están realizando muchas investigaciones, a nivel de laboratorio, con el objetivo de clonar esta proteína y de producirla a partir de microorganismos, o sea obtenerla industrialmente en una fábrica, sin tener que estar plantando el arbusto que le dio origen. Estos trabajos los están realizando investigadores de Unilever Reserach Laboratorium et d'Ingene. (75, p.68)

En el momento que esto se pueda producir comercialmente, la thaumatine será otro gran competidor dentro del

sistema mundial de edulcorantes. Este producto ya se comercializa como edulcorante en Inglaterra, Japón Austria y Suiza; en los Estados Unidos todavía se exigen pruebas que demuestren los grados de toxicidad de este edulcorante. Las compañías que trabajan en el desarrollo de este edulcorante son, entre otras: Beatrice Foods, Chicago Illinois, USA, con ventas anuales de 1.26 billones de dólares; DNA Plant Technology Corporation, New Jersey, USA; INGENE, Santa Monica, USA; MONSANTO, St. Luis, Missouri, USA, es la corporación agroquímica más grande, con ventas anuales en 1985 de 6.7 billones de dólares. En el mismo año esta compañía dedicó 400 millones de dólares en investigaciones sobre biotecnología; Unilever, casa matriz en Rotterdam, con ventas anuales de 21 billones de dólares (75).

La Stéviósido y rébaudioside A, son otros edulcorantes, con una mayor duración en su sabor que la thaumatine; éstos se obtienen de la planta Stevia Rabaudiana Bertoni, que se encuentra en Japon, Paraguay y en varios países asiáticos. Le stéviósido tiene un poder edulcorante 300 veces mayor al de la sacarosa (además il possède en plus un arrière-goût amer). Actualmente su uso está autorizado en Japon, Brasil y Paraguay y se utiliza combinado con otros edulcorantes en la producción de bebidas no alcohólicas, gomas de mascar, salsa de soya y en confitería. No es claro todavía si contiene problemas tóxicos (75).

La Hernandulcine se extrae de la planta Lippia dulcis y es uno de los edulcorantes naturales descubiertos recientemente. Su poder edulcorante se sitúa alrededor de 1000 veces mayor al del azúcar. Este edulcorante repre-

senta el 0,004% de la planta en base seca y forma parte del aceite vegetal que esta genera y que puede ser extraído mediante destilación. Este aceite presenta características tóxicas. La empresa japonesa Ajinomoto lleva adelante investigaciones para producir este mismo producto en forma de solución racémique de l'hernandulcine, la cual parece tener más posibilidades de competir en el mercado (75).

Las Dihydrochalcones tienen un poder edulcorante 300 o 400 veces mayor al de la sacarosa, con un sabor edulcorante progresivo y prolongado. Normalmente son preparadas por reducción catalítica de algunos chalcones correspondientes, derivados de flavonones de narangine, neohesperidine y hespéridine. Por su parte, la neohespéridine dihydrochalcone es sintetizada a partir de las naranjas de Sevilla, y tiene un poder edulcorante alrededor de 1500 veces el del azúcar. Es utilizado en la industria de gomas de mascar, confitería, para gárgaras, dentríficos, algunos jugos de fruta y productos farmacéuticos (75).

Los Sucres gauches (série L) son generalmente sintéticos químicos.

Pueden ser producidos en forma ventajosa a partir de las técnicas de la ingeniería genética. Estos edulcorantes no son metabolizados por el cuerpo ni por los microorganismos y no son calorías nutritivas. La única ventaja sobre los otros edulcorantes es el de que no provocan caries (Ibiden) .

Xylitol es un edulcorante parecido a la sacarosa en cuanto a su poder edulcorante y contenido de calorías, pero su metabolismo es insulino-indépendant. Es fabricado por

Finnish Sugar Co. en conjunción con Hoffman-Laroche de Suiza, a partir de un árbol finés y de ciruelas amarillas (39); este no provoca caries, así tiene entrada en el mercado de dentríficos, alimentos dietéticos, alimentación parentéale y de productos farmacéuticos. Este es obtenido mediante síntesis por conversión química de xylan (75).

Existe una gran lista de edulcorantes naturales y sintéticos sobre los cuales se realizan investigaciones y que nos muestran la gran potencialidad y variedades de los edulcorantes en el futuro. Posiblemente muchos de ellos se utilizan en forma combinada, lo que permite mostrar la importante transformación de este sistema a nivel mundial, (marco fundamental y necesario para cualquier estudio o estrategia que desee reconvertir la industria azucarera a nivel de cada país o de la región en general).

#### **H. La agroindustria forestal**

Aprovechamiento de desechos industriales. Consiste en el procesamiento de desechos industriales y la obtención de proteína unicelular. La celulosa, que es uno de los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza, constituye un recurso natural renovable que no es aprovechado adecuadamente. En diversas partes del mundo se estudian aspectos básicos de la biodegradación de celulosa, dando origen a la tecnologías para el aprovechamiento de residuos agrícolas e industriales, constituidos principalmente por celulosas, hemicelulosas y ligninas, con posibilidades de transformación en alimentos o energéticos (96).

La transformación de los troncos en tablas produce en el mundo miles de

toneladas de aserrín que en su mayoría no son utilizadas y se convierten en un problema (ya que al ser quemadas contribuyen a la contaminación del ambiente). Así resultan promisorios los estudios realizados para la obtención de proteínas microbianas y mejoradores del suelo a partir del aserrín. Estos pueden ser utilizados en la alimentación animal o en la recuperación de los suelos erosionados, problemas de primera magnitud en la mayor parte de los países subdesarrollados.

Asimismo es posible obtener proteínas microbianas a partir de los extractos de madera de encino, la cual también es altamente subaprovechada. Para ello se han aislado dos hongos capaces de aprovechar las hemicelulosas presentes en el licor de madera.

En la industria productora de celulosa y papel, se producen grandes cantidades de materiales de carbohidratos en los procesos de fermentación. Este proceso se encuentra asociado al de obtención de celulosa de alta pureza proveniente de la madera de encino. Mediante un proceso alcalino se produce este tipo de celulosa, que posteriormente pasa una etapa de prehidrolisis (extracción de hemicelulosas). Los extractos resultantes son los que permiten obtener, a través de una tecnología sencilla, la proteína celular (96).

Existen otros subproductos forestales que no son aprovechados, como las hojas y ramas de los árboles que se quedan en el suelo cuando se derriban los árboles (convirtiéndose en material inflamable alimentador de los incendios, tan frecuentes en los bosques). Actualmente, se estudia la posibilidad de aprovechar el follaje de los pinos en

la alimentación de ganado en crecimiento, junto con otros nutrientes (96).

## I. La agroindustria y la yuca

Ingenierías de fermentación y enzimática.

En efecto, la fabricación de alimentos mediante procesos tradicionales de fermentación, puede tornarse más eficiente mediante: el mejoramiento de las cepas microbianas, el mejor control de los caldos de cultivo y la introducción de nuevas materias primas procedentes de biomásas abundantes en los países en desarrollo (y que hasta ahora han sido en gran medida desperdiciadas).

Esto es particularmente cierto en los esfuerzos para producir proteínas unicelulares a partir de substratos amiláceos, como son precisamente las raíces y las hojas de la yuca (y por lo demás otros tubérculos como la papa, frutos tropicales como la banana y los cereales). La Universidad de Guelph, en Canadá, utilizó desde los años sesentas las raíces de yuca para producir, mediante fermentación en cultivo sumergido, proteínas unicelulares.

Sin embargo, el cultivo en medio sólido se ha extendido aún más en el caso de la harina de yuca. En primer lugar, porque la mayor concentración de sólidos disminuye el volumen de los fermentadores (hasta diez veces en comparación con el requerido para las fermentaciones en cultivo líquido); a renglón seguido, porque la baja actividad del agua reduce el riesgo de contaminación bacteriana y, finalmente, porque la estructura semisólida del substrato favorece la aireación y facilita

la recuperación y secado del producto.

A estas conclusiones llegó Raimbault, desde 1976, cuando optó por la fermentación en medio sólido y desarrolló cultivos de hongos filamentosos sobre harina de yuca. Su objetivo era emplear micro-organismos para transformar productos agrícolas ricos en almidón en otros con mayor contenido de proteínas; para lograrlo trataba de utilizar técnicas simples adaptadas a los países en desarrollo donde ya se fabricaban, mediante técnicas tradicionales, alimentos por fermentación de substratos harinosos (85, p 53).

Estos trabajos iniciados en Dakar por ORSTOM (Instituto Francés de Investigación Científica para la Cooperación en Desarrollo), fueron proseguidos en colaboración con el IRCHA (Instituto Nacional de Investigación Química Aplicada), en París y, desde 1981, en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Iztapalapa) en convenio de cooperación con ORSTOM (85, p 52-56 y 109, p 312).

Estas investigaciones se centraban en el desarrollo de cepas del moho *Aspergillus niger*, cultivado en un substrato en base a harina de yuca. Pero la técnica era también aplicable a otras especies de hongos filamentosos de los géneros *Penicillium*, *Rhizopus* o *Trichoderma* y también a otros substratos almidonados (bananas, papas) o celulósicos (paja, bagazo, etc.). Esto permitía transformar la harina de yuca que contiene sólo 2 a 3% de elementos protéicos y 80 a 90% de almidón, en un nuevo producto con 18 a 20% de proteína y 30 a 35% de azúcares asimilables después de 24 horas de creci-

miento del *Aspergillus niger* (85, p 54).

La fermentación en medio sólido y el procedimiento descrito de enriquecimiento protéico, es también susceptible de orientarse hacia la producción de enzimas como son las amilasas, celulasas y proteasas sintetizadas durante el crecimiento del moho en un sustrato amiláceo. Sin duda, este subproducto de la fermentación sólida es de mayor valor agregado que el producto principal, a saber la harina enriquecida de yuca para alimento animal.

Los trabajos de ORSTOM-UAM, en México, han logrado aislar además varias cepas de bacterias lácticas que podrían tener una aplicación importante en el ensilaje de la harina de yuca y resolver uno de los principales problemas técnicos que han retardado la extensión del cultivo de yuca en el país. En efecto, el secado de la yuca ha sido hasta ahora un obstáculo importante como se verá más detalladamente en la próxima sección (45, p 346).

Estos estudios que están ya en la fase de planta piloto (reactor de 50 a 100 lbs. según el procedimiento IRCHA-ORSTOM) deben ser sometidos a tests que permitan evaluar el valor nutritivo de los alimentos fermentados enriquecidos en proteínas y los riesgos de contaminación por cepas mutantes de hongos productores de microtoxinas.

Hay todavía otras posibilidades de industrialización de la yuca y de sus subproductos. En particular, el almidón y sus numerosos derivados y subproductos químicos, farmacéuticos y alimentos, tienen como base el almidón simple que es obtenido, a través de

diversos procesos, de las raíces de yuca fresca; de 3 kgs. de raíces se obtiene aproximadamente 1 kg de almidón.

Este producto tiene de 90 a 95 por ciento de pureza y puede ser utilizado como aditivo, materia prima auxiliar o principal, en diversas industrias, o bien, puede ser procesado para convertirse en almidones modificados, pregelatinizados, en dextrinas y dextrosas, en glucosas, etc. Aparte del uso en la fabricación de alimentos, los subproductos sirven de insumo para fabricar papel y cartones, textiles, pegamentos, betunes, pinturas industriales, etc. El ácido láctico se utiliza para la fijación de tintes debido a su adhesividad en el procesamiento de pieles, teñidos de algodón, medicamentos y jarabes.

Otra aplicación importante es la fabricación de alcohol tanto absoluto como fino. El alcohol absoluto en base a caña de azúcar se utiliza en Brasil para combinar con gasolina y ser utilizado como combustible en motores de alta compresión (12, pp 211-273). El futuro de los bio-carburantes está ligado a su capacidad para competir con los carburantes por excelencia, es decir aquéllos derivados del petróleo, y los precios comparativos- en el momento actual- favorecen claramente a la gasolina. Sin embargo, disposiciones ya aprobadas en la CEE sobre la necesidad de rebajar el contenido de plomo de la gasolina, puede relanzar la demanda por etanol.

Existen actualmente biocarburantes ya sea gaseosos (biogas metano y butano) o líquidos (metanol y etanol). Los últimos son más fácilmente substitutivos de los energéticos de origen fósil, en la medida que pueden mezclarse con ellos, ya sea directamente,

como el etanol, cuando éste se emplea en dosis mayores de 8 a 10%, o mediante un solvente -que a su vez puede tener origen en la biomasa- (A.B.E). Aquí interesa menos el metanol, pues, en general, se produce de substratos celulósicos y más el etanol que utiliza, con mayor facilidad, como substratos, plantas alcoholígenas (como la caña de azúcar y sus mieles, los cereales y los tubérculos entre los cuales destaca la yuca). (ibidem, pp 230 ss).

La utilización de productos amiláceos, como la yuca, requiere operaciones más complejas que en el caso de los sacarígenos. En éstos, el caldo de fermentación se puede preparar por compresión. En el caso de la yuca hay que degradar previamente el almidón en monosacáridos (glucosa) mediante procedimientos en contínuo que utilizan enzimas fijadas (amilasas de origen fúngico desarrolladas para la industria de las iso-glucosas por el complejo cerealero-almidonero de los Estados Unidos).

Los monosacáridos pueden entonces ser fermentados eflicamente con levaduras (*saccharomyces cerevisiae* y *uvarum*) para obtener etanol. Las investigaciones actuales se orientan hacia la producción de cepas más tolerantes a la concentración alcohólica a fin de reducir los gastos de energía durante la destilación y a mejorar la eficiencia de esta última con el mismo fin (mediante calefacción a efectos múltiples, recompresión de vapores, ultrafiltración, ósmosis inversa, extracción líquido-líquido, etc) (ibidem, p 232). La producción de etanol ha seguido caminos diferentes.

