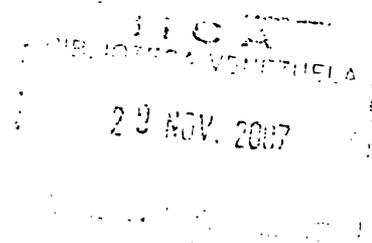




OPORTUNIDADES DE LAS BIOTECNOLOGIAS AGROPECUARIAS EN AMERICA CENTRAL





Seminario

OPORTUNIDADES DE LAS BIOTECNOLOGIAS AGROPECUARIAS EN AMERICA CENTRAL

Noviembre 21-23, 1988
San Pedro Sula, Honduras

PROGRAMA II: GENERACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

BV 001051

110
32271 A1/SC
89-03

00002142

SERIE DE PONENCIAS, RESULTADOS Y
RECOMENDACIONES DE EVENTOS TECNICOS
ISSN-0253-4746
A1/SC-89-03

San José, Costa Rica
Mayo, 1989

"La responsabilidad por las opiniones emitidas en esta
publicación corresponde exclusivamente a sus autores".

CONTENIDO

Presentación	1
Introducción	3
Centroamérica y la biotecnología: oportunidades o amenazas (Ennio Rodríguez y Saúl Weisleder)	5
Diagnóstico de las agrobiotecnologías en América Central (Walter Jaffé C.)	46
Perspectivas de la biotecnología para el mejoramiento genético y la propagación vegetal en América Central (Víctor M. Villalobos)	72
Biotecnologías para el diagnóstico y protección de patógenos de plantas en América Central (Carmen Rivera H.)	90
Oportunidades de las biotecnologías para la producción animal en América Central (Luis L. Rodríguez Roque)	104
Perspectivas de las tecnologías enzimáticas y de fermentación en América Central	126
El Programa Nacional de Ciencia y Tecnología de Costa Rica, 1986-1990 (Rodrigo Zeledón)	156
La biotecnología en una compañía agrícola multinacional. El caso RJR Nabisco (Robert Moser)	162
El cultivo de tejidos como método de propagación (Ramón Barba)	172
Anexo 1. Programa y organización del Seminario	202
Anexo 2. Lista de participantes	204

PRESENTACION

La Federación de Entidades Privadas de Centroamérica y Panamá (FEDEPRICAP), reúne a los doce más importantes organismos empresariales de Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, que a la vez engloban a más de cien agrupaciones en toda la región. De ese modo, FEDEPRICAP se convierte en la entidad que aglutina los esfuerzos organizados de la iniciativa privada en el Istmo.

Su concepción filosófica básica es que la iniciativa privada empresarial, en sus diferentes matices, es un factor fundamental para que una región de tanto potencial se desarrolle en beneficio de todos sus habitantes.

Dentro de ese marco, FEDEPRICAP ha desarrollado diversas actividades en variadas áreas de interés y ha establecido importantes lazos de cooperación con organismos multilaterales y agencias gubernamentales.

La realización del Seminario sobre Oportunidades de las Biotecnologías Agropecuarias en América Central, en noviembre de 1988, en San Pedro Sula, Honduras, impulsó la práctica de acciones tendientes al desarrollo de nuevas áreas de la producción.

Este Seminario sobre Biotecnología, tema de tanta importancia para las economías centroamericanas, debe ser considerado sólo como un primer paso. Con él propiciamos un proceso de desarrollo del potencial existente en el sector privado, cuyos frutos se verán sin duda en un plazo no muy lejano.

La actividad realizada en San Pedro Sula no hubiese sido posible sin la colaboración de diversas instituciones públicas y privadas. La cooperación brindada por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), el Consejo Hondureño de la Empresa Privada (COHEP), la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) la Oficina Regional para América Central y Panamá de la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID-ROCAP), y el Proyecto de Apoyo a la Exportación de Productos Agrícolas No Tradicionales de Centroamérica y Panamá (PROEXAG) tuvo como resultado un éxito incuestionable. La respuesta y el interés de los sectores involucrados en esta temática son manifiestos. La repetición de actividades similares y la búsqueda para concretar acciones y desarrollar programas merecerá, sin duda, la atención de los organismos del sector, continuando así la gran tarea emprendida. Es hora de dar el segundo paso.

Víctor Herrera Alfaro
Presidente
FEDEPRICAP

INTRODUCCION

El Seminario sobre Oportunidades de las Biotecnologías Agropecuarias en América Central tuvo como propósito general motivar a líderes empresariales y funcionarios gubernamentales para que consideraran, en sus planes y estrategias, a las biotecnologías como elementos importantes en el desarrollo agrícola e industrial y en el comercio internacional.

Se plantearon, como objetivos específicos, la información sobre las tendencias de las biotecnologías agropecuarias a nivel mundial y su impacto en América Central, la identificación de estrategias de desarrollo de la biotecnología en el área, el diseño de proyectos de interés para el sector privado y el análisis de los requerimientos necesarios para el desarrollo exitoso de proyectos de biotecnología agropecuaria.

Con el propósito de alcanzar esos objetivos se estructuró el Seminario en tres series de ponencias. La primera serie abordó en dos ponencias aspectos generales de las biotecnologías desde el punto de vista económico, y el diagnóstico de las capacidades regionales en agrobiotecnologías. La segunda serie incluyó cuatro ponencias que presentaron aspectos técnicos específicos de las agrobiotecnologías, así como su relevancia para la realidad centroamericana. Finalmente, una serie de tres ponencias permitió discutir experiencias concretas, tanto de políticas y estrategias nacionales de biotecnologías (el caso de Costa Rica) como de empresas comerciales (Del Monte y Plantek International).

Participaron en el Seminario 46 personas de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Estados Unidos, Filipinas, Honduras, Nicaragua y Venezuela, en representación de 27 organizaciones de productores o empresas privadas, cuatro universidades, cuatro organismos regionales e internacionales y cuatro organismos gubernamentales.

En la sesión final, de conclusiones y recomendaciones, además de una serie de sugerencias específicas se recomendó la continuación de este tipo de actividades en la región y en cada país del área.

CENTROAMERICA Y LA BIOTECNOLOGIA:**OPORTUNIDADES O AMENAZA**

Ennio Rodríguez
y Saúl Weisleder*

1. MARCO GENERAL

1.1 El objetivo principal de este trabajo es determinar, en el contexto de los desarrollos en la investigación y la producción que utiliza biotecnologías, a nivel internacional, los posibles efectos sobre la agricultura centroamericana. Asimismo, con propósitos ilustrativos y metodológicos, se analizan dos casos específicos de productos que ya han sido afectados por el desarrollo de la biotecnología.