En Brasil, el Programa Alcohol (PROALCOOL) usa como materia

prima la caña de azúcar y tiene como objetivo reemplazar los carburantes de origen fósil ya que ese país es deficitario en su producción y debe importarlos; el desarrollo ha sido espectacular, tanto por la cantidad de etanol producida, como por la red de distribución construida para surtir a automóviles especialmente fabricados para utilizar ese carburante.

Sin embargo, el programa se tropieza hoy con graves dificultades, en parte por la relativamente baja productividad de las destilerías y, sobre todo, el desplome de los precios del petróleo: se estima que el costo actual del biocombustible es 3 o 4 veces más elevado que el de la gasolina importada. Es decir, que la autosuficiencia es posible de alcanzar, pero, dado el carácter dinámico de las ventajas comparativas a nivel internacional, a veces hay que pagarla cara (como es, coyunturalmente, el caso de Brasil).

El etanol en Europa no está destinado a reemplazar a la gasolina sino, más bien, a múltiples usos industriales. Se fabrica a partir de remolacha azucarera, de papas y aún de harina o pellets de yuca importados de Tailandia. En Estados Unidos la producción de etanol está ligada a la fabricación de isoglucosas, o jarabes de alto contenido en fructuosa, a partir de maíz, producto excedentario en ese país. Este edulcorante que se obtiene por vía húmeda del maíz da - aparte de subproductos como germen y gluten de maíz utilizados en la alimentación animal - unos 380 kgs. de etanol por tonelada de maíz transformada en almidón. Pero ese mismo procedimiento permite obtener como producto final isoglucosas.

El etanol también es posible obtenerlo por vía seca, a partir de maíz a un costo de producción semejante al de la vía húmeda -pero con la desventaja de que es menos flexible que el primero- (ver cap. 4 en este mismo volumen). El almidón de yuca puede también ser materia prima para la fabricación de dextrosa o glucosa. Este azúcar derivado del almidón y obtenido mediante hidrólisis ácida o hidrólisis parcial seguida de conversión enzimática, da un producto de buena calidad, sobre todo bajo forma no de jarabe o isoglucosa - utilizada como edulcorante

que no tiene gran interés en países donde abunda el azúcar de caña - sino de azúcar sólido o dextrosa cuya calidad le concede valor especial en el uso farmacéutico.

Otros productos derivados de la glucosa son el sorbitol, que sirve como insumo para la elaboración de productos plastificadores (corcho, papel, textiles, alimentos e inclusive ácido ascórbico o vitamina C.) y el glutamato monosódico, que estabiliza y fija el sabor en alimentos y tiene además otros usos.





# IV

## Biotecnología: Mercados Potenciales y Cambios en la Transferencia Tecnológica

### A. Mercados potenciales de la biotecnología

Según el cuadro No.13, para 1992 se proyecta hacer realidad las ventas de productos biotecnológicos para el sector agropecuario, las cuales serán del orden de los 350 millones de dólares, siendo el área pecuaria la que presenta el mercado más importante con 205 millones de dólares. Dentro de este subsector, sólo las hormonas de crecimiento en bovino y cerdo significan un mercado potencial de 100 millones de dólares.

En la parte agrícola, se espera que el mercado de plantas transformadas genéticamente sea de 50 millones de dólares para 1992. Según el mismo cuadro, en sólo 5 años, o sea en 1997, las ventas de productos biotecnológicos se incrementarán en casi un 500%, esperándose que lleguen a 1,700 millones de dólares. En esta dinámica la biotecnología agrícola presenta la mayor expansión de su mercado, fundamentalmente como resultado de la ampliación en la comercialización de plantas transformadas genéticamente, las cuales podrían tener unas ventas

equivalentes a casi 400 millones de dólares.

Las reflexiones fundamentales que nos hacemos al sistematizar algunos de los efectos que provocarán las nuevas biotecnologías, así como el calendario de éstas y sus mercados potenciales son: primero, que la biotecnología es una realidad presente; en segundo lugar, que expresa una dinámica imprevisible; en tercer lugar, que su amplio campo de acción hará que toda la agricultura mundial sea afectada y transformada; en cuarto lugar, que los países en desarrollo -en la medida que no implementen una acción profunda, seria y sostenida ante el surgimiento de esta nueva forma de hacer agricultura- tendrán efectos más negativos que positivos sobre sus economías; y de último, que la biotecnología per-sé no puede resolver los problemas de los países en desarrollo, pero sí puede contribuir como un instrumento importante para implementar una nueva estrategia de desarrollo a partir de valorizar los recursos naturales no renovables, los cuales son, en gran parte, las únicas fuentes posibles de generar riqueza de estos países (afir

**CUADRO NO. 13**  
**VENTAS ESTIMADAS DE PRODUCTOS BIOTECNOLÓGICOS PARA EL SECTOR**  
**AGROPECUARIO 1992 Y 1997 (millones de dólares)**

PRODUCTOS	1992	1997
Inmuno moduladores	40	100
Hormonas de crecimiento		
- ganado bovino	50	180
- ganado porcino	30	120
- otros	20	100
sub-total	100	400
forestales y el desarrollo de micorrizas. Los avances en estas ramas		
Vacunas		
- fiebre aftosa	20	70
- pseudorabia	5	20
- diarrea	30	90
- otras	50	300
sub-total	105	480
qué, como Japón, careciendo de grandes masas arbóreas, importan gran Biotecnología Agrícola		
- resistencia a la helada	10	70
- fijación de nitrógeno	5	20
- plantas transformadas genéticamente	50	390
- otras	25	190
sub-total	90	520
posibilita la reforestación y recuperación de los suelos erosionados en		
Otras	15	100
<b>TOTAL</b>	<b>350</b>	<b>1 700</b>

FUENTE: Quintero, Rodolfo, (74)

mación que es más cierta en el caso de los países del istmo centroamericano).

### **B. La Biotecnología y los cambios en la estructura de transferencia de tecnologías agrícolas de los países desarrollados a los países en desarrollo**

Después de la Segunda Guerra mundial, se fue estructurando en el mundo occidental una red de investigación a nivel mundial; desarrollándose centros de investigación básica o reforzando los ya existentes en

las universidades de estos países; asimismo, se crearon centros privados.

Estos centros han realizado, fundamentalmente, las investigaciones que permitieron dar saltos importantes en la tecnología. Se fundaron centros internacionales de investigación en los PED que en un inicio estuvieron financiados fundamentalmente por la Fundación Rockefeller y la Fundación Ford (así nacen el CIMMYT y el IRRI).

Posteriormente, se crean dos centros más: el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical

(CIAT). En la actualidad existen 13 centros de investigación regionales e internacionales de investigación agrícola, para coordinar y definir las líneas de investigación de los diversos centros formados. Así, nació el Grupo Consultivo en Investigaciones Agrícolas Internacionales, con el propósito de formar una red de trabajo internacional de investigaciones agrícolas (CGIA o CG). Actualmente esta red está apoyada por la FAO, el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas, el Banco Mundial y 37 instituciones más, gubernamentales, privadas e internacionales.

Estos centros, aunque realizan importantes investigaciones, trabajan fundamentalmente con tecnología aplicada. Por otra parte, controlan parte importante de los bancos de germoplasma de las diferentes especies agrícolas tropicales del mundo.

En los países sub-desarrollados se han establecido centros nacionales de investigación, fundamentalmente de carácter estatal. Estos realizan alguna investigación aplicada, pero a partir del desarrollo de las investigaciones llevadas a cabo en los centros internacionales y regionales. Los centros nacionales seleccionan las diferentes variedades de plantas que les envían los centros que realizan investigación básica o los internacionales, dedicándose -casi exclusivamente- a identificar o validar las variedades más aptas a las condiciones del país receptor.

De esta forma, los centros nacionales nunca han tenido investigación básica y la aplicada les ha sido determinada por los centros internacionales y regionales. Se puede concluir que la tecnología utilizada en la agricultura y ganadería del Istmo Centroamericano

ha dependido y depende, en primer lugar, de lo que generan los centros de investigación básica, y, en segundo, de los centros Regionales e Internacionales. Es dentro de esta red que se ha venido dando la transferencia tecnológica para los países del CORECA.

Con el desarrollo de la biotecnología, esta red se está transformando radicalmente, desde que en 1976 se funda la primera empresa de biotecnología, a partir de una asociación entre un profesor universitario y un empresario, los que producen en 1978 -utilizando la ingeniería genética- la somatostatina, hormona del cerebro. Este patrón se desarrolla aceleradamente; así, entre 1978-1982, se forman 200 nuevas empresas en biotecnología, para lo cual utilizan capital de riesgo.

Posteriormente, cuando este tipo de capital comienza a faltar, se inicia un proceso de fusión entre estas pequeñas empresas y las empresas multinacionales, quienes proveen fondos frescos (además a las empresas biotecnológicas entran a la bolsa).

No es sino hasta 1979 y 1980 que las grandes empresas multinacionales, norteamericanas y europeas, reconocen el gran potencial de la biotecnología, por lo que comienzan a invertir, primero como una forma de defensa, para no quedarse fuera, posteriormente en forma significativa, cuando se dan cuenta de sus potencialidad. Así compran investigaciones, se asocian con las empresas pequeñas que trabajan en esta investigación básica, financian grandes proyectos en las universidades (la Hoechst y el Hospital General de Massachusset hacen un acuerdo por 70 millones de dólares para 10 años; Mon-

**CUADRO NO. 14  
EMPRESAS QUE DESARROLLAN INVESTIGACIONES  
EN BIOTECNOLOGIA DE PLANTAS.**

<b>EMPRESAS</b>	<b>AREAS DE INVESTIGACION Y PRODUCTOS</b>
<b>ADVANCED GENETIC</b>	Semillas de maíz, tomate, papa, soya y cereales. Resistencia a plagas y a bajas temperaturas; fijación de nitrógeno.
<b>AGROGENETICS</b>	Tomates con menor contenido de agua; fijación de nitrógeno; genética del almacenamiento de proteínas en soya; semilla híbrida de trigo; desarrollo de híbridos por medio de cultivo de tejidos en tomate, tabaco, girasol y col.
<b>BAYER A.G.</b>	Desarrollo plantas resistentes a fitotoxinas por medio de la ingeniería genética.
<b>BIOTECHNICA INTERNATIONAL</b>	Cultivos con incremento en su valor nutritivo; fijación de nitrógeno en maíz; pesticidas biológicos.
<b>CLAGENE</b>	Semillas resistentes a condiciones adversas; fijación de nitrógeno; mejoramiento en la eficiencia nutricional. Algodón resistente al glifosato.
<b>DE KALB PFIZER GENETIC</b>	Semillas de maíz híbrido, sorgo, girasol, soya y alfalfa.
<b>MOLECULAR GENETICS</b>	Maíz con mayor contenido de lisina obtenido por técnicas de ingeniería genética y de cultivo de tejidos. Resistencia a plantas herbicidas.
<b>PIONEER HI-BRED INTERNATIONAL</b>	Obtención de semillas de trigo y soya por ingeniería genética.
<b>PLANT GENETICS</b>	Clonación y fitomejoramiento de alfalfa, algodón, brócoli, lechuga, tomates y apio.
<b>PHYTOGEN</b>	Semillas resistentes a plagas, plagicidas y sequía de cereales, papa y algodón.
<b>SANDOZ</b>	Producción de bio-insecticida, <i>Bacillus thuringensis</i> .
<b>SUNGENE TECHNOLOGIES CORPORATION</b>	Mejoramiento de variedades de plantas, particularmente de maíz y semillas oleaginosas.
<b>TATE &amp; LYLE</b>	Control biológico de plagas (insecticidas biológicos).

FUENTE: Quintero, Ramírez Rodolfo, opus cit. y Biotechnology in Agriculture.

santo y la Universidad de Washington llegan a acuerdo por 23 millones de dólares; la PPG y la Fundación para Investigación Scripps firman por 10 años un convenio de 120 millones de dólares), lo cual les asegura el acceso al conocimiento universitario, así como el control de las patentes de los resultados. (Ver cuadro 14)

Posteriormente, estas grandes empresas para el desarrollo prioritario dan todas las facilidades de investigación, proyectando que las investigaciones les darían ingresos a partir de los años 90. Así, Monsanto invierte 185 millones de dólares, Dupont, 145 millones etc. Las grandes compañías relacionadas con textiles, cemento, electrónica y acero, se asocian con las compañías más antiguas que hacen investigación.

Las grandes compañías japonesas no se percatan sino hasta los 80 de los grandes potenciales de la biotecnología, así como de sus avances, provocando que se quedaran rezagadas. En 1980 el Gobierno japonés y algunos industriales, repentinamente toman medidas para desarrollar la capacidad tecnológica que les permitiera entrar en la biología molecular. Las compañías japonesas, a su vez, realizan contratos

con las compañías privadas americanas, de biotecnología, para comprar tecnología o asegurarse de la distribución de los productos -influenciados o producidos biotecnológicamente- en el mercado asiático.

De esta forma, los avances y resultados concretos del desarrollo biotecnológico en el mundo desarrollado, se enmarcan dentro de un proceso de privatización, no obstante que, en gran medida, se sigan generando también en los centros universitarios de investigación básica de los países desarrollados, con financiamiento de los gobiernos, como puede verse en el cuadro No. 15.