1.2 Conviene aclarar el concepto de biotecnología que aquí utilizaremos, en vista de que la noción ha sido utilizada ampliamente, y a menudo se ha abusado de ella, con lo cual se ha introducido confusión al discutirse su posible impacto desde la perspectiva del desarrollo socioeconómico.

Aquí entenderemos por biotecnología "un conjunto de innovaciones desarrolladas como resultado de haberse logrado brechas (científicas y tecnológicas) en la genética, en las últimas décadas". Puede considerarse como una "tecnología de la información" (Hoffmeyer, 1982); esto último porque las moléculas de ADN de todos los organismos vivos son unidades de almacenamiento de información para la sobrevivencia, acumuladas por medio de la evolución durante millones de años. Los seres humanos son ahora capaces de entender cómo funcionan estas "microcomputadoras" e incluso de cambiar sus sistemas operativos con el fin de obtener metas específicas para la industria y la agricultura. En este trabajo llamamos biotecnología a las siguientes técnicas: cultivo de tejidos (micropropagación), fermentación por medio del control preciso de los microorganismos involucrados, técnica enzimática e ingeniería genética (técnica recombinante del ADN) (Svarstad, 1987).

En un importante informe de la Oficina de Evaluación Tecnológica del Congreso de los Estados Unidos se da una definición muy general y amplia: "cualquier técnica que usa organismos vivos (o partes de esos organismos) para hacer o modificar productos, mejorar plantas o animales o desarrollar microorganismos para usos específicos" (Congreso de los Estados Unidos, 1984, p.3).

* OIKOS, Asesores Económicos. San José, Costa Rica.

Ambas definiciones reflejan, por una parte, la amplitud del campo en estudio, lo cual admite y significa una amplia diversidad de posibilidades y, al mismo tiempo, el englobamiento que se hace en un solo concepto de un conjunto de técnicas y métodos cuyo único o principal aspecto en común es el uso de esas técnicas para el mejoramiento de especies vivas, métodos productivos o calidad de productos naturales para consumo humano.

1.3 Más allá de conceptualizar el problema, este trabajo intenta discutir la naturaleza y magnitud de los desafíos y oportunidades que estos desarrollos imponen al futuro agrícola de la región y contribuir a la formulación de políticas que busquen enfrentar eficazmente dichos desafíos y oportunidades.

Al definir la biotecnología como tres conjuntos de técnicas (cultivo de tejidos, fermentación e ingeniería genética) se abre un abanico de posibilidades de aplicaciones casi infinito. Estas aplicaciones se desarrollarán o no según las perspectivas de rentabilidad de los productos o procesos que transformen o de las prioridades fijadas por autoridades públicas. La prospectiva en este campo es, en consecuencia, hartamente difícil, razón por la cual el análisis tiene que basarse en ejemplos y las generalizaciones son siempre tentativas, pues una nueva técnica puede afectar al producto menos pensado o, por el contrario, una aplicación que parecía científicamente factible finalmente resulta no rentable. En consecuencia, este esfuerzo se realiza sobre la base de información limitada y, por lo tanto, requiere adelantar hipótesis, más que plantear conclusiones definitivas. Sobre esta base, y con las limitaciones que ello acarrea, se formulan las recomendaciones de política aquí incluidas.

Por supuesto, este procedimiento no es exclusivo del presente trabajo, que por diversas razones estuvo así limitado, sino que es propio de todo esfuerzo de prognosis y ensayo para "interpretar el futuro" con fines de comprenderlo y modificarlo en aquello que se estime conveniente y posible. Labor que como se mencionó, se complica aún más en el caso de la biotecnología.

1.4 A lo largo de la historia humana, el desarrollo de la producción ha estado ligado al desarrollo de nuevos conocimientos y técnicas productivas basadas en ellos. Así, malear nuevos metales permitió introducir nuevos arados que revolucionaron la agricultura. Más tarde, el uso de máquinas a vapor, el aumento de la productividad de la agricultura (papa, algodón, etc.), el inicio de la metalurgia moderna y otros cambios tecnológicos mayores fueron una condición para la primera revolución industrial.

Hoy, el progreso científico y tecnológico es mucho más acelerado. La relación entre producción, por una parte, y ciencia y tecnología, por otra, es mucho más estrecha: logran el liderazgo económico aquellas sociedades que marchan a la vanguardia de la

innovación tecnológica. Esta, a la vez, es cada vez menos el producto de la invención como resultado del "chispazo" de un genio aislado, y más el de la innovación introducida como resultado de la investigación sistemática de determinado problema, a partir del conocimiento generado por la comunidad científica y poniendo a prueba hipótesis y teorías específicas. También, interpretando a Christopher Freeman (Economía de la Innovación Industrial, 1976), este liderazgo económico se logra por la innovación en la medida en que ésta refleja la capacidad de incorporar al proceso productivo y aprovechar en el mercado desarrollos de laboratorio o prototipos industriales.

Un supuesto básico de la situación brevemente descrita en el párrafo anterior es el libre flujo de ideas, conocimientos y resultados como forma de garantizar el enriquecimiento cognitivo mutuo y múltiple, y el mantenimiento de mecanismos de identificación y reconocimiento por los aportes individuales al avance colectivo.

Ese estado de cosas, que siempre ha tenido excepciones (a veces muy importantes) ha tendido a modificarse significativamente en los últimos tiempos, en especial por el surgimiento de esta estrecha relación entre producción y desarrollo científico y tecnológico: los intereses pecuniarios de las grandes compañías tienden a marcar no sólo el ritmo y la orientación de la investigación científica, sino a bloquear el flujo de conocimientos que resultan de ésta. Esto incide negativamente en su uso potencial para la solución de problemas con menores posibilidades de generar ganancias económicas que pueden ser apropiadas privadamente. La competencia en los nuevos productos y en los procesos de vanguardia se basa cada vez más en el monopolio tecnológico y no en la competitividad por costos.

Esto es cierto en general, y en particular para la biotecnología. Los efectos negativos sobre los países en desarrollo podrían ser, entonces, especialmente serios. Esto constituye un aspecto central que exploraremos aquí.

1.5 En todo esfuerzo de prospectiva o prognosis, los datos disponibles se refieren a lo ya ocurrido o a aquello que está aconteciendo. A partir de esto se pretende "construir el futuro". La fragilidad de este ejercicio es evidente y debe tenerse siempre presente. Por esto mismo, hemos procedido a construir "escenarios", es decir, diversos casos de "posibles situaciones", con base en supuestos determinados. De esta forma, juzgando los supuestos de cada "escenario", deben leerse las posibilidades de que efectivamente se dé cada situación.

En estrecha relación con este procedimiento están los conceptos de oportunidad y de desafío o amenaza a que hacemos referencia a lo largo de este Informe, en el sentido de que, en forma genérica, el

desarrollo de la biotecnología ofrece esas dos opciones; ya en situaciones concretas, habrá casos en que, para Centroamérica y para cada uno de los países, constituirán en algunos oportunidades y en otros amenazas.

No existe una gran cantidad de casos específicos para sustentar o ilustrar lo antes dicho, en parte debido a que ha habido relativamente pocos casos de aplicación comercial de la biotecnología. Warhurst sustenta uno de estos ejemplos, para el caso de la minería, particularmente la que se desarrolló en las montañas andinas. Destaca el caso del CENTROMIN de Perú que, mediante métodos biotecnológicos de actividad bacteriana, logró tasas de recuperación de metal extraído de las minas que llegaban hasta el 80% (Warhurst, 1987 p. 68-70). El ejemplo ilustra la idea de la orientación distinta que podría interesar a los países industrializados y a los no desarrollados en cuanto a la investigación aplicada a partir de los mismos conocimientos científicos, y en función de necesidades productivas y realidades económicas diferentes. El ejemplo señala cómo la línea de investigación en países del Tercer Mundo puede ir en la dirección de recuperar mineral de los desechos, puesto que los métodos actualmente en uso son poco eficientes; esto contrasta con la dirección que interesa a los países desarrollados, que investigan en nuevas aplicaciones del mineral, en tanto sus métodos de extracción son altamente eficientes.

Tener en claro las posibilidades que ofrece un determinado desarrollo científico o tecnológico y la capacidad para usarlo en provecho propio es parte de la estrategia y las políticas que deben desarrollarse. Esto demanda, como condición necesaria fundamental, haber desarrollado el equipo científico capaz de entender e interpretar el desarrollo científico de modo permanente.

1.6. Resulta fundamental desarrollar una estrategia global y políticas específicas frente a los retos de la biotecnología. Los países industrializados no han dejado el desarrollo biotecnológico al azar, sino que han desarrollado políticas específicas (Buttel, 1987). La importancia de una estrategia global se acentúa aún más si se considera que los efectos positivos o negativos de esta actividad son inexorables para nuestros países: comienzan por el mismo desarrollo científico frente a los riesgos de la privatización del conocimiento; esto se vincula a los costos ligados al "patentamiento" de los productos y procesos y a la dirección que adopten los esfuerzos de investigación, los problemas que enfrenten y los recursos que a ello se asignen. Los efectos sociales diferenciales que ello puede provocar son indudables, lo cual afecta de modo distinto a las poblaciones urbanas y rurales, a los estratos bajos, medios y altos, a los países desarrollados y a los no industrializados, e incluso pone en peligro la solidaridad internacional entre este último grupo de países (Dembo, Díaz y Morehouse, 1987).

En ese contexto, es necesario generar los elementos que ligen o establezcan los nexos necesarios entre esa estrategia, la actividad de investigación y el proceso económico, así como la organización social y el marco político correspondiente.

2. LA INVESTIGACION EN BIOTECNOLOGIA

Las apreciaciones sobre las posibilidades de aplicación de la biotecnología a los países del Tercer Mundo varían desde un gran optimismo hasta un pesimismo total. En parte esto depende de los factores que se enfatizan en el análisis (Venkataramam, 1987).

El optimismo que reinó, sobre todo al inicio de esta década, partía de que las tecnologías básicas son relativamente simples y no muy caras. Se planteaba entonces que las aplicaciones beneficiarían sobre todo a las regiones más atrasadas. Se podrían resolver problemas de la agricultura semiárida, ofrecer opciones que permitiesen ahorrar energía y técnicas de baja intensidad en el uso del capital. Podría ser un vehículo para la industrialización rural y para elevar la calidad de la vida de los pobladores no urbanos, así como para bajar los costos de los alimentos consumidos en las ciudades. Sin embargo, desde los inicios hubo voces de precaución (Kenney et al., s/f)

La visión optimista se basaba en el supuesto de que las tecnologías se desarrollarían de acuerdo con las condiciones y requerimientos de los países del Tercer Mundo. Gran parte de la discusión posterior en lo que se refiere a las consecuencias de la biotecnología para los países del Tercer Mundo hace hincapié en las formas de organización institucional para la investigación, desarrollo y difusión de las nuevas tecnologías. De esa discusión se pueden extraer algunas conclusiones en torno a la fijación de prioridades de investigación, lo cual permite delinear las consecuencias para países como los centroamericanos.

2.1 La participación pública y privada

Los criterios de participación pública y privada en la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías son distintos. En el caso más simple, las actividades privadas se circunscriben a los campos en los cuales es posible apropiarse del conocimiento y obtener rentas por esta posesión. El interés público se centra en la solución de problemas prioritarios desde diversos puntos de vista: sociales, los de la comunidad científica, apoyo a la producción, etc. Además, hay un interés por la diseminación de los resultados al mayor número posible de usuarios.

La innovación en agricultura tradicionalmente estuvo dominada por los organismos públicos. La participación privada en los Estados Unidos, por ejemplo, se limitaba a la comercialización de las semillas desarrolladas en las universidades y centros de

investigación, que luego eran reproducidas por los mismos agricultores, sin que hubiese grandes ganancias en la actividad.

Así, la estructura institucional responsable del mejoramiento de las variedades para la llamada revolución verde fue esencialmente pública o semipública. Aún en esas circunstancias los resultados en los países en desarrollo son sujetos a amplio debate, pues el aumento de la productividad no fue uniforme, sino que aumentó la polarización entre las grandes fincas y los pequeños productores.

La biotecnología vino a alterar radicalmente este cuadro. En primer lugar, la información técnica relevante desde una perspectiva comercial se encuentra muy próxima o en la propia frontera de la investigación básica, especialmente en biología molecular y celular (Kenney, 1986). Esta ha sido la condición primigenia para desencadenar nuevas fuerzas e intereses.

Se ha dado un acercamiento en los países desarrollados entre el sector privado y las universidades. Se pueden identificar dos procesos hasta cierto punto paralelos, y posteriormente, elementos que indican que se van fundiendo uno en el otro.