Esta situación se deriva de que las grandes empresas transnacionales, además de ser una de las principales fuentes de financiamiento para el desarrollo de las biotécnicas, por la estrategia que adoptan (que les permite el acceso a los conocimientos y resultados de las universidades y de las pequeñas empresas de desarrollo biotecnológico) son las que, en forma casi exclusiva, tienen el control de todos los resultados que se generan, ya sea provenientes del financiamiento de los Estados, de los recursos que obtienen en la bolsa las

CUADRO NO. 15  
PRESUPUESTOS ESTATALES PARA INVESTIGACION Y DESARROLLO  
DEDICADOS A LA BIOTECNOLOGIA  
(MILES DE DOLARES)

PAISES	1982	1983	1984	1985	1986
Estados Unidos	450	650	1 805	2 078	2 094
Japón	87	102	170	178	202
Francia	nd	95	111	139	139

FUENTE= Ducos, Ch y Joly P., Les Biotechnologies, Editions La Découverte, Paris, Francia, 1988.

empresas pequeñas de desarrollo biotecnológico, o de sus propio recursos.

Dicho fenómeno está generando un sistema jurídico-legal de patentes a nivel mundial, que es manejado por los gobiernos de los países desarrollados en forma bilateral con los gobiernos de los países no desarrollados, así como en las instancias y foros de las Naciones Unidas que controlan estos aspectos en el contexto internacional. (51, 52 37) Los gobiernos de los países que controlan este nuevo desarrollo tecnológico, ejercen todo tipo de presiones para que los PED acepten dicho sistema, el cual está institucionalizado a nivel mundial en la Organización Mundial de Patentes Industriales (en inglés WIPO).

La presión de las compañías multinacionales por las patentes, se debe a que la biotecnología es una industria de información, o sea que copiar productos es más fácil que el desarrollo de la investigación básica (Kenny); esto se debe a: 1. la base tecnológica de la biología molecular se sustenta en el DNA como un programa, y los organismos vivos como máquinas programables; 2. los organismos producidos por medios biotecnológicos están vivos y pueden ser reproducidos a un costo muy bajo; y 3. el proceso de producción depende del manejo de información y el problema de creación de valor se origina en las actividades básicas de investigación.

La industria de la biotecnología está desarrollando su propio régimen de patentes, para asegurar que las universidades y las empresas que llevan a cabo esta investigación puedan tener el monopolio de las utilidades. Así, actualmente en los Estados Unidos, ade-

más de patentar microorganismos, ya se patentan plantas, y los productores no tienen derecho ni ha desarrollar otros cruces con estas plantas; por último, ya se ha autorizado a patentar formas de vida animal.

Esto implica que los países en desarrollo, realmente, no tendrán ya ni el tipo de transferencias enunciadas anteriormente, es más, realmente no existirá la transferencia, sino la compra de productos; esto si el sistema de patentes se implementa en toda su dimensión, lo que implica llevar la dependencia tecnológica a su máxima expresión. Es por eso que los países desarrollados están activamente promoviendo una adhesión total, por parte de todos los países, a la ley de patentes en la UNCTAD y en la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.

Este proceso de privatización de las nuevas biotecnologías relacionadas con la agricultura y la ganadería, se desarrolla de diferente manera al interior de los países industrializados. En los Estados Unidos y Japón, principalmente, las grandes compañías privadas son las que están llevando adelante este proceso de innovación tecnológica, por lo cual sus resultados serán totalmente privatizados. Debemos recordar que los Estados Unidos han sido el principal promotor y financiador de la red de centros internacionales de investigación mencionados anteriormente, y que, fundamentalmente, es a través de estos centros que se ha dado la transferencia de tecnología hacia los países de la región.

En el caso de Canadá y Europa, los principales programas de investigación derivan de programas estatales, la iniciativa privada tiene acciones, pero

limitadas, aunque existen empresas importantes como la empresa belga Plant Genetic Systems y otras, en Alemania y Francia. A nivel de toda la Comunidad Económica Europea, la Comisión de la Comunidad esta apoyando financieramente un importante programa para el desarrollo de la biotecnología.

Las empresas multinacionales trabajan en el sentido de producir paquetes tecnológicos para asegurar su control (tenemos el ejemplo del desarrollo de plantas resistentes a herbicidas) así como la posibilidad de producir plantas con una inestabilidad genética en su reproducción, para asegurar que el productor tenga que comprarlas anualmente.

Entre las empresas que se encuentran dentro de esta línea, desarrollando investigaciones con los cultivos que exportan los países en desarrollo, tenemos : Nestle (U.S) and Hershey (Suiza), realizan investigaciones en cacao; Uniliver (Holandesa/Inglesa) y Kao Soap (Japón), en palma africana; Kyowa Hakko (Japon) y Tata Co. (India), en té y café; y la Tate and Lyle (Inglesa) trabaja los edulcorantes, etc. Esto les permitirá asegurar una dependencia tecnológica y los correspondientes flujos financieros. (51 y 52)

Si esta tendencia a la dependencia tecnológica, en las dimensiones analizadas, se profundiza y los países en desarrollo no reaccionan, el desarrollo de las economías de países como los que conforman el CORECA, dependerá de las decisiones de las empresas multinacionales y su objetivo de lucro. De ahí, que los países en desarrollo no deben entrar a querer imitar a los países desarrollados en cuanto al estilo

de desarrollo de su agricultura, ni en lo que respecta al desarrollo tecnológico, ni en cuanto a seguir sus consejos de convertirnos en sus exportadores de frutas, legumbres, hortalizas, etc.-exportaciones no tradicionales-.

Estos países deberían tratar de generar sus propias redes de desarrollo biotecnológico, aprovechar que tienen el gerinoplasma y que los avances biotecnológicos pueden ser transformados en función de su germoplasma. Hay que agregar a lo anterior que además del problema de las patentes, los gobiernos de los países desarrollados son reticentes para apoyar el desarrollo biotecnológico en los países en desarrollo, como mecanismo de protección de sus empresas; así en el caso la iniciativa de UNIDO para la creación del Centro Internacional para Ingeniería Genética y Biotecnología, que dio origen al establecimiento de dos centros, uno en Italia y otro en la India, por diferentes razones, no fue apoyado por los Estados Unidos, Alemania, Inglaterra, Japón y Francia.

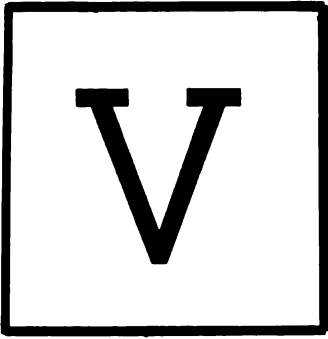
Lo anterior es preocupante, pues con los adelantos esperados en la biotecnología, las ya marcadas diferencias tecnológicas se profundizarán y se podrá justificar, desde un análisis restringido de comparación de precios nacionales e internacionales, que se deje de producir granos y se importen, ya sea comprados o recibéndolos como donación de los países desarrollados. Si este fuera el caso, la pregunta es: ¿Qué va a pasar con la estructura campesina de la región centroamericana que produce, en lo fundamental, los granos básicos de la región y una parte importante de la ganadería ? Igualmente; ¿desde un punto de vista político, es conveniente para la región

**seguir en un proceso acelerado de dependencia alimentaria, en cuanto a perspectiva de poder decidir sobre el tipo de sociedad que se desea?**

**La nueva organización mundial respecto a la generación de procesos biotecnológicos que impacten a la**

**agricultura y ganadería, el control y los objetivos que persigan estas nuevas tecnologías, es algo que debe ser preocupación constante de los países subdesarrollados.**





## **Estrategia para la Introducción de la Biotecnología y su Aplicación en la Agricultura, Ganadería y la Agroindustria en el Istmo Centroamericano**

### **A. Concepción de un modelo alternativo de desarrollo en la agricultura**

Antes de definir una estrategia para la introducción de la biotecnología en la región, conviene recordar la concepción básica de desarrollo, en la cual esta estrategia debe insertarse. Sus elementos principales son:

1. Dentro de la perspectiva de desarrollo más endógeno, lograr la reactivación de la agricultura productora de alimentos y de productos de exportación prioritarios. Para obtenerlo la agricultura debe orientarse a una máxima valorización de su producción, mediante un aumento de la productividad (por unidad de superficie y por trabajador con de una consiguiente reducción de los costos de producción) y de la industrialización de las materias primas agrícolas y pecuarias. De este modo, podría lograrse una generación de excedentes económicos suficientes, que permitan una política de inversiones para el desarrollo de capacidades productivas, acordes con las necesidades de la región.

2. La reactivación de la agricultura en su conjunto, especialmente la productora de alimentos básicos, debe lograrse mediante una mayor participación campesina y una transformación de las condiciones tecnológicas e institucionales que en buena medida provocan el estancamiento y deterioro de las tierras controladas por los campesinos y sus organizaciones. Su conversión en elementos dinámicos permitiría, a mediano plazo, la acumulación de excedentes en ese sector, hoy deprimido, mediante el desarrollo de las fuerzas productivas y, al mismo tiempo, el fortalecimiento de la demanda de bienes y servicios de los otros sectores de la economía.

3. Dentro del marco de políticas de seguridad alimentaria, y de "soberanía alimentaria regional", apoyar el desarrollo de la producción de alimentos básicos prioritarios, mediante la utilización de biotécnicas aplicadas a las variedades vegetales y razas animales, manejadas por productores campesinos y comerciales. De este modo se logrará generar, a mediano y largo plazo, una oferta adecuada no sólo a la demanda efectiva actual, sino también a la demanda no expresada en el mer-

cado, debido a la desequilibrada distribución del ingreso, es decir adecuada a las verdaderas necesidades de consumo de alimentos básicos de toda la población regional.

4. Modificar las relaciones de dependencia para con la economía internacional, de tal modo que se establezca una vinculación dinámica con la misma, en base a la sustitución de ciertas importaciones - por ejemplo los alimentos básicos y el papel- y a la diversificación de las exportaciones, mediante la industrialización de la biomasa y la mayor eficiencia productiva de la agricultura.

5. Contribuir al desarrollo de una estrategia agrícola y agroindustrial de carácter regional, como eje fundamental del desarrollo económico y social del istmo centroamericano.

6. Fortalecer la capacidad científico-técnica regional, de manera que permita captar, adecuar, transformar y desarrollar técnicas biotecnológicas, que hagan posible el saneamiento y transformación genética de plantas y animales, el mejor manejo de la post-cosecha, así como la industrialización de la biomasa abundante en la región.

#### **B. Elementos fundamentales de una estrategia de desarrollo biotecnológico**

A partir de los elementos arriba enumerados, conviene señalar los rasgos principales de una estrategia específica de desarrollo biotecnológico. Para definir los rubros básicos en el campo vegetal, animal y agroindustrial que dan base a una estrategia de introducción de biotecnologías, es necesario tomar en cuenta ciertos criterios.

En primer lugar, escoger aquellos productos con mayores potencialidades para el desarrollo regional y, en segundo lugar, aquellos que concuerdan con los principios estratégicos enunciados anteriormente, es decir que faciliten un desarrollo más endógeno, nacional y regional, dentro de una visión de seguridad y autosuficiencia alimentarias y de diversificación de las exportaciones para el mercado mundial.

Una evaluación hecha en base a los criterios mencionados, y después de un trabajo de investigación y de campo realizado en los dos últimos años, permite seleccionar los rubros agrícolas, forestales y pecuarios como aquellos más viables para jugar un papel dinámico de desarrollo a partir de la introducción de las biotécnicas, tanto en su fase agrícola como en la de transformación agroindustrial: maíz, arroz, frijol, sorgo, caña de azúcar, banano, yuca, recursos forestales y ganadería.

Con respecto al café y algodón, conviene hacer la siguiente observación. La investigación agrícola sobre estos dos productos ha recibido históricamente gran apoyo y existen actualmente instituciones con programas bastante desarrollados. Lo que aquí se plantea es que dichas investigaciones sean reorientadas hacia la biotecnología (lo que sucede ya en parte en el caso del café: PROMECAFE en el CATIE, Turrialba). El desarrollo biotecnológico de estos rubros, igualmente, debe formar parte de la red biotecnológica a ser desarrollada en la región.

Dentro de esta estrategia de desarrollo biotecnológico, se deben considerar además algunos nuevos productos

agrícolas de exportación, las "exportaciones no tradicionales", no sólo por su rentabilidad, sino también por su potencialidad de penetrar, en forma competitiva y estable, en los mercados extranjeros, agregado a su capacidad relativa de captación de recursos netos del exterior y de generación de empleo y de financiamiento para el desarrollo. Sin embargo, el análisis de estos últimos productos, en términos de utilización de biotecnologías (por ejemplo flores y algunas frutas y legumbres, en gran medida controlados por capitales privados nacionales y transnacionales), no será incluido aquí, puesto que este informe pone el énfasis en las políticas de apoyo estatal al desarrollo biotecnológico en los rubros prioritarios ya mencionados y no en estos productos de exportación en que la biotecnología es desarrollada principalmente por la iniciativa privada.

El Estado deberá definir políticas de incentivos hacia este tipo de desarrollo biotecnológico, dentro de los que podemos mencionar: excepciones de impuestos -para orientarlos al desarrollo de la investigación-, creación de líneas de capital de riesgo, etc. Las empresas que gocen de estos privilegios, deberán conectarse a la red biotecnológica, para apoyar su desarrollo.

### **C. Principales problemas del sector agropecuario**

Habiendo ya enumerado los productos agrícolas con prioridad, en lo que toca a la investigación biotecnológica, es importante identificar cuales son, por una parte, los principales problemas y escollos que éstos encuentran en su producción agrícola, su transformación industrial y su comercialización y, por otra parte, las restricciones a las

cuales se enfrenta la investigación orientada a superarlos.