El primero es la tendencia de algunos investigadores universitarios a la creación de sus propias pequeñas empresas productivas en el campo de la biotecnología. Este proceso se inició hace una década; algunos investigadores universitarios comenzaron a tener sus propios intereses como empresarios. Este no es un fenómeno totalmente nuevo, pero su incidencia muestra una tendencia al aumento cada vez mayor. Algunos ejemplos son firmas como Genentec y Cetus en Estados Unidos, Seltec en Gran Bretaña y Transgreen en Francia, que generalmente surgieron alrededor de uno o varios científicos o investigadores universitarios que decidieron constituirse en empresarios, muchas veces financiados por capital de riesgo.

Un segundo aspecto, que no es en general nuevo en el desarrollo económico, científico y académico, pero que sí lo es en el campo de la biología (no tanto en otras áreas de la ciencia como la química), es la mayor participación directa de grandes transnacionales en el financiamiento de proyectos y actividades de investigación en las universidades, en especial, aunque no en forma exclusiva, en los Estados Unidos.

Las grandes transnacionales se han interesado enormemente, estableciendo presupuestos muy importantes para financiar en forma directa o indirecta investigadores y académicos que trabajan en áreas de interés muy específica y cercano al de ellas; tratan de orientar la investigación en aquellos campos en los cuales se puedan desarrollar tecnologías comercializables.

También en Europa ha habido desarrollos en esta dirección: en Gran Bretaña puede mencionarse el caso del Cambridge Plant Breeding Institute (PBI), uno de los primeros centros de investigación y desarrollo en el campo de la biotecnología, que fue vendido a la transnacional Unilever; en Francia, el Instituto Pasteur ha formado compañías para mercadear el resultados de sus investigaciones (Kenney, 1986, p.65).

Un segundo efecto del interés de las transnacionales en el área de las biotecnologías ha sido la adquisición de gran parte de las pequeñas empresas exitosas, de tal manera que se vive ahora un proceso de absorción de empresas de capital de riesgo que se habían ido formando en años anteriores.

Esta introducción de las grandes transnacionales vino a desvanecer la categoría de empresas industriales denominadas "agribusiness". Las empresas productoras de insumos agrícolas son ahora partes de grandes conglomerados químicos y farmacéuticos.

Como condición y resultado, las transnacionales, en unión con las direcciones políticas de sus países, han impulsado la modificación de las leyes que protegen la propiedad industrial y el establecimiento de patentes, de manera que se pueda apropiarse el resultado de la investigación. En particular se menciona la aprobación en los Estados Unidos de la Plant Variety Protection Act en 1970. Esa ley, que se asemeja a otras anteriormente aprobadas en Europa Occidental, permite una protección similar a la de las patentes de variedades reproducidas sexualmente. Esto contribuyó a crear la percepción de que el mejoramiento genético de las plantas se tornaría más rentable (Buttel, 1987).

En este contexto debe ubicarse lo ocurrido en la Ronda Uruguay de negociaciones del GATT, en la cual los países desarrollados han presionado para modificar las leyes de patentes, con el propósito de que permitan la apropiación privada del desarrollo intelectual. Por otro lado, en vista de que en los países subdesarrollados están más atrasados en este tipo de desarrollo (aunque algunos de ellos ya han avanzado un poco), en el presente clima del desarrollo económico global hay muy pocos incentivos para que los países subdesarrollados adopten leyes de propiedad intelectual referentes a información tecnológica en general, o referida específicamente a la biotecnología. El patentamiento de organismos vivos ofrece muy poca ventaja y permitiría que genes de organismos originados en países subdesarrollados sean apropiados por compañías de países desarrollados (Kenney, 1986).

En esta carrera por privatizar la información, en especial la referida a biotecnología, se ve amenazada la naturaleza de la universidad como institución creadora de información y de su difusión. La industria privada y los gobiernos conciben a la universidad como una fuente de investigación y de nuevas

tecnologías que puedan aumentar su rentabilidad; eso lleva a un énfasis mayor en el mantenimiento del secreto industrial y la obtención de ganancias.

Estamos acostumbrados a una estructura de la investigación científica en la cual existe el flujo de ideas a través de las publicaciones, en las cuales se da reconocimiento al autor de un determinado desarrollo científico resultado de la investigación; sin embargo, una vez publicado el trabajo, puede ser duplicado o utilizado por cualquiera, siempre que se haga el reconocimiento intelectual correspondiente.

En la medida en que hay intereses comerciales más directos, podría incluso guardarse el conocimiento, de manera que su flujo ya no fuera tan amplio, o si llegara a patentarse, aunque se conociera no pudiera ser utilizado. Esto se refiere tanto a procesos de investigación como al desarrollo de organismos artificiales que ofrecieran un determinado potencial para seguir avanzando a partir de ellos, pero cuya posesión privada impidiera continuar esa línea de investigación. Por supuesto, las consecuencias de esto no afectan sólo a los países en desarrollo, pero a nosotros nos interesa ahora verlo desde esa perspectiva.

Hay muy pocas indicaciones de que las tendencias a la privatización de la investigación en las universidades de los países desarrollados puedan revertirse. De hecho, las tendencias parecen confirmar el predominio de las fuerzas privatizantes, al punto de que es posible que los países desarrollados demanden de los países en desarrollo la adaptación a esas leyes de propiedad intelectual.

En ese sentido, Kenney señala: "paradójicamente, esas tendencias significan que las diversidades genéticas encontradas en los países en desarrollo son potencialmente muy valiosas, pero cualquier compañía capaz de extraer y caracterizar un gen valioso de material no mejorado estaría en capacidad de patentarlo y excluir a otros de usarlo, a menos de que le pague regalías". Entonces "un país en desarrollo que exporta libremente su información genética se podría encontrar con la paradoja de estar violando una patente al usar un gen que se encuentra libremente de manera natural dentro de sus fronteras, pero que pudo haber sido patentado por una compañía extranjera" (Kenney, 1986). Esta paradoja sintetiza una de las amenazas extremas a las que estamos haciendo referencia; insistimos en que no es que eso ya esté ocurriendo, pero la tendencia es clara, razón por la cual debe redoblarse la precaución.

2.2 Las prioridades de la investigación y difusión en biotecnología y el Tercer Mundo

2.2.1 Para los países en desarrollo, los resultados más probables como consecuencia del mayor peso de los intereses privados en el desarrollo y difusión de los adelantos biotecnológicos serán:

- a. que exista un menor acceso a la tecnología; y
- b. que no se tomen en consideración los temas de investigación de interés no comercial o desarrollo de procesos que permitan aumentar la productividad y el valor agregado de las exportaciones de los países en desarrollo.

2.2.2 Otras consecuencias, de carácter propiamente económico, podrían ser: mayores costos de los insumos necesarios para la actividad productiva de los países subdesarrollados, si la apropiación privada de muchos conocimientos pasa a manos de grandes empresas que monopolizan o, dada una estructura monopólica u oligopólica, se apropian y obtienen ganancias monopólicas que signifiquen mayores costos de dichos insumos.

En este aspecto merece una referencia especial lo sucedido en el campo de las semillas. Como ya se mencionó, anteriormente las nuevas variedades eran generadas por los entes públicos y la comercialización de las semillas la realizaban empresas especializadas. Se observa ahora un predominio cada vez mayor de los grandes conglomerados en este campo. Hay varias razones que explican este nuevo interés.

En primer lugar, se puede mencionar que las semillas constituyen el centro de control biotecnológico de las plantas. De este modo, mediante procesos de ingeniería se pueden desarrollar nuevas variedades que deben ser utilizadas en forma obligatoria con agroquímicos específicos. Esto resulta particularmente atractivo para transnacionales productoras de agroquímicos que han pasado a adquirir compañías productoras de semillas (Hansen et al., 1986).

Una segunda consideración de carácter técnico son los avances en la producción de híbridos en dos de los cultivos más importantes de la revolución verde: trigo y arroz (Buttel, 1987). La posibilidad de producir híbridos es una condición de entrada para las grandes corporaciones. Estas no tendrían interés en distribuir un material genético que luego pudiera ser reproducido independientemente por los agricultores.

El tercer aspecto de interés es la evolución de las instituciones legales que permiten privatizar las innovaciones biológicas. Se mencionó anteriormente la Plant Variety Protection Act de los Estados Unidos de América. Esto se vino a fortalecer con las

decisiones ("rulings") de 1980 y 1985, tanto de la Corte Suprema como de la Oficina de Patentes de ese país que autorizan a patentar formas de vida modificadas genéticamente, variedades de plantas, partes de plantas y genes nuevos. Todas esas disposiciones legales han permitido crear un mercado de rentas monopólicas en el cual las compañías se pueden proteger de la competencia de otras empresas por medio de las patentes, y de los agricultores con la venta de híbridos infértiles (Buttel, 1987).

Una cuarta razón de importancia y que quizás haya provocado algunos de los aspectos considerados anteriormente, es el tamaño del mercado. Una estimación reciente lo coloca en el orden de los US\$ 13 mil millones. Europa y Norteamérica representan cada uno US\$ 5 mil millones y el comercio internacional es de US\$ 1.2 mil millones, de los cuales un 90 por ciento es controlado por estas dos regiones. No se cuentan con datos de Japón, pero se sabe que las compañías de semillas se están expandiendo rápidamente (Grossman, 1987).

Las consecuencias para el Tercer Mundo dependerán en parte del interés de las transnacionales en su mercado. En la medida en que se desarrolle ese interés, la competitividad agrícola pasará a depender de híbridos importados y orgánicamente dependientes de ciertos productos químicos. Además, es probable que sólo las fincas grandes productivas sean capaces de incorporar los nuevos paquetes tecnológicos, con lo cual los pequeños productores posiblemente no sólo no se beneficien sino que vean afectada negativamente su situación.

La consolidación de las compañías productoras de semillas como subsidiarias de las transnacionales ha significado que éstas cuentan con mayores recursos para la investigación y mercadeo de nuevos productos. Esta madurez ha coincidido con una saturación del mercado de los países desarrollados, razón por la cual se han buscado nuevos horizontes. El Tercer Mundo se ha convertido en esa frontera en expansión. El maíz y el sorgo ya hicieron su aparición en los mercados de Filipinas y México, y se sabe que Monsanto ha dedicado grandes recursos a la investigación y desarrollo con la mira puesta en el Sudeste asiático y Latinoamérica (Buttel, 1987).

2.2.3 En general, resulta de particular importancia el impacto en los casos en que se generaron bienes sustitutos de los productos de exportación de los países tropicales, tales como el azúcar para la región centroamericana. Se podría presentar una caída en los mercados con efectos potenciales doblemente negativos: disminución de las cantidades susceptibles de ser exportadas o de los precios, ya sea como resultado de lo primero o por una relativa mayor oferta, dado que existiría la oferta del producto tradicional tropical y la de sus sustitutos producidos en los países desarrollados.

2.2.4 Es interesante anotar que los problemas para los países del Tercer Mundo no se derivan solo de la orientación general de la investigación, sino también de los problemas específicos que intenta resolver. Por ejemplo, están interesados en los problemas de la agricultura de climas templados, y se orientan a desarrollar procesos para superar los obstáculos que suponen los climas fríos y las posibilidades de heladas que dificultan la agricultura en esas regiones. Obviamente, esa línea de investigación no va en provecho de los países tropicales y de nuestra región, y más bien puede representar una amenaza al erosionar ventajas absolutas de la agricultura tropical.

2.2.5 En los puntos anteriores se ha hecho referencia a los efectos inmediatos o evidentes que se muestran desde el punto de vista económico. Como éste es un proceso permanente, hay un tercer aspecto a más largo plazo o más permanente, que es la posibilidad de la limitación de la investigación científica en los países subdesarrollados, en la medida en que procesos productivos o incluso metodologías de investigación puedan ser patentadas y puedan ser de uso no disponible.

3. LAS POSIBILIDADES PARA CENTROAMERICA

Las tendencias señaladas en la sección anterior plantean un formidable desafío para regiones como la nuestra. La investigación y desarrollo de nuevos productos agrícolas es cada vez más un fenómeno dominado por los intereses de los grandes conglomerados internacionales. Esto tiene numerosas consecuencias: el conocimiento no va a estar en libre disponibilidad, lo cual afectará las posibilidades de investigación propia en campos tales como la adaptación de variedades; áreas no rentables desde la perspectiva de las grandes transnacionales, como la situación de los pequeños productores en áreas marginales, probablemente sean relegadas; la adopción de variedades mejoradas probablemente signifique una mayor dependencia de quienes suplen insumos, y el paquete tecnológico podría no mejorar o incluso hasta empeorar la situación de los pequeños productores.

Sin embargo, esas tendencias no actúan por sí solas; también existen fuerzas que empujan en sentido contrario. Se requiere, por lo tanto, un adecuado conocimiento y el seguimiento de las principales tendencias del cambio técnico en la agricultura, pero también una evaluación cuidadosa de aspectos y tendencias que, sin ser necesariamente las dominantes, pueden crear oportunidades para Centroamérica.