En una primera etapa, deben establecerse las limitaciones de las técnicas convencionales para resolver los problemas señalados en cada uno de los productos seleccionados. Enseguida, se deben explorar los aportes o contribuciones que la biotecnología podría hacer al respecto.

Esto último deberá hacerse en una óptica de corto, mediano y largo plazo, a partir de diferenciar aquellos obstáculos que pueden ser inmediatamente superados por medio de las técnicas biotecnológicas existentes, y por otra parte diferenciar aquellos otros problemas y escollos que requieren información básica -bioquímica y/o genética-, antes de poder desarrollar una nueva técnica para resolverlos.

Una manera operativa de abordar un programa de investigación biotecnológica debería contener los siguientes elementos o pasos, antes de decidir intentar resolver cualquier problema o escollo (Willian Rocca):

-objetivos concretos de la investigación.

-justificación económica y biológica del programa que intenta corregir un problema dado o superar una limitación técnica.

-estrategia o línea de investigación que se propone para resolver el problema o limitante en cuestión, esto en el caso de que no exista ya una solución lograda en otros países o centros de investigación.

-si el mejoramiento técnico buscado ya existe, analizar la posibilidad de adap-

tación a las características y necesidades propias de la región, y si esta adaptación se estima posible, proceder a su implementación.

-si el mejoramiento técnico no existe, estudiar la posibilidad de resolver el problema planteado en conjunto con otros centros en otros países o regiones.

-determinar el área (o áreas geográficas) y tipo de productores que serían beneficiados con la innovación tecnológica y las modalidades de transferencia de tecnología sobre todo a la agricultura campesina.

-establecer el tiempo que se requeriría para resolver el problema planteado, así como para que éste impactara directamente la producción

-especificar y planificar los nexos existentes entre las investigaciones básicas o fundamentales y las investigaciones aplicadas.

#### **D. Limitaciones por rubros seleccionados**

Las limitantes más importantes para algunos de los rubros seleccionados, a nivel de su producción agrícola son:

**Azúcar:** Excesiva diversidad de variedades; inadecuado proceso de maduración de las diferentes variedades, lo cual obstaculiza los planes de corte con la capacidad de absorción del ingenio para su molienda; plagas y enfermedades (el tizón, el barrenador de la caña, mosaico de la hoja); susceptibilidad a sequía; susceptibilidad al acame; baja productividad de caña por hectárea y de azúcar por TM de caña; período muy corto de maduración o de

máximo porcentaje de sacarosa; daños por topos o taltusas; degeneración de la planta; muy corto el período de vida útil de la planta; poca adaptabilidad a suelos secos y arenosos.

**Banano:** Sigatoka negra, mal de Panamá II, nemátodos, moco, topos o taltusas, erección del rizoma en suelos pesados, susceptibilidad al acame, pericibilidad del fruto.

**Yuca:** Acido cianídrico, valor nutritivo de la raíz, incremento productividad, pericibilidad o manejo post-cosecha, fitomejoramiento de la planta, propagación, enfermedades viróticas, peste hornworm -gusano del follaje- (familia sphingidae), calidad de la harina, capacidad de fotosíntesis de la planta, daños por topos.

**Maíz:** Problemas post-cosecha, utilización áreas marginales, achaparramiento, malezas -cyprus, rottboellia y otras-, calidad nutritiva, pudrición de la mazorca, tolerancia a la sequía, falta de variedades adaptadas al sistema cultivo, fertilización, plagas del suelo, punta descubierta, semilla de mala calidad, phyllacora -enfermedad-, tizones, cogollero, acame, roya, carbón, variedades ciclo largo en alturas de más de 1000 mts., medidor, barrenador, gallina ciega, daño por pájaros, virus de la hoja, altura de la mazorca, bajos rendimientos de las variedades criollas.

**Frijol:** Manejo post cosecha (endurecimiento del grano, pérdida de materia seca y de valor nutricional), falta de semillas de calidad, mustia hilachosa, babosa, bacteriosis, antracnosis, mildiu oidium, fijación simbiótica, tolerancia/resistencia a la sequía, bajo uso de insumos, roya, picudo de la vaina, malezas, fertilización, adaptación a

trópico húmedo y a zonas cálidas, arreglo espacial, mancha angular, falta de variedades, chinche de potrero, ciclo largo, requemo negro/amarillo, pudrición de raíz, variedades para sistemas de cultivo, tortuguilla, ascochita, nemátodos, mosaico dorado, moho blanco, falso medidor, virus, etc.

**Arroz:** Resistencia e inestabilidad a pericularia, rhyncosporium, cercóspora, control malezas (caminadora), resistencia variedades baja precipitación, manejo agronómico, manchado del grano, sogatodes oryzicola, fertilización, pérdida y deterioración grano (pre y post-cosecha), plagas (pájaros, roedores y otros), falta conocimiento plagas y control, acame, cambios de secano a riego, falta variedades mejoradas, envanecimiento por efectos de las temperaturas sobre la polinización.

**Sorgo:** Mosca del sorgo, falta de variedades para consumo humano, producción de semilla de mala calidad e insuficiente, pájaros, sistemas de producción, control de malezas, antracnosis, baja fertilidad de los suelos, fusarium moniliforme, falta de variedades adaptadas a sistemas de producción pequeños, fertilización, pérdidas post-cosecha, gusano cogollero (Sphodoptera), mancha gris (cercospora), tizón de la hoja (helminthosporium), mildiu veloso, época de siembra, macrophomina, barrenador (diatraea), mancha zonada (glocercospora), fuzrium moniliforme (grano), carbón cubierto, gusano telarañero, roya, gorgojo, curvularia, alto porcentaje de taninos, bajo valor proteico.

**Forestal:** Producción de variedades de rápido crecimiento, desarrollo de las micorrizas -para la fijación de nitrógeno-, plagas -gorgojo del pino-, enfer-

medades, bajo porcentaje de pulpa, tamaño y cantidad de la fibra.

**Ganadería:** Mejoramiento pie de cría -selección y trasplante de embriones- hato lechero y de carne a nivel comercial, hormonas del crecimiento hato comercial y campesino -leche y carne-, gusano barrenador, garrapata y otros parásitos de la piel, tuberculosis, brucelosis, septicemia, rabia, ántrax, edema maligno, carbón sintomático, mastitis, prevención de la fiebre aftosa, muerte de la madre por tamaño del feto, bubas, anemia.

### **E. Desarrollo de la red biotecnológica**

Se considera que la forma más eficiente y menos costosa, en que se puede introducir la biotecnología -como una herramienta que apunte a resolver todas las limitantes establecidas para cada uno de los productos sujetos de esta estrategia-, siempre y cuando no exista posibilidad de resolverlas con las técnicas existentes, sería la de desarrollar una red biotecnológica que, a partir de líneas generales de acción, genere unidades especializadas por producto o grupo de productos a nivel regional. Además, esta red deberá insertarse en la red de instituciones de carácter nacional, regional o internacional que trabajan con herramientas biotecnológicas, los productos y restricciones de interés para la región.

Al respecto, ya existen propuestas concretas para una red en el caso de la yuca, y se está trabajando para constituir otra para el frijol. Para la transferencia concreta a los países y a los productores de las metodologías y técnicas desarrolladas y/o adaptadas, se desarrollarían, al interior de las unidades de investigación nacional, las capa-

tidades técnico científicas para que se puedan asimilar los acervos biotecnológicos y sea posible su transferencia a los productores.

Igualmente las unidades serían las responsables de recoger, desde las unidades de producción, los problemas que la biotecnología deberá de resolver.

En el caso del desarrollo biotecnológico para la industrialización de la biomasa agrícola -productos y subproductos- se trabajaría fundamentalmente a nivel de dos grandes unidades regionales, el ICAITI y el INCAP. Serían éstos los responsables del desarrollo y adopción tecnológica, así como de establecer la factibilidad de los proyectos, sean estos nacionales o regionales.

#### **F. Objetivos de la Red Biotecnológica Regional**

A partir de lo anterior, se proponen los siguientes objetivos a perseguir con el desarrollo de la red biotecnológica regional:

1. Primero, lograr un conocimiento profundo de la morfología y la genética de las plantas y animales que se trabajan en la región.

2. El segundo objetivo deberá estar orientado a iniciar un proceso de mejoramiento a través de técnicas que permitan limpiar de plagas y enfermedades los diferentes materiales que se utilizan en la región. Este mejoramiento genético de las plantas, estaría sustentado en técnicas que permitan, posteriormente, acceder a técnicas de manejo celular y molecular.

3. El tercer objetivo debe consistir en el establecimiento de bancos de germoplasma para los diferentes cultivos, desarrollando los medios que permitan utilizar en una primera instancia, las técnicas in-vitro, y posteriormente -de ser posible- las técnicas de crío-conservación. Esto con la finalidad de salvaguardar nuestro material genético, así como hacer un intercambio internacional del mismo.

4. El éxito en la implementación de los tres objetivos anteriores, le permitiría a la región conseguir el cuarto gran objetivo, consistente en el desarrollo de las bases científico técnicas para lograr transformar las plantas y los animales, en el mediano plazo; lo que implica utilizar la ingeniería genética, hasta conseguir la transformación del material regional -plantas y animales transgénicos-.

5. Todos los anteriores objetivos permitirían a la región lograr un quinto propósito: la capacidad para poder desarrollar sus propias metodologías y técnicas, así como transferir las metodologías y técnicas desarrolladas en los países industrializados y aplicarlas al germoplasma regional.

6. En el área industrial, el objetivo sería acceder o desarrollar procesos de fermentación, producción y manipulación genética de catalizadores, así como la utilización de éstos en la industrialización de la biomasa.

#### **G. Red de laboratorios en biotecnología**

Los objetivos anteriores llevan a la necesidad de desarrollar una red de laboratorios en biotecnología que se

concentren, en un primera etapa, en las siguientes áreas de investigación:

### 1. Las técnicas in-vitro:

**Programa de cultivo de tejidos y/o células (cultivo in-vitro) en los cuatro granos básicos, así como en azúcar, banano, yuca, plantas forestales y microorganismos (hongos, bacterias y enzimas).** Además de constituir un instrumento con grandes potencialidades para un entendimiento más claro y profundo de la biología y fisiología vegetal, el cultivo de tejidos, manejado y desarrollado con maestría, sirve para el fitomejoramiento de plantas. Es una técnica avanzada, que permite dar un salto cualitativo con respecto a las técnicas tradicionales de fitomejoramiento. Es claro que la técnica de cultivo in-vitro, sin las capacidades de los actuales programas de fitomejoramiento, no podría tener resultados concretos o sea llegar a desarrollar, limpiar los materiales de la región, o desarrollar nuevos -a nivel regional- para su uso en finca.

El cultivo in-vitro abarca desde técnicas más o menos sencillas como la micro-propagación, hasta las más avanzadas de transferencia de genes que se conoce como ingeniería genética. Lógicamente, el desarrollo en ese campo tiene que empezar con métodos básicos, para posibilitar posteriormente el paso hacia técnicas de fitomejoramiento más específicas en el desarrollo de características deseadas en las plantas (plantas transformadas) o microorganismos.

Cualquier programa de fitomejoramiento con ayuda de técnicas in-vitro presupone métodos o técnicas establecidas para la regeneración de plan-

tas enteras a partir de tejidos, células y protoplastos. Su aplicación en algunos de los organismos sujetos de esta estrategia, encuentra todavía dificultades, por lo tanto, la investigación tiene que empezar a desarrollar o transferir esas técnicas, que actualmente ya se manejan en algunos centros regionales del área del CORECA o en otras partes del mundo.

Las técnicas in-vitro se pueden clasificar de la siguiente manera:

a. **Variación somoclonal y selección in-vitro.** Esta técnica aprovecha la variabilidad genética que se da en tejidos o células in-vitro: se pueden generar células que tienen características deseadas, como por ejemplo: tolerancia a sales, resistencia a enfermedades, tolerancia a sequía; éstas se pueden detectar a través de métodos de selección, también in-vitro, y las células pueden ser regeneradas hasta plantas enteras con nuevas características. La estabilidad y heredabilidad de estas últimas a nivel de planta, tienen que ser probadas en vivo, mediante métodos de fitomejoramiento tradicional. Una gran ventaja de la variación somoclonal y selección in-vitro, es que las nuevas características se dan a partir de tejidos de la planta madre. Por lo tanto, en su aplicación a plantas de variedades probadas comercialmente, significa generar variedades mejoradas que se pueden usar directamente en el mercado.

b. **Cultivo de anteras.** Esta técnica implica la producción de haploides que, mediante técnicas de duplicación de cromosomas, permite llegar rápidamente a líneas homocigotas de plantas, una vez que se hayan introducido características genéticas deseadas, o sea

que acorta el tiempo en la obtención de líneas puras.

**c. Rescate de embriones, fertilización in-vitro y fusión de protoplastos.** Estas técnicas permiten obtener plantas de cruzamientos amplios, es decir entre plantas de diferentes especies e incluso de diferentes géneros, lo cual con las técnicas tradicionales normalmente no es posible. Esto amplía enormemente la base genética para el fitomejoramiento: características deseadas, como por ejemplo resistencias a enfermedades que se encuentran en especies silvestres, pueden ser introducidas a las especies comerciales. Por el momento, la fusión de protoplastos en muchas especies monocotiledoneas carece de técnicas que permitan la regeneración de plantas a partir de los protoplastos fusionados o no. Sin embargo, recientemente se ha logrado esta técnica en el arroz, la caña de azúcar y algunos pastos (Webb).