3.1 La investigación pública

Está claro que la tendencia más importante es la que señala el aumento de los intereses privados en contraposición con los

públicos en el desarrollo biotecnológico; esto significa una reversión de las características de la innovación tecnológica en la agricultura. No obstante, ese fenómeno no debe dar lugar a la interpretación de que una porción fundamental de la investigación en los países desarrollados no se orienta por criterios de bienestar general y de desarrollo científico. Los intereses de las compañías trasnacionales están cada vez más presentes en la orientación y financiamiento de la investigación y en la promoción de cambios en el marco jurídico que regula las posibilidades de apropiación privada del conocimiento; sin embargo, su control está muy lejos de ser absoluto.

Existe una red multilateral de asistencia técnica agropecuaria que se fundamenta en el supuesto del libre flujo de la información y conocimiento científicos en el mundo. A pesar de que los niveles reales de recursos han declinado, debido a una serie de razones, incluida la crisis de pagos internacionales de los países de América Latina, lo cierto es que el apoyo de los países desarrollados al libre flujo de información hasta la fecha no se ha visto limitado. Se podría pensar que con el incremento en la competencia internacional esto podría llegar a cambiar, pero por ahora no es más que una posibilidad. En Latinoamérica hay tres centros en esta red multilateral: el Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro Internacional de la Papa (CIP). Además, existen instituciones con presencia en Centroamérica como el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). El CATIE cuenta con un ambicioso programa en cultivos de tejidos; el IICA, a su vez, adquiere un interés creciente en el área a partir de claros mandatos expresados recientemente por los ministros de Agricultura del continente. Se deben mencionar, por otro lado, las capacidades de investigación existentes en las universidades de la región.

En los países del Tercer Mundo, la investigación biotecnológica aplicada a la agricultura es realizada en su gran mayoría por entes públicos o institutos internacionales. Esos centros podrían competir con las trasnacionales en el campo de las semillas si ofrecieran variedades competitivas no híbridas; de ese modo evitarían la dependencia de la agricultura regional de los suplidores de semillas e insumos.

También es cierto que las multinacionales se orientarán hacia los sectores de alta rentabilidad, normalmente muy intensivos en capital. De esta manera, las condiciones particulares de los pequeños productores y de los ecosistemas marginales probablemente serán dejadas de lado por el sector privado. Aquí se presenta un papel legítimo para la acción de la investigación pública y semipública, como también en la investigación vinculada con las exportaciones propias de la agricultura tropical.

No obstante, en la medida en que los fondos de los gobiernos de los países desarrollados o de las compañías transnacionales vayan a centros privados, se tiende a restar y amenazar el desarrollo de institutos cuya orientación y propósito es más de interés general y público, como los tradicionales centros agrícolas internacionales de investigación. Por tal causa, se podría presentar un problema en la distribución relativa de los fondos.

En síntesis, no se puede extraer una conclusión definitiva sobre la asignación de fondos para el desarrollo biotecnológico y la atención de problemas en regiones como la centroamericana. Las tendencias generales hacia el predominio de los intereses privados transnacionales es motivo de preocupación; sin embargo, aún esa tendencia a la privatización del conocimiento biotecnológico por parte de grandes corporaciones transnacionales podría tener eventualmente un efecto positivo de transferencia, a medida que las patentes empiecen a vencer o que las compañías consideren que les resulta de interés realizar una transferencia de determinadas técnicas. Asimismo, existe una asignación de fondos importante por parte de organismos internacionales, y puede haberla para organismos nacionales de la región, con claras prioridades fijadas por el desarrollo nacional. En consecuencia, las posibilidades de disfrutar de innovaciones adaptadas a las condiciones regionales son reales; su materialización dependerá, en gran medida, de que oportunamente se tomen las decisiones pertinentes .

Las posibilidades para la región centroamericana también están asociadas con las características de la biotecnología. Son estos aspectos los que, en mayor medida, determinan que la región tenga una opción real de beneficiarse de tecnologías de avanzada y de desarrollar una capacidad tecnológica propia, con potencial para transformar su sector agropecuario.

3.2 Las características de la tecnología

Al igual que otras tecnologías de la información que han tenido un desarrollo acelerado en la última década, los productos o procesos de biotecnología son relativamente fáciles de reproducir. El ejemplo más sencillo consiste en tomar una célula y reproducirla en cantidades comerciales. "En muchos casos esto puede hacerse mucho más rápidamente y con equipo mucho más rudimentario que el que se ocupó para la creación inicial (de la célula) (...). Por lo tanto, los países en desarrollo pueden, con niveles mucho menores de experiencia, especialización e inversión, reproducir muchos de los productos biotecnológicos generados por los países desarrollados". (Kenney, 1986, p.64).

Existen áreas completas en la biotecnología en las cuales realmente la investigación no es excesivamente cara; más bien parece que hay áreas en las cuales los costos de investigación son relativamente moderados, en comparación, por ejemplo, con la

química en general. Tal es el caso de la técnica de cultivo de tejidos, que tiene innumerables aplicaciones en nuestro medio.

Por otro lado, en lo referente a las posibilidades que los países en desarrollo tienen para aprovechar la biotecnología, es fundamental la diversidad de sus aplicaciones. Incluso en muchos casos puede haber aplicaciones de acuerdo con diversos grados o niveles de sofisticación. Sin embargo, para eso es necesario el libre acceso al conocimiento creado o generado en el ámbito académico.

Es más, en general la biotecnología no es una ciencia cara. Kenney señala que en total se han invertido más de US\$ 5 mil millones en los países de la OECD (Kenney, 1986); es una suma ínfima si se compara, por ejemplo, con la deuda externa latinoamericana, que supera los 400 mil millones de dólares. Por otro lado, no hace un uso particularmente intensivo del capital, sino que más bien hace un gran uso de los conocimientos. No se trata tan sólo de acumulación de información, sino del trabajo analítico que debe realizarse con los resultados que se generan a partir de la investigación, lo cual se ha denominado tecnologías "intelecto intensivas" (Weisleder, 1986).

Se ha estimado que incluso Genentech y Cetus (dos de las compañías más importantes e innovadoras) no gastan más de US\$ 25 millones al año en investigación, y que el costo de una planta industrial económicamente viable puede estar entre US\$ 10 y 100 millones, suma relativamente pequeña si se la compara con la necesaria para plantas químicas o siderúrgicas, que se acerca a US\$ mil millones, (Kenney, 1986, p.61).

Otra idea que es necesario tener en consideración, siempre dentro de esta visión basada en la oportunidades y amenazas, es que, como tendencia, la investigación en los países desarrollados señalaría que cuando se desarrollan nuevos productos, más bien parecería plantearse una amenaza a las economías de los países en desarrollo. Y los nuevos procesos más bien tenderían a ser una oportunidad, por cuanto se puede generar una diversidad de aplicaciones del método ya desarrollado. Esto no es absoluto y no puede tomarse de una manera categórica, pero resulta interesante analizar la idea en esta dirección.