**d. Transferencia de organelos, cromosomas o genes.** Con estas técnicas se entra al campo de la ingeniería genética propiamente dicha. Las mismas permiten cambios genéticos mucho más precisos y dirigidos que las técnicas mencionadas en los numerales anteriores, pero requieren también de mucha más información genética y manejo de procedimientos bioquímicos y moleculares. Para trabajar con esta técnica, se requiere de un esfuerzo interdisciplinario entre bioquímicos, biólogos moleculares, expertos en cultivo in-vitro y fitomejoradores. Presupone la existencia de capacidades en el manejo de las técnicas anteriormente mencionadas.

**e. Desarrollo de un banco de germoplasma de los cultivos contemplados**

**en esta estrategia.** Constituye una necesidad fundamental para lograr una sólida base de crecimiento tecnológico. Esto permitirá controlar un instrumento que se vuelve estratégico dentro de una visión de mayor autosuficiencia tecnológica regional, y detener además el flujo descontrolado de germoplasma hacia el extranjero. En un banco de semillas, las técnicas de cultivo in-vitro pueden facilitar la revigorización del germoplasma almacenado, o sea el rescate de embriones. También le daría base al intercambio de material genético entre la región y otras partes del mundo, de tal forma que pudiera contribuir a obtener material genético y lograr enriquecer el propio. Las técnicas de cultivo in-vitro facilitan el intercambio de material vegetal sano, sin problemas de contaminación.

## **2. Programa para el desarrollo de la capacidad para la fijación de nitrógeno**

Ya sea mediante simbiosis con otros organismos vegetales, o por cambios del genotipo vegetal, tanto del suelo como del aire. La fijación simbiótica del nitrógeno mediante bacterias en el caso de leguminosas y forestales, es un proceso que ha sido ya bastante estudiado. El mejoramiento de la fijación de nitrógeno mediante la inoculación de cepas seleccionadas de la bacteria *Rhizobium*, es un campo que requiere investigación y esfuerzos concretos de aplicación de esos conocimientos. Esta debería ser una línea de investigación dentro de un programa de biotecnología. Este proyecto tiene que desembocar en el establecimiento de una capacidad suficiente de producción de inoculantes, que atienda las necesidades de los cultivos de esta estrategia.



Las perspectivas para la fijación simbiótica de nitrógeno en cultivos diferentes al frijol y algunas forestales, así como la fijación del nitrógeno libre por parte de las plantas en forma directa, parecen estar muy lejanas, aún a nivel mundial.

La región deberá estar atenta al avance de las investigaciones en ese campo (que implican desarrollo a nivel de ingeniería genética), para -en su momento- poder aprovechar los progresos logrados. Para esto deberá, por una parte, hacer un inventario de los diferentes tipos y cepas existentes de *Rhizobium* en la región; trabajarlos genéticamente para lograr su transformación y reproducción en laboratorio, de forma que puedan ser utilizadas en los diferentes microsistemas de la región. Por otra parte se deberá trabajar en el desarrollo de capacidades propias de producción de inoculantes. Además de los trabajos sobre inoculación de *Rhizobium*, y contando con la experiencia de los mismos, es posible desarrollar investigaciones sobre otros microorganismos benéficos del suelo, como son las micorrizas, que facilitan la absorción de fósforo a las plantas y que pueden ser particularmente útiles para todos los cultivos.

Esta línea de investigación deberá incluir el mejoramiento de la capacidad de la propia planta para aprovechar al máximo todos los nutrientes disponibles en su entorno, aún sin la presencia de algunos elementos menores, como es el caso del magnesio (Mg), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (Bo) y otros. En el caso de las raíces y tubérculos, se puede además pensar en que la planta desarrolle mayores capacidades de almacenamiento de nutrientes.

### **3. Técnicas para el análisis del genoma**

Estas técnicas para el análisis del genoma (las cuales pueden utilizar marcadores bioquímicos y moleculares, a nivel de las proteínas, enzimas y el DNA, especialmente las de marcadores moleculares, RFLPs -poliformismo de grafmewntos de restricción de DNA-) permiten analizar directamente el DNA (los genes) y por lo tanto generar información en la presencia de genes específicos, así como su ubicación en el cromosoma; conocimientos fundamentales para poder acelerar el proceso de aplicación de técnicas para la manipulación genética.

Este mapeo puede hacerse a nivel de: a. las proteínas, b. las enzimas y c. el ADN (RFLPs).

Su utilidad consiste en:

- I El establecimiento de relaciones biosistemáticas entre especies y sub-especies de los genes;
- II Descubrir variabilidad genética;
- III Estudios sobre la evolución y dispersión del germoplasma;
- IV Caracterización de los grupos de genes, así como ubicación de intra e inter-compatibilidades específicas; identificación de genes, etc.

### **4. Ingeniería genética**

La posibilidad de transferir características genéticas entre seres vivos de diferente especie, se ha viabilizado a partir del desarrollo de técnicas que permiten la reproducción asexual. Además estas técnicas (en combinación

con las que permiten conocer el mapa genético en general y la ubicación específica de ciertos genes de interés para la transformación del ser vivo en cuestión), hacen posible que los seres vivos -plantas, animales y microorganismos- puedan ser transformados con las características más deseables para la producción y la adaptación a diferentes sistemas agroecológicos, muchas veces adversos.

Por una parte, lo anterior se refleja en incrementos en la producción y la productividad, así como en la posibilidad de transformar la temporalidad de las plantas en procesos permanentes de producción; y por otra parte, el desarrollo de una mejor relación entre la planta, el suelo y el agua, reducirá los costos y detendrá el deterioro de los ecosistemas.

#### **H. Estrategia por producto a nivel agrícola**

Considerando las limitaciones de recursos y la necesidad del fortalecimiento de la integración regional, es necesario que las Unidades de Biotecnología Regional (UBIR) estén distribuidas en diferentes países, cubriendo con sus programas de trabajo a toda la región y formando, con las Unidades Nacionales de Biotecnología (UNBI), una red regional.

Estas unidades deberán relacionarse con otras instancias que lleven adelante investigaciones en su campo, con el objetivo de no duplicar esfuerzos y poder avanzar en forma más rápida en los objetivos aquí planteados. Lo anterior, encaminado a formar una amplia red de biotecnología especializada en los diferentes cultivos aquí señalados.

Las UBIR trabajarían con uno o más productos, dependiendo de las capacidades técnico-científicas presentes y por desarrollar, lo cual se haría sobre el material genético de la región, teniendo como objetivo central el aumentar significativamente la productividad y reducir los costos de producción.

**Azúcar:** Se generaría una Unidad Regional de Biotecnología del Azúcar (URBICA), que iniciaría sus actividades en las siguientes tareas: seleccionar y reducir el número de variedades utilizadas; limpiar las variedades de los principales problemas, como podrían ser el tizón, virus de la hoja y el barrenador; desarrollar el banco de germoplasma; mapeo del genoma. En el mediano plazo, esta unidad se iría preparando para manejar y transformar genéticamente esta planta.

**Banano:** La Unidad Regional de Biotecnología del Banano (URBIBA) funcionaría a partir de los esfuerzos regionales actuales. Esta unidad se ubicaría en el CATIE, iniciando sus actividades en los siguientes campos: desarrollar las técnicas biotecnológicas que permitan (a partir de los avances ya logrados por la FHIA en el fitomejoramiento relacionado con el problema de la Cigatoka Negra y el *Fusarium* 4), la transformación más acelerada y definitiva de la variedad Cavendish, de manera tal de volverlo más resistente a estas enfermedades o, en su defecto, generar un nuevo germoplasma con estas características -y que además sean comercializables- limpiar el Cavendish de los nemátodos y fitoparásitos más importantes; desarrollar el banco de germoplasma; introducir las técnicas del mapeo del genoma. La producción de nuevo material se haría sobre la

base de técnicas tales como: la inducción de mutaciones; variación somaclonal; la fusión de protoplastos y el ADNr.

**Yuca:** Para el caso de este cultivo, se pretendería incorporar dentro de la red a el CIAT con su unidad de biotecnología. Esta unidad podría introducir en sus programas de trabajo el material y los problemas de los productores de la región que no estén incorporados en sus planes.

La estrategia de trabajo definida por este centro y presentada como las áreas básicas a desarrollar en este cultivo, definiría las siguientes prioridades: ácido cianídrico, valor nutritivo de la raíz, incremento productividad, pericibilidad o manejo post-cosecha, fitomejoramiento de la planta, propagación, enfermedades viróticas, peste hornworm -gusano del follaje- (familia sphingidae), calidad de la harina y capacidad de fotosíntesis de la planta.

**Maíz:** Se generaría una Unidad Regional de Biotecnología del Maíz (URBIMAS), que iniciaría sus actividades en los siguientes campos: seleccionar y reducir el número de materiales, dando prioridad a los utilizados por los productores campesinos, limpiar éstos de los problemas enumerados, post-cosecha, malezas -cyprus, rottboellia y otras-, pudrición de la mazorca, plagas del suelo, tizones, cogollero, acame, barrenador y gallina ciega. Desarrollo del banco de germoplasma para su conservación e intercambio internacional. Además se desarrollaría la línea de trabajo de mapeo del genoma, para proporcionar las bases al manejo genético de esta planta.

En el mediano plazo, con las técnicas de recombinación del ADN se trabajaría en: utilización áreas marginales, achaparramiento, calidad nutritiva, tolerancia a la sequía, fertilización, punta descubierta, ciclo de las variedades, altura de la mazorca, bajos rendimientos de las variedades criollas. Los trabajos a desarrollar en este rubro, son de la máxima importancia, dada la significación que esta planta tiene en la alimentación de la población, en los ingresos de los productores campesinos, la amenaza creciente de una pérdida mayor de la autosuficiencia alimentaria y el incremento de la dependencia para con la agricultura norteamericana.

**Frijol:** Dados los avances que en este cultivo presenta el CIAT a nivel de los objetivos planteados por esta estrategia, la línea correcta de trabajo es incorporar al CIAT dentro de la red, como responsable de llevar adelante las investigaciones relacionadas con este cultivo. Es muy importante dimensionar que este instituto está llevando acciones encaminadas al establecimiento de una red internacional para el desarrollo biotecnológico del frijol.

En el corto plazo, el esfuerzo central en frijol es lograr la reproducción asexual y la obtención por este medio de plantas estables, de *P.vulgaris*, trabajo sobre el cual el CIAT tiene adelantos muy significativos. Después de obtener lo anterior, se entraría al proceso de limpieza de las variedades utilizadas por el campesino de la región del CORECA. De los problemas básicos identificados (para ser erradicados en las variedades regionales) podemos mencionar: problemas post-cosecha (incremento tiempo de cocción, pérdida materia seca y pérdida contenido nutritivo), mustia hilachosa, babo-

sas, bacteriosis, antragnosis y mancha angular, entre otros.

Así también se iniciaría el trabajo de desarrollo del banco de germoplasma *in-vitro*, para su conservación e intercambio internacional. Posterior a este aspecto o simultáneamente, habría que desarrollar un proyecto sobre técnicas de crío-conservación en frijol. La fijación simbiótica de nitrógeno es otra línea de investigación que debe profundizarse.

En el mediano plazo, en base al desarrollo de las técnicas *in-vitro* y de lectura y ubicación del genoma, se podría acceder al área de la genética, para producir plantas transformadas que pudieran tener resueltos los problemas siguientes: resistencia a sequía, adaptación al trópico húmedo y áreas cálidas, variedades de ciclo largo, fijación de nitrógeno del aire y mayor capacidad de la planta para absorber y aprovechar los nutrientes.

Este producto -al igual que el maíz- es de la máxima importancia, dado que constituye la fuente principal de proteína para más del 80% de la población de la región. Por lo que es uno de los rubros claves dentro de la estrategia de seguridad y autosuficiencia alimentaria.

**Arroz:** En este cultivo, al igual que en el caso de la yuca y el frijol, sería el CIAT el responsable de implementar las investigaciones básicas en biotecnología, al interior de la Red Biotecnológica de los países del CORECA.

Las líneas prioritarias de investigación serían las siguientes: resistencia al tumbado, esterilidad citoplasmática masculina, mayor vigor de las

plantas; limpieza de los principales problemas en las variedades utilizadas por el productor que son entre otros: piricularia, rhyncosporium, cercóspora, manchado del grano, sogatodes oryzicola, manejo post-cosecha ( quebrado del grano, pérdida materia seca, etc.); mapeo del genoma, desarrollo del banco de germoplasma *in-vitro*, buscando la críoconservación y el reseate de embriones de utilidad para resolver la incompatibilidad entre especies de arroz, cuando ésta es post-cigótica.

En el mediano plazo, esta unidad se iría preparando para manejar y transformar genéticamente esta planta. Dentro de esta línea de investigación, estaría desarrollar la fusión de protoplastos, lo cual es potencialmente útil para cruzamientos interespecíficos e intergenéricos. Esto es de utilidad para transferir genes citoplasmáticos de especies silvestres ( de 22 especies de *Oryza* que existen, sólo dos se cultivan), para aumentar la variabilidad citoplasmática del arroz o para transferir genes de apomixis de especies silvestres de *Oryza* (no segregación en reproducción sexual).

Dentro de estas líneas de investigación, se plantea la necesidad de generar la tecnología que permita transformar las variedades de secano, en variedades competitivas en relación a las variedades de riego.

**Sorgo:** Se propone que el desarrollo biotecnológico del sorgo, se lleve adelante en la misma Unidad Regional de Biotecnología que atendería al maíz. Las actividades prioritarias estarían enmarcadas en los siguientes campos: la inducción y el cultivo de callos en las variedades de la región; posteriormente, limpiar estas variedades de los

principales problemas que podrían ser: mosca del sorgo, antracnosis, fusarium moniliforme, cercospora, helmintosporium, mildiu veloso, manejo postcosecha, entre otros. Desarrollo de un banco del germoplasma y de las técnicas de mapeo del genoma.

En el mediano plazo, esta unidad se iría preparando para manejar y transformar genéticamente esta planta, dando prioridad total a las variedades criollas (como cacho de chivo y paquete), para volverlas competitivas con las variedades mejoradas, que conforman un paquete tecnológico con un alto costo en divisas y utilización de tierras de primera calidad (así como parte de la escasa área de riego con que cuenta la región). También se trabajaría en la transformación de estas plantas para hacer el producto más nutritivo y adecuado para el consumo humano.

**Forestal:** El desarrollo biotecnológico de este rubro sería responsabilidad del CATIE, que iniciaría sus actividades en los siguientes campos: la principal línea de investigación debería estar orientada a la recuperación de las cuencas hidrográficas, dentro de un enfoque de explotación agrosilvopastoril. Lo que implica entre otras cosas: saneamiento y mayor resistencia a plagas y enfermedades; desarrollar sistemas de multiplicación masiva; mejorar y generar variedades de rápido crecimiento y uso múltiple (energía, celulosa, madera para construcción y maderas finas etc.); especies que sean capaces de fijar su propio nitrógeno, para lo cual se debe trabajar en la inoculación de microrrisas y otros microorganismos capaces de fijar nitrógeno para acelerar el crecimiento de los árboles. Desarrollo de un banco de

germoplasma a partir de técnicas *in-vitro* y críoconservación.

Por otra parte, desarrollar estudios del genoma para un manejo de las características genéticas del germoplasma. El mejoramiento genético de árboles que permita ampliar la producción de madera de buena calidad; troncos uniformes; altos rendimientos del tronco en relación a la biomasa; árboles que se pueden adaptar a diversos climas y variaciones ambientales.

**Ganadería:** Creación de la Unidad Regional de Biotecnología Animal (URBA). El trabajo de esta unidad abarcaría al ganado vacuno, porcino y avícola. En el ganado vacuno y porcino la investigación se orientaría fundamentalmente al mejoramiento del pie de cría. En vacuno, atendiendo el ganado de doble propósito para que mejore su producción de leche y carne; y, a nivel empresarial, trabajar por una ganadería especializada, dando prioridad a la producción de leche. Esto implica técnicas de selección, transplante de embriones y técnicas de superovulación, así como lograr la transferencia de las hormonas de crecimiento para impactar la productividad de leche y carne. Banco de germoplasma para conservación de material genético.

En el área de la sanidad animal, habrá que hacer una evaluación para ver la posibilidad de desarrollar la producción de vacunas, insecticidas y sistemas integrados. También deberán evaluarse otras posibilidades -expuestas en este informe -que ofrece la biotecnología. Mediano y largo plazo: transformación genética para una mejor convertibilidad de proteína vegetal a proteína animal (en términos de carne y leche), reducción contenido adiposo

en la carne, limpieza del hato de los problemas del gusano barrenador, brucelosis, septicemia hemorrágica, edema maligno, carbón sintomático, antrax, tuberculosis, esterilidad y otras.

**Pastos:** Evaluar la conveniencia o no de desarrollar una **Unidad de biotecnología regional** que maneje todo el desarrollo biotecnológico en pastos, al interior de la unidad regional que opere lo pecuario, considerando que éstos deberán jugar un papel fundamental en la conversión de la ganadería extensiva a una intensiva, que descansaría en el incremento sustancial de la producción de la biomasa proveniente de los pastos manejados en la región, así como en la elevación del valor protéico de éstos. Esta unidad igualmente debería trabajar otras especies de pastos, como el caso de las leguminosas (las leucaenas, el trébol y otras), por su capacidad altamente nutricional y de fijación de nitrógeno. La otra alternativa sería que el CIAT, que ya ha comenzado algunos trabajos al respecto, implemente la estrategia biotecnológica de pastos.

Las líneas de trabajo estarían encaminadas a: elaborar una selección dentro de las múltiples variedades, en función del trabajo biotecnológico; desarrollar un banco de germoplasma *in-vitro* y, si es posible, aplicar la crío-conservación; proceso de limpieza de las variedades seleccionadas en cuanto a royas, hongos y plagas como chinches -de potrero, salivosas y otras-; trabajar en el conocimiento del genoma de las variedades seleccionadas.

En el mediano y largo plazo: desarrollar técnicas de ingeniería genética que permitan incrementar sustancialmente la productividad y el contenido

protéico de las especies seleccionadas, (que puedan responder a condiciones adversas como suelos pesados, mal drenados, resistencia a sequías, al pisoteo del ganado y otras).

## **I. Estrategia a nivel industrial**

### **1. Una estrategia alternativa y sus repercusiones**

Esta estrategia se sustenta en una simulación restringida a ciertos productos posibles de desarrollar, en donde ya existe la tecnología en forma comercial y un mercado regional ya abierto. Esto último es fundamental, dado que en el modelo a analizar, el mercado interno sería el motor determinante, sin subestimar -por supuesto- el mercado internacional. La estrategia que da base a la red biotecnológica de los países del CORECA, no puede reducirse a trabajar en la sola fase agrícola de la economía de los países, sino que debe incorporar la fase industrial de los subsistemas agrícolas aquí incorporados, con el objetivo de incrementar sustancialmente el valor agregado, generado hoy por la agricultura y la economía en general, fundamentalmente a través del aprovechamiento integral de la biomasa.

Se propone que los trabajos relacionados con la implementación de esta estrategia agroindustrial sean desarrollados por el ICAITI y el INCAP, para lo cual estos institutos deberán redimensionar sus objetivos a manera de convertirse en la base científico-técnico institucional que desarrolle y transfiera las tecnologías necesarias dentro de los campos que se analizan a continuación. Por otra parte, deberá generarse una instancia que tenga la responsabilidad de formular los proyectos de factibili-

dad que conduzcan a la implementación de las tecnologías desarrolladas, transferidas o adaptadas.

Lo cual debe de ser definido e implementado por los países en el corto plazo, de tal forma que permita comenzar con la industrialización del azúcar y del banano lo más rápido posible, y evitar que, en el caso del primer producto, se desarticule toda la capacidad instalada en la región en cuanto a producción agrícola y agroindustrial (ingenios).

El objetivo de un programa de investigación en bioingeniería, es el de obtener un incremento decisivo de la capacidad regional en el diseño y producción de sistemas (que permitan el escalamiento industrial de los experimentos exitosos obtenidos a nivel de laboratorio y aún de planta piloto). Una de las características de la utilización actual de la biotecnología en la industria agroalimentaria, es la inadecuación existente entre algunos resultados importantes obtenidos a nivel de laboratorio y su aplicación industrial. Sin duda existen grandes limitaciones e incapacidad -hasta el momento- para llevar a la producción masificada e industrial estos resultados.

Por otra parte, en este nivel se deberá incorporar la red de productos que contempla la estrategia, y buscar por su medio la producción de proteínas, tanto para consumo humano como para la alimentación animal.

Un objetivo a lograr es la producción de proteína unicelular y de aminoácidos mediante el tratamiento agroindustrial de productos, subproductos y esquilmos de los subsistemas: maíz,

sorgo, caña de azúcar, banano, café, cacao, yuca, etc.

Esta acción permitiría al Sistema Alimentario entrar en la producción no sólo de los elementos proteícos mencionados, sino también, de nuevos glúcidos y lípidos, así como mejorar la calidad organoléptica de los alimentos. Por otra parte, este programa podría sustituir la importación de productos como soya, alimentos enriquecidos, aminoácidos y de servicios y técnicas de industrialización de alimentos, de papel, así como de las diferentes materias primas importadas que provienen del petróleo.

En el planteamiento aquí elaborado, se discute la necesidad de concentrar en una primera fase del Programa de agroindustrialización de la biomasa agrícola, los productos siguientes: caña de azúcar y banano. En una segunda etapa se puede pensar en incorporar los subproductos forestales, la yuca -incluido previamente su desarrollo agrícola- a partir de la introducción de las biotécnicas; igualmente deberá incorporarse el logro de técnicas y procesos para la producción de pesticidas y fármacos a partir de principios activos de plantas nativas. Se considera que -paralelamente- debería continuarse con las posibilidades de industrialización de los subproductos del café, dados los esfuerzos ya avanzados al respecto.

Dentro de la estrategia de industrialización de la biomasa, se contemplan tres grandes áreas de trabajo con técnicas biotecnológicas.

a) La primera área se refiere a la biotecnología y a la agroindustria alimentaria, dentro de la cual se incor-

poran las investigaciones referidas a los catalizadores y los procesos de fermentación.

En cuanto a catalizadores, esta actividad se enmarcaría -en una primera etapa- tanto en la producción de ellos, como en su utilización. En un segundo momento, la investigación se orientaría a la transformación genética de los catalizadores -fundamentalmente enzimas- para adecuarlas a las necesidades de la región, así como para reducir los costos y aumentar la productividad. Para iniciar toda esta línea de desarrollo tecnológico, debe elaborarse, como primera actividad, un inventario de los catalizadores de mayor utilización en la región, así como la dimensión presente y futura de sus mercados, a la luz de la estrategia agroindustrial aquí planteada.

Respecto a la ingeniería de la fermentación, se deberán realizar investigaciones relacionadas con las técnicas y métodos de fermentación en medios líquidos, pastosos y sólidos, con procedimientos discontinuos y continuos. Es importante mencionar que estas técnicas ya existen comercialmente y están siendo mejoradas en los países desarrollados.

Lo cual debe ser tomado en cuenta antes de iniciar un proyecto propio, pues se deben evaluar las técnicas ya existentes. No sólo para no repetir investigaciones, y obtener procedimientos ya desarrollados y utilizados industrialmente, sino -además- para evitar la adquisición de paquetes tecnológicos importados, que es la solución más fácil que adoptan a menudo empresarios y gobiernos. Estas pueden -entre otros inconvenientes- ser de alto costo y suponer ingentes inversiones;

pueden requerir materias primas escasas o inexistentes en el país comprador y no adaptarse al sujeto social que las adquiere.

De esta manera, uno de los campos prioritarios de desarrollo es la producción, sobre la base de productos, y subproductos regionales, de harinas enriquecidas con proteínas a partir del banano, de la yuca y de otros subproductos, mediante la utilización de técnicas de fermentaciones en sólido. Esto permitirá reducir importaciones de soya y de alimentos balanceados. Varias tecnologías ya han sido desarrolladas. Los japoneses comercializan una en base a banano.

Otras han sido realizadas por investigadores franceses en Africa, para ser utilizadas por productores campesinos de banano y de yuca. La producción de proteína unicelular se hace por empresas transnacionales a partir de petróleo y también en otros países como Cuba, utilizando subproductos del azúcar. La producción de aminoácidos como la metionina y lisina, es igualmente una realidad en países desarrollados y de la región, como México.

Esta área de la ingeniería bioquímica debería apuntar al diseño de bioreactores para la fermentación en continuo de sustratos sólidos provenientes de la región, como por ejemplo la harina de banano o de yuca.

b) La segunda área, se refiere en concreto a la industrialización del azúcar y del banano. Respecto al azúcar, se deberán fomentar dos líneas de trabajo, el desarrollo de la sucroquímica y la alcohoquímica, para lo cual deberá hacerse primero una evaluación



de todos los productos de la química intermedia y de especialidades que requiere la región o que tienen algún potencial para su exportación.

Después de esta evaluación, se hará una selección de los productos a desarrollar regionalmente, evaluándose posibilidades tecnológicas, ya sea por medio del fomento de éstas al interior de la región, o por la adopción de tecnologías ya utilizadas en otras partes del mundo. En base a los dos aspectos anteriores, se deberán estimar las necesidades de materia prima para mantener funcionando la estructura industrial a ser desarrollada, así como las posibilidades de la región para abastecer los volúmenes de caña de azúcar. En el capítulo sobre agroindustria y biotecnología, se ha explicado el potencial de industrialización de este rubro agrícola.

La línea básica de industrialización del banano, consistiría en transformar todo el banano de rechazo que produce la región (más de 500 mil tm. al año). Se considera que la línea de trabajo debería estar orientada a desarrollar o adaptar la tecnología que permita transformar la mayor parte de este banano de rechazo en proteína unicelular, para la producción de proteína animal por medio de los monogástricos. Lo anterior posibilitaría sustituir las importaciones de oleaginosas y concentrados destinados a la producción pecuaria. Además de esta línea de trabajo, debe considerarse como un elemento complementario el desarrollo de industrias -alimentarias- del banano, como son: sirope glucosado; jugo clarificado del banano; producto de humedad intermedia a partir del banano maduro; harina para consumo animal;

alimento infantil; banano seco; bocadillo o pasta; y frituras dulces y saladas.

c) La tercera área de desarrollo tecnológico debe buscar la industrialización de los subproductos de la caña, del banano y de los forestales. En cuanto a las posibilidades de industrialización de los subproductos de la caña, se anexa a este trabajo todo el desarrollo de una estrategia, la cual se ha cuantificado en términos de incrementos de valorización del subsistema caña de azúcar, su impacto en el empleo, la generación de divisas (por exportación y sustitución de importaciones).

Este modelo de estrategia podría servir de base para el desarrollo global de la industrialización de la agricultura. En cuanto al banano, los dos proyectos básicos deben buscar el aprovechamiento del raquis o pinzote del banano, del tallo y las hojas. El raquis puede servir para elaborar aglomerados para láminas que se utilizan en techos o paredes; la producción de cualquier tipo de papel; producción de concretos livianos. Del tallo se pueden elaborar textiles y cuerdas. Estos dos subproductos también pueden servir para la alimentación animal, dado que contienen suficiente proteína similar a cualquier pasto (comparado incluso con la alfalfa).