El desarrollo de procesos podría significar oportunidades en dos sentidos:

- a. mejorar la eficiencia y la productividad de determinadas líneas de producción de la agricultura tropical;
- b. generar actividades productivas, al modificar las estructuras biológicas de determinados cuerpos o seres vivientes, de tal manera que producciones que antes no eran

posibles por condiciones climatológicas o de otra índole sean factibles en el trópico, o puedan lograrse en épocas o periodos distintos, de manera que permitan aprovechar oportunidades de mercado en los países desarrollados.

Finalmente, debemos plantear problemas específicos de la región centroamericana que se pueden enfrentar con las nuevas biotecnologías, y que difícilmente serán de interés para las grandes transnacionales. Algunos de esos problemas son: la variedad de microclimas, el exceso de humedad y las parasitosis asociadas, las sequías prolongadas, la gran luminosidad y temperaturas constantes durante todo el año. Estos factores específicos para la región determinan problemas particulares, o bien posibilidades que podrían definir una ventaja comparativa internacional. Por otro lado, debe considerarse el diseño de tecnologías específicas para los sectores más rezagados de la población rural.

En síntesis, las características de la tecnología, aun en el contexto de una creciente apropiación privada del conocimiento y del interés de las compañías transnacionales por los mercados de países en desarrollo, ofrecen la posibilidad de adelantar en la asimilación y aprovechamiento de tecnologías de avanzada y de revolucionar las condiciones de vida de la población rural. No obstante, esa posibilidad dependerá de la ejecución de programas de largo alcance. El incentivo para desarrollar capacidades tecnológicas en estos campos no es sólo de carácter positivo; el hecho de que productos tradicionales de exportación, tales como azúcar, café y cacao, estén amenazados por estos mismos desarrollos tecnológicos, obligan a una consideración seria de la modernización y búsqueda de alternativas para el principal sector de nuestras economías.

3.3 Requisitos para el aprovechamiento de las posibilidades

Los países de la región deben desarrollar capacidad tecnológica para aprovechar las posibilidades que brindan las nuevas biotecnologías, pero esta capacidad deberá desarrollarse en el marco de algunas decisiones estratégicas. Entre esas decisiones de largo plazo se han señalado las siguientes:

- a. Desarrollar y alimentar una "masa crítica" de investigadores y tecnólogos en biotecnologías.
- b. Comprometer fondos suficientes en el largo plazo para la investigación y el desarrollo de biotecnologías.
- c. Articular la capacidad científica y tecnológica con los sectores productivos para transformar las áreas de aplicación de las nuevas tecnologías. El objetivo debe

incluir hacer máximas las "externalidades" entre los suplidores, y entre éstos y los usuarios.

- d. Realizar los cambios institucionales necesarios para el desarrollo de la "masa crítica" de investigadores, para la experimentación y los procesos de gestión tecnológica" (Rodríguez, 1988, p.127).

Conviene desarrollar estos cuatro puntos.

3.3.1 La "masa crítica" de investigadores no está fuera del alcance de la región centroamericana. Se calcula que un equipo interdisciplinario con un mínimo que vaya de nueve a catorce investigadores y tecnólogos puede ser suficiente. El equipo debe incluir, según Venkataraman, a partir de estimaciones hechas por UNIDO:

- i. Uno o dos químicos orgánicos para la síntesis de oligonucleótidos;
- ii. Tres o cuatro bioquímicos (que incluyan al menos un experto en enzimas) para el aislamiento del ADN, el "cloning" de genes selección del gen deseado, determinación de la secuencia del ADN y llevar al máximo la expresión del gen;
- iii. Uno dos inmunólogos que preparen anticuerpos, incluidos los monoclonales;
- iv. Uno o dos bioquímicos especialistas en proteínas para la purificación de los productos proteicos;
- v. Uno o dos microbiólogos para seleccionar o mejorar los microorganismos deseados;
- vi. Un ingeniero diseñador de la pila de fermentación y operador de la producción en gran escala de microorganismos;
- vii. Un experto en electrónica para atender los instrumentos y el control de la operación de fermentación y el desempeño del sistema en general (Venkataraman, 1987, p.120).

Este equipo de investigadores debe trabajar de acuerdo con las necesidades del desarrollo de la región, con un esquema de prioridades bien definido. Además el esfuerzo de investigación debe dirigirse a todos los pasos de la cadena, desde la investigación, básica hasta la producción (Venkataraman, 1987, p.120).

La importancia de que estos equipos de investigación de la región se comuniquen entre sí, con los organismos internacionales de la región y con los supranacionales debe enfatizarse

constantemente. Deben producirse intercambios de científicos, proyectos de investigación conjuntos, seminarios regionales y debe asistirse a las reuniones internacionales más importantes. Todo esto con los objetivos de evitar duplicaciones, beneficiarse del trabajo ya realizado y mantener contacto con las nuevas técnicas y conocimientos científicos. No debe olvidarse que la meta es ubicarse en la frontera del desarrollo tecnológico en ciertas áreas, y ésta, por su misma definición, se desplaza constantemente. El esfuerzo inicial se perdería si luego los equipos de investigadores no se mantuvieran totalmente al día en sus campos.

3.3.2 Debe contarse con suficientes fondos, garantizados para un horizonte de largo plazo para la investigación, innovación, proyectos piloto y comercialización. Los países de la región deberán comprometer importantes sumas; esas cantidades, sin embargo, son bajas si se comparan con esfuerzos como el de la promoción de exportaciones en Costa Rica, que sólo en certificados de abono tributario (CATs) significó más de US\$ 29 millones en 1987.

Se ha señalado, además, que podrá haber fondos disponibles en el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para nuevas empresas biotecnológicas de capital nacional. Se plantea que actualmente existen fuentes de financiamiento tanto para la investigación como la inversión industrial; el requisito es tan sólo presentar buenos proyectos (Quintero Ramírez, 1987, p. 33).

Toda discusión de recursos limitados inmediatamente debe llevar a la discusión de criterios para definir las prioridades. En general, para la agricultura de los trópicos han sido señaladas dos grandes categorías:

- "a. El mejoramiento de las características genéticas de las plantas, ya sea por ingeniería genética o por métodos más convencionales de micropropagación, obtención de plantas haploides, hibridación intergenéricas o interespecíficas por fusión de protoplastos y otros; esto, con el fin de incrementar su resistencia a enfermedades o a factores ambientales desfavorables que producen estrés, o simplemente para limpiarlas de virus empleando el cultivo de meristemas, o bien para incrementar su capacidad fotosintética, productiva o nutritiva; y,
- b. la manipulación de diversos microorganismos para mejorar la fijación de nitrógeno atmosférico o la absorción de fósforo, para producir insecticidas biológicos, para el control de ciertas enfermedades, y para promover el crecimiento" (Zeledón, 1988, p. 11).