#### **J. Aspectos institucionales de una red biotecnológica regional**

El establecimiento de esta red no implica el desarrollo de una estructura paralela a la ya existente en el área de investigación agrícola y pecuaria; por el contrario, la base del desarrollo biotecnológico debe estar constituida por la capacidad científico-técnica que ya

existe en la región, tanto a nivel de instituciones regionales como nacionales. En principio lo que se plantea es elevar la capacidad técnico-científica y complementarla en aquellas áreas que no están siendo atendidas de manera permanente y sistemática, como son los casos tanto de lo pecuario como de lo forestal.

Esta red cambia la concepción básica en que se basó el surgimiento de la investigación agrícola de la región, es decir, llevada a cabo por instituciones cuya función principal -básicamente- se sustentó en la prueba y validación de la tecnología generada en, y para otras agriculturas. La red propuesta vendría a formar un nuevo tejido de transferencia tecnológica, dado que el constituido por todo el proceso de la "revolución verde" está siendo fragmentado por la dinámica privatizadora en la generación de los avances tecnológicos que están surgiendo de la biotecnología. Por otra parte, lo que se buscaría transferir serían las metodologías y técnicas, para aplicarlas a nuestro germoplasma.

Por último, la otra gran diferencia de la red biotecnológica, consistiría en que la región buscaría y tendría la posibilidad de generar tecnología, así como producirla, con la importancia de que esta nueva tecnología estaría totalmente desarrollada con el material genético de la región, aspecto que vendría a resolver los problemas graves de transferencia y adopción entre los centros de investigación y generación, en relación con el usuario de la tecnología.

En síntesis, lo que se plantea es transformar el aparato de investigación agrícola, de tal manera que pueda

tener capacidad de absorber el desarrollo biotecnológico que se da en el mundo, para llevar los beneficios de éste al productor de la región; esto, sin abandonar aquellas técnicas tradicionales de fitomejoramiento y otras áreas de investigación, mientras sigan siendo válidas y las de mayor optimización en sus objetivos. Lo importante es generar el puente que permita remozar las técnicas que están siendo superadas por la dinámica de la revolución biotecnológica.

La posibilidad de implementar este puente, en las áreas biotecnológicas, exige que esta red tenga como base de su desarrollo **una estructura de carácter regional**, de forma tal que se pueda generar una dinámica de complementariedad horizontal. Esto se presenta evidente, ya que, por las características propias de esta revolución tecnológica en desarrollo, los países -en forma individual- no podrían desarrollar sus propias capacidades técnico-científicas que les permitan aprovechar los avances biotecnológicos. Es más, estarían expuestos a caer en una mayor dependencia técnico-alimentaria, que profundizaría aún en mayor grado el subdesarrollo.

La concepción regional es fundamental, desde el punto de vista que la nueva estrategia de desarrollo de la región exige descansar en un esquema de integración económica. Así, la investigación agrícola estaría al servicio de una estrategia de desarrollo, lo que implica un reto inmenso ante el problema de la seguridad y autosuficiencia alimentaria, así como en las relaciones económicas con el mundo desarrollado; llevando al productor la posibilidad de convertirse en un elemento eficiente y competitivo en el mercado.

La red esta concebida para desarrollar tres macroáreas de trabajo: la primera, desarrollaría las técnicas *in-vitro*, de lectura del genoma, así como el establecimiento de bancos de germoplasma; la segunda, trabajaría en implementar las capacidades científico-técnicas que permitan introducir la ingeniería genética en el desarrollo de la tecnológica agrícola, pecuaria y forestal, para poder transformar genéticamente el germoplasma de la región; la tercera área consiste en generar y/o adaptar y transferir las técnicas biotecnológicas que permitan industrializar los productos y subproductos agrícolas que genera y consume la región.

La estrategia biotecnológica estaría definiendo, desarrollando e implementando la estrategia tecnológica agrícola y agroindustrial de la región, la cual se constituiría -en un primer nivel- por las Unidades Regionales de Biotecnología (URBI) y por las Unidades Regionales de Biotecnología Agroindustrial (URBAI), las cuales tendrían como grandes objetivos y responsabilidades desarrollar y/o adaptar las metodologías y técnicas de investigación básica. También promoverían la constitución de redes internacionales de desarrollo biotecnológico (para el material regional que ellas trabajen, aspecto fundamental para poder reconstruir la red de transferencia internacional de técnicas agrícolas, forestales, pecuarias y agroindustriales). En el momento que estas unidades hayan desarrollado y probado la estabilidad de una técnica, se la traspasarían a las Unidades Nacionales de Biotecnología (UNBI).

La estructura que se propone constaría -en principio- de cinco (5) centros básicos de desarrollo biotecnológico en el área agrícola, forestal y pecuaria, los

cuales serían responsables de uno o varios rubros: El CIAT sería la unidad responsable de desarrollar estos trabajos para la yuca, el frijol y el arroz; El CATIE, responsable para el Banano y lo forestal; se crearían tres centros regionales para el manejo del maíz y el sorgo (URBIMAS), para la caña de azúcar (URBA) y para lo pecuario, incluyendo pastos (URBPE). En el área agroindustrial se propone convertir al ICAITI y al INCAP en los centros del desarrollo biotecnológico que permitan industrializar la agricultura de la región, los cuales constituirían las Unidades Regionales de Biotecnología Agroindustrial (URBAI).

A nivel de cada país se crearían las Unidades Nacionales de Biotecnología (UNBIs), a partir de la reconversión de unidades nacionales de investigación agrícola y pecuaria. Estas serían las responsables de proporcionar a las unidades regionales el material genético y el inventario de los principales problemas que presenta la agricultura, la ganadería y el sector forestal. Las mismas serían también las responsables de reproducir las técnicas y métodos y los materiales mejorados biotecnológicamente, para transferirlos al productor.

Adicionalmente, serían responsables del desarrollo de los aspectos institucionales de la transferencia -a las instituciones encargadas de esta actividad- del material biomejorado. El nivel jerárquico más alto estaría constituido por los ministros de agricultura de la región (CORECA), como el organismo responsable de definir la estrategia y los proyectos de investigación a desarrollar, así como la consecución, contratación y asignación de los recursos financieros.

En un segundo nivel, se constituiría el Comité Regional Científico Técnico de Biotecnología (CORCITEBI), responsable de proponer al CORECA las estrategias científicas y técnicas, los proyectos de investigación por rubro y área de trabajo y los elementos programáticos correspondientes. También sería responsable de elaborar los proyectos para la obtención de los recursos financieros, así como -por delegación específica del CORECA- de negociar el financiamiento para los proyectos y los programas de cooperación. Este estaría constituido por los responsables de las URBI y las UNBI, además de un delegado con voz y voto por parte de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) y por la Comisión Económica para América Latina (Cepal-México).

#### **K. Programa de capacitación y formación en biotecnología para el desarrollo agrícola y agroindustrial de la región del CORECA**

La incorporación de la biotecnología en el desarrollo de la agricultura dentro de los países del CORECA, exige, además del programa de investigación descrito anteriormente, el inicio de un vigoroso programa de capacitación en las diferentes áreas referidas.

De este modo, la región podrá potencializar y realzar significativamente sus propias capacidades científico-técnicas. Este programa debe enfocarse a tres niveles: la formación a nivel de maestría, de doctorado y técnico especializado.

A nivel de maestrías se propone lo siguiente:

1. Maestría en biotecnología aplicada, con especialidades en agricultura, forestal, ganadería, pastos y forrajes.

Esta maestría tendría dos áreas de concentración, a saber: cultivos de tejidos, genética y microbiología de suelos. Las áreas de formación básica del primer año son: Genética, Fisiología Vegetal y Bioquímica. Las áreas de formación del segundo año varían según la especialidad. Para la primera área se desarrollarán investigaciones en cultivo de tejidos y para la segunda, técnicas para la lectura del genoma.

Se iniciará a los estudiantes en investigaciones en el área de la biología molecular, es decir en ingeniería genética. Para la mención en Microbiología de suelos las investigaciones comprenden la utilización de inoculantes en la fijación de nitrógeno, mediante -por ejemplo- la bacteria *Rhizobium* en el frijol, las micorrizas para forestales, etc. Las investigaciones en el área de la Biología molecular deberían contar con el apoyo del Instituto de Biología Molecular de Costa Rica, para iniciar a los alumnos en la manipulación genética de células.

Dada la capacidad profesional científica en docencia e investigación con que cuenta el CATIE en este campo, se propone que se desarrolle un convenio entre el CORECA y CATIE para desarrollar este programa de maestría.

2. Maestría en biotecnología aplicada a la agroindustria.

Esta Maestría tendrá tres áreas de concentración: Ingeniería de Fermentación, Ingeniería Enzimática y Bioingeniería. Las áreas básicas de forma-

ción serían bioquímica, biología molecular e ingeniería genética y bioquímica. Abarcaría tanto el estudio de las técnicas concretas que se desarrollen dentro de la biotecnología para la producción a proteínas, enzimas, glúcidos y lípidos, así como para la transformación genética enzimática y de microorganismos en general; las técnicas y metodologías para el diseño y producción de procesos de fermentación; el diseño industrial, el cual deberá no sólo estar enfocado a unidades de producción a gran escala, sino además para empresas medianas y campesinas. El área de investigación se debería concentrar en el estudio de procesos para la producción de bienes con un elevado contenido protéico y de la química intermedia y de especialidades (sucroquímica y alcoquimia-etanol).

La experiencia desarrollada, en estas áreas, por el INCAP y el ICAITI, permite sugerir que el CORECA desarrolle esta Maestría dentro de un convenio con las dos instituciones mencionadas. Al igual que en la Maestría de cultivo de tejidos y microbiología de suelos, este programa de capacitación debería buscar la formación de doctores, en un programa combinado de becas con universidades, la Comunidad Económica Europea, y otros organis-

mos internacionales, así como con países que tengan desarrolladas estas capacidades docentes, apuntando al desarrollo de la capacidad regional para la formación de doctores en el área del CORECA.

3. Integrado a los Programas de investigación, de formación y capacitación, se debería proponer un Programa de cooperación científico-técnica. Este consistiría en la asignación -por parte de Organismos internacionales, regionales, países, organizaciones de países (CEE)- de recursos financieros, expertos, formación de expertos, intercambio de docentes e información científica documental, para reforzar los programas de investigación y capacitación. Se lograría así subsanar las deficiencias existentes actualmente en personal capacitado para algunas de las áreas que comprenden los programas de postgrado propuestos.

4. En cuanto a la capacitación en técnicas específicas, como pueden ser técnicas de cultivo de tejidos, de preparación de medios, de lecturas de genoma, etc., esta sería responsabilidad de las URBI, las cuales capacitarían en la práctica al personal que trabajaría en las URBI y las UNBI.



# Bibliografía

1. **ALLAVENA, A. y ROSSETTI.** "Micropropagation of bean (*Phaseolus Vulgaris* L.); Effect of Genetic, Epigenetic and environmental Factors", en *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, 1986.
2. **ARIAS, Salvador.** "Biotecnología: Una Estrategia para su introducción en el Sistema de Granos Básicos en la Región" (Informe de Misión para el Programa Seguridad Alimentaria del Istmo Centroamericano), CADESCA/CEE, Guatemala, Abr-Jun 1987
3. **ARIAS, Salvador.** "Biotecnología: Amenazas y perspectivas para el desarrollo de América Central", 1ª ed., Editorial DEI, San José, Costa Rica, 1990.
- 3B. **ARIAS, Salvador.** "Seguridad o Inseguridad Alimentaria: Un Reto para la Region Centroamericana. Perspectivas al año 2000", 1ª edición, UCA Editorial, El Salvador, 1989.
4. **ARROYO, Gonzalo.** "El desarrollo reciente de la biotecnología" (en OMINAMI Carlos, editor, *La tercera revolución industrial*), Grupo Editor Latinoamericano, RIAL, 1986, p. 107-125.
5. **ARROYO, Gonzalo, PENSADO, Mario.** "El subsistema Yuca en México" (en Proyecto de Investigación: *La Introducción de la Biotecnología en el desarrollo de la agricultura y la producción de alimentos: Estrategias, alternativas para México y Centroamérica*), UAM-Xochimilco, México, 1987.
6. **ARROYO G., ARIAS, S. y Otros.** "Biotecnología: una salida para la crisis alimentaria", UAM-Plaza Véldez, Mayo, 1989. Tres tomos, México.
7. **ARROYO, G. y WAISSBLUTH, M.,** "Desarrollo biotecnológico en la producción agroalimentaria de México: orientaciones de política", CEPAL, (LC/MEX/L.77), México, 10 marzo 1988, 118p
8. **BHASKARAN, S. y SMITH, T.** "Enhanced somatic embryogenesis in sorghum bicolor from shoot tip culture". (en *In vitro celular & Developmental biology*), Texas, University, U.S.A., Vol. 24, No. 1, January, 1988.
9. **BELIVANIS, T. y DORE, C.** "Interspecific Hybridization of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus angustissimus* A.Gray using in vitro embryo culture", *Plant Cell Reports*, 1986. 3p.