No obstante, un análisis de la situación de las biotecnologías en Costa Rica concluyó que "la revisión de los proyectos específicos revela, una vez más, que no existe ningún lineamiento metodológico para identificar y seleccionar los proyectos prioritarios" (Quintero Ramírez, 1987, p. 21). Costa Rica ha avanzado en la definición de áreas prioritarias, pero esto no es suficiente; es necesario desarrollar una metodología para seleccionar proyectos prioritarios. Es probable que la situación de los otros países de la región no sea mejor a la antes descrita; razón por la cual el desarrollo de capacidad de planificación y asignación de recursos en esta área clave para la región es una clara prioridad.

3.3.3 Las relaciones en el campo biotecnológico entre la comunidad científica y los productores, entre éstos y los suplidores de insumos y entre los productores y algunos consumidores están plagadas de lo que los economistas denominan "externalidades". Estas son relaciones positivas o negativas entre los agentes económicos no registradas por el mercado. En este caso son de carácter muy positivo; sin embargo al no reflejarse en los precios de las transacciones, éstas aparecen menos atractivas de lo que en realidad son. Se pueden mencionar el entrenamiento e intercambio de personal entre los centros de investigación y las empresas, las preguntas que los productores pueden plantear a los investigadores, las sugerencias de nuevos proyectos de inversión que pueden surgir a partir de los centros de investigación, etc. El dinamismo de un desarrollo basado en una capacidad tecnológica se explica en gran parte por la presencia de estas externalidades. Cuando la relación entre la comunidad científica y los productores no se ha dado, los beneficios potenciales no se perciben. Por esto debe provocarse inicialmente este encuentro, para que luego adquiera su propia dinámica.

Por esto, Venkataraman plantea que debe existir "un conjunto de políticas para promover la investigación y el desarrollo en la biotecnología y su aplicación. Este tendrá que incluir incentivos, seguimiento de las tendencias de la biotecnología en el mundo, programas biotecnológicos de largo plazo y políticas de compra del sector público, como por ejemplo en el sector salud" (Venkataraman, 1987, p. 121). Esta cita plantea además un elemento que ha sido fundamental en el desarrollo de la capacidad tecnológica en la mayoría de los países en muchos sectores, esto es el papel del poder de compra del sector público para lograr la integración entre ciencia y producción. El Estado puede crear las condiciones de invernadero necesarias inicialmente.

Zeledón, por su parte, va más allá e incorpora el papel del sector público en una perspectiva regional: "deberá utilizarse el poder de compra del Estado como factor de apoyo a la producción nacional y regional de productos biotecnológicos bajo regulaciones

convenientes que estipulen una cooperación regional, según una política clara al respecto" (Zeledón, 1988, p. 8).

Uno de los instrumentos que ha sido utilizado con éxito en los países del Lejano Oriente para vincular ciencia y producción ha sido la creación de parques industriales de base científica ("science parks"). Estos pueden tener incentivos específicos para lograr esta vinculación, así como una localización definida, con el propósito de que se den las interrelaciones que se interesa promover.

3.3.4 El contexto institucional debe ser el idóneo para que la "masa crítica" de investigadores mantenga un esfuerzo constante de largo plazo. El sistema de incentivos debe compensar la tendencia hacia la "fuga de cerebros" y debe haber un cuidadoso programa de formación de los recursos humanos. Este programa, por su propia naturaleza, debe ser de largo plazo, ya que se está hablando de periodos de formación de científicos y técnicos que demoran varios años. Las necesidades deben preverse con suficiente antelación. Además, el programa de formación de recursos humanos es un vehículo fundamental para que todo el equipo de investigadores se mantenga al día en los descubrimientos científicos y en las técnicas recién desarrolladas.

Los procesos de desarrollo y gestión tecnológica se pueden intentar por una variada gama de posibilidades estratégicas. De acuerdo con estas estrategias, deberá diseñarse el marco institucional correspondiente. Las dos estrategias extremas que se podrían concebir son, por un lado, la absorción pasiva de las nuevas tecnologías basada en las transferencias que realicen las empresas transnacionales que se vengan a localizar en la región. Si se sigue esa estrategia, la discusión debe centrarse en el conjunto de incentivos para atraer las mencionadas empresas, según sea que apliquen los nuevos productos a la agricultura o se pretenda que empresas biotecnológicas se vengan a instalar a la región. Por otro lado, se puede pretender una estrategia de desarrollo biotecnológico endógeno, mediante la cual se procure avanzar sólo a partir de las capacidades científicas locales. La presencia de capital transnacional sería, en este contexto, disfuncional a los objetivos de desarrollo. El marco de incentivos y de controles se ajustaría al objetivo.

En realidad se puede concebir una combinación de estrategias con un criterio no excluyente. En nuestra opinión, Centroamérica se podría beneficiar más con una actitud ecléctica de desarrollos autóctonos y de apoyo en el capital extranjero. A continuación se plantean algunas de las opciones posibles:

- a. Desarrollo tecnológico endógeno;
- b. Uso de licencias;

- c. Adquisición y adaptación de tecnología;
- d. Desarrollo regional de tecnologías en conjunto entre países, empresas o centros de investigación del área;
- e. Empresas mixtas en cuanto a la nacionalidad del capital; y
- f. Empresas extranjeras (Ramírez Quintero, 1987, p. 37).

Los distintos esquemas de desarrollo tecnológico tienen mayor o menor factibilidad de acuerdo con el área de trabajo. Algunos productos de exportación podrían beneficiarse de la presencia del capital extranjero para tener acceso a mercados y canales de comercialización. Probablemente los programas para atender problemas específicos de la situación de los campesinos de determinadas regiones, sólo se desarrollarán con esfuerzos autóctonos y el apoyo de la red internacional pública. Hay muchos de estos casos, tales como el uso de licencias, en los que posiblemente el mercado sea suficiente para detectar si hay posibilidades de desarrollo. Pero, en todo caso, deberá haber, idealmente, una estrategia regional de desarrollo biotecnológico con sistemas de incentivos adecuados a la modalidad del desarrollo tecnológico y al carácter de prioridad de los campos de acción. Si no puede desarrollarse un programa regional