10. BELLOTTI, A. C., REYES, J.A., y ARIAS, B. "Manejo de plagas en yuca" (en INIA-SARH, Memorias), México, 1983. pp. 249-274,
11. BIFANI, Paolo. "Biotecnología, Química Fina y Farmoquímica en América Latina", Informe preliminar para el BID, 2a. versión, enero, 1988.
12. BYE, Pascal y MOUNIER, Alain. "Les futurs alimentaires et énergétiques des biotechnologies" (en Economies et Sociétés), Hors Série No. 27, I.S.M.E.A. - I.N.R.A./I.R.E.P., Presses Universitaires de Grenoble, 1984, 355 p.
13. CADESCA/CEE , Memoria. Reunión de apoyo Comité Técnico Regional. Eje V Guatemala, 11 al 15 mayo de 1987.
14. CERRO, José Antonio, "El Programa Azucarero de E.U.A.: una perspectiva del exportador extranjero", (en GEPLACEA BULLETIN), Vol. IV, Mayo, 1987.
15. CENTRE FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT. "Tissue Culture Technology and Development" (en ATAS BULLETIN), Vol. 1, No.1, Naciones Unidas, Nueva York, Octubre y Noviembre, 1984. pp. 93.
16. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Biotechnology Research Unit, Annual Report, Cali, Colombia, December, 1988.
17. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). "Workshop on advanced cassava research network", Appendix 4, Cali, Colombia, September, 1988. 61 p.
18. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). "A practical guide for electrophoretic analysis of isoenzymes and proteins in cassava, field beans and forage legumes", docto. de Trabajo, No. 40, Cali, Colombia, Julio, 1988.
19. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Informe Anual 1984, Cali, Colombia, 1984.
20. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Informe Anual 1986, Cali, Colombia, 1985.
21. COCK, James H. "Cassava, new potential for a neglected Crop", Westview Press, Boulder, 1985, 191 p.
22. CONSEJO SOBRE LA CALIDAD AMBIENTAL. "El Mundo en el año 2000", Secretaría de Estado del Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, Washington D.C., 1980, 100 p.
23. CONACYT, "Guayule, reencuentro con el desierto", Centro de Inv. de Química aplicada, Comisión Nacional de Zonas Áridas, México, 1981.



24. CROCOMO, J.O. y BOULTER, D. "Plant Cell Culture Implications Legumes en Plant Cell and Tissue Culture", Netherlands, 615-631.
25. DARBON, Pierre y ROBIN, Jacques. "Le jaillissement des biotechnologies", Fayard-Fondation Diderot, París, 1987, 240 p.
26. DOVER, M., "Getting Off the Pesticide Treadmill", Technology Review, pp. 53-63, Nov.-Dec., 1985.
27. EARLY T., HFCS. en USA, Europa y Japón
28. EMMANUEL, Arghiri. "Technologie appropriée ou technologie sous-développée", Presses Universitaires de France-IRM, París, 1982, 200 p.
29. FAO. "Production Year Book", Roma, Italia, 1985.
30. FERNANDEZ De Córdoba, F. y ZACARIAS, Carlos. "La producción de banano y la sigatoka negra, origen, distribución y relaciones económicas", Depto. de Economía Agrícola, Fundación Hondureña de Investigación agrícola. (FHIA), La Lima, Honduras, Octubre, 1987, 20 p.
31. FOWLER, Cary. "Applications to animals, problems and potentials", en ATAS Bulletin, op.cit., pp. 223-26.
32. FLORES, Maricela. "El subsistema maíz en México, Proyecto de Investigación", (en La Introducción de la Biotecnología en el Desarrollo de la agricultura y la producción de alimentos: Estrategias, alternativas para México y Centroamérica), UAM-Xochimilco, México, 1987. 85 p.
33. Du GENESTOUX, Patrick. "Prospectivas de un Programa Europeo de Bio-Etanol", en GEPLACEA Bulletin, Vol. IV, No. 6, Junio, 1987.
34. GEPLACEA. "La Agroindustria de la Caña de Azúcar en América Latina y el Caribe", México, Agosto, 1986.
35. GEPLACEA. "Anuarios Estadísticos para México y América Central", 1980 a 1985, México.
36. GEPLACEA. "Desarrollo y perspectivas del jarabe de maíz rico en fructosa y del aspartame". Suplemento de Tema de Interés No.187, julio, 1985, 17 p.
37. GOLDSTEIN, D. "New Patents in Biotechnology", Planning Workshop on Biotechnologies and Food Systems, CEPAL, Nov. 1985.
38. GONZALEZ PACHECO, C. "EL sistema Forestal" (en Proyecto de Investigación: La Introducción de la Biotecnología en el Desarrollo de la agricultura y la producción de alimentos: Estrategias, alternativas para México

- y Centroamérica), UAM-Xochimilco, México, 1987. 250 p.
39. GRALL, Jacques y LEVY, Bertrand Roger. "La guerre des semences. Quelles moissons, quelles sociétés?" Fayard, Paris, 1985, 410 p.
  40. GUILLILAND, Martha. "Nitrogen Fixing Biotechnologies for Corn in Mexico and Central America", Department of Civil Engineering, University of Nebraska-Lincoln at Omaha, Nebraska, USA, 1987 pp. 26.
  41. HACKING, Andrew J. "Economic aspects of biotechnology", Cambridge University Press, Cambridge, 1986, 306 p.
  42. HAYAMI, Yuhiro y RUTTAN, Vernon. "Agricultural development: an international analysis", John Hopkins Press, Baltimore, 1971.
  43. ICIDCA. "La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar", Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Ed. Científico-Técnico, La Habana, 1981, pp. 576.
  44. INTERNATIONAL GENETIC RESOURCES PROGRAMME. "Genetic raw materials. A vital link in the food chain", (A report submitted to UNCTAD, ICDA Seeds Campaign), Amsterdam, 1985, 151 p y Ap.
  45. INIA-SARH. "Memorias del 1er Seminario Nacional sobre Yuca", junio 1984, México, 2 vols., 348 p.
  46. INTERNATIONAL TRADE CENTRE. "Makin and Marketin FURFURAL, Added value for agro-industrial wastes", UNCTAD/GAT, Geneva, 1978.
  47. JANET, C., GORSE, P. y BOUQUERY, J.-M. "Le rôle des grandes entreprises diversifiées du pétrole et de la chimie dans la production alimentaire", (en Economies et Sociétés), Série AG No.18, Presses Universitaires de Grenoble, 1985, pp. 243-284.
  48. De JANVRY, A., RUNSTEN, D., SADOULET, E. "Technological Innovations in Latin American Agriculture", (Part I), Dept. of Agricultural and Resource Economics, U. of California, April, 1987.
  49. JUNNE, Gerd. "Nueva Tecnología, una amenaza para las exportaciones de los países en desarrollo" (en Efectos sobre la división internacional del trabajo. No. 1), Serie Revolución Tecnología y Empleo, Sria. del Trabajo y O.I.T, México, 1986, pp. 41-86.
  50. KARTHA, K., PAHL, K, y otros. "Plant regeneration from meristems of grain legumes: soybean, cowpea, peanut, chickpea, and bean", National Research Council of Canada, Enero, 1981.

51. **KENNEY, Martin.** "Biotechnology: the university-industrial complex", Yale University Press, 1986, 306 p.
52. **KENNEY, Martin.** "Developed Country Biotechnology and the possibilities of transfer to the less Developed Countries", Department of agricultural Economics and Rural Sociology, Ohio University, April 1987.
53. **KNORR, Dietrich y SINSKEY, Anthony J.** "Biotechnology in food production and processing", Science, vol 229, sept., 1985, pp. 1224-1229.
54. **LANDELL MILLS COMMODITIES LD.** "Un estudio mundial de costos de de producción de azúcar y jarabe de maíz de alta fructosa", Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar, México, 1984, 5 vol., Mimeo.
55. **LESSER, William,** "Applying Animal Patents in Agriculture" (en Symposium on the Protection of Biotechnology of Biotechnological Inventions), WIPO/CORNELL University, ITHACA , New York, USA, June, 1987.
56. **MARTINS, I.S. y SONDHAL, M.R.** "Early Stages of Somatic Embryo Differentiation from Callus Cells of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in liquid medium", Journal Plant Physiol, U.S.A., Vol, 117, pp. 97-103.
57. **MALASSIS, Louis.** "Politiques et stratégies alimentaires", Economies et Sociétés, Série AG No. 18, Presses Universitaires de Grenoble, 1985, pp. 3-22.
58. **MENDEZ CARRERA, M.** "Adiestramiento en propagación de yuca por cultivo de meristemas y otras técnicas de propagación rápida", CIAT, Cali, 1981, 19 p.
59. **MINTZ, Sidney W.** "Sweetness and power, the place of sugar in modern history", Viking Penguin, New York, 1985, 274 p.
60. **MOONEY, Pat Roy.** "The law of the seed. Another development and plant genetic resources", (en Development Dialogue), 1983: 1-2, pp. 3-172.
61. **MORA Poltronieri, Hugo (ed.),** "Biotechnology in the Americas II: applications in tropical agriculture", (en el Simposio auspiciado por INTERCIENCIA, CONICIT, USAID, IDRC y CATIE), San José, Costa Rica, jul 14-17, 1985, 79 p.
62. **MROGINSKI, L.A y KARTHA K.** "Plant Breeding Reviews", ( In press) The AVI Publishing Co. Inc., Wesport, C.T. U.S.A., 1988.
63. **MUCHNIK, J. y VINCK, D.** "La transformation du manioc, Technologies autochtones", GRET-ALTERSIAL-ENDA, Presses Universitaires de France, Paris, 1984, 172 p.

64. MUÑOZ, Santiago Antonio. "Conferencia sobre micorrizas y especies forestales", CINVESTAV-Irapuato, 19 Sept., 1987.
65. NOTHIAS, Jean-Luc. "Les Edulcorants Basse Calorie" dans Biofutur, France, Numéro 53, Janvier, 1987, p. 68.
66. ONU/FAO. Proyecto de evaluación de los recursos forestales tropicales. "Los recursos forestales de la América tropical", Roma, 1981, 1983, 324 p.
67. OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. "Technology, Public Policy, and the Changing Structure of American Agriculture", United States Congress, Washington, 1986, 374 p.
68. OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT, "Commercial biotechnology: an international analysis", United States Congress, Washington, 1984, pp. 612.
69. OMINAMI, Carlos (editor). "La tercera revolución industrial, impactos tecnológicos del actual viraje tecnológico", Anuario RIAL, Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires, 1986, pp. 483.
70. PALACIOS, R., y otros. "Genomic Instability in Rhizobium Phaseoli", Journal of Bacteriology, U.S.A., marzo, 1988.
71. PERRIN, Jacques. "Les transferts de technologie", Editions La Découverte, Paris, 1983, 119 p.
72. PREALC. "Cambio y Polarización Ocupacional en Centroamérica", Ed. Educa, San José, 1986.
73. QUINTERO Ramírez, Rodolfo, La Agricultura y el cambio tecnológico: Desarrollo y Dependencia. MIMEO, México, Noviembre 5, 1986.
74. QUINTERO Ramírez, Rodolfo. "La Biotecnología y el Sector Agropecuario: Hacia Nuevas Fronteras", (Ponencia presentada en el I Ciclo de Conferencias sobre "Microbiología Pecuaria"), Universidad Autónoma de Chapingo, México, Febrero 1989, 23 p.
75. RAFI COMMUNIQUE. "Biotechnology and Natural Sweeteners TAHUMATIN", Carolina, USA, Feb., 1987.
76. REUTLINGER, Shlomo. "La seguridad alimentaria y la pobreza en los países menos desarrollados", Finanzas y desarrollo, F.M.I., diciembre, 1985, pp 7-11.
77. ROCA, William M. "Biotecnología: oportunidades para la investigación agrícola en América latina", (en Memoria del Seminario sobre el fortalecimiento de la investigación agrícola en América Latina y el Caribe), CIMMYT, México, septiembre 1984, pp. 153-185.

FECHA DE DEVOLUCION

19 OCT. 1995			
08 NOV. 1995			
10 ABR. 1996			
08 NOV. 2000			

IICA  
F30-A696

Autor  
Campos y perspectivas de la  
Título biotecnología: una estrategia  
para su introducción en el istmo  
Centroamericano  
Nombre del solicitante

19 OCT. 1995	Oscar Quera
08 NOV. 1995	L. Amador
10 ABR. 1996	
08 NOV. 2000	Ma. L.

Comité de Acción de Apoyo al Desarrollo  
Edificio

Consejo Regional

Costa Rica



Este trabajo "CAMPOS Y PERSPECTIVAS DE LA BIOTECNOLOGIA: UNA ESTRATEGIA PARA SU INTRODUCCION EN EL ISTMO CENTROAMERICANO", fue preparado a solicitud de la Secretaría del Consejo Regional de Cooperación Agrícola de Centroamérica, México, Panamá y República Dominicana, CORECA, y aprobado por el Consejo de Ministros de Agricultura en ese marco, en su Resolución IX-05.

La Biotecnología se ha convertido para el Istmo centroamericano en un valor estratégico de primer orden, al ofrecer un potencial enorme de desarrollo agroindustrial con impactos decisivos en nuestras capacidades de manejo agroalimentario y agroexportador.

En la biotecnología, la conjunción de los destacados avances en la investigación genética y biomolecular se combinan con la fenomenal capacidad de procesamiento electrónico de datos hoy a nuestra disposición, para llegar más rápido a más combinaciones experimentales que nunca. Nos ofrece la posibilidad de intervenir en nuestro propio desarrollo a partir de nuestros propios recursos naturales, de nuestra propia biodiversidad centroamericana, una de las más ricas del mundo. Nos permite la generación de especies mejor adaptadas y resistentes, con mayores índices de productividad, nos permite el control biológico de plagas sin destruir el ambiente y nos permite el aprovechamiento múltiple de derivados agropecuarios usando diversas técnicas de fermentación y transformación disponibles.

Por ello los gobiernos se han interesado en el tema de forma directa, y han emprendido una búsqueda amplia de opciones concretas y pragmáticas, en el marco de las discusiones y decisiones de desarrollo regional. La publicación de este trabajo por la secretaría de CADESCA pretende contribuir a este proceso.

*Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo del Programa de Seguridad Alimentaria para el Istmo Centroamericano auspiciado por la Comisión de las Comunidades Europeas y el Gobierno de Francia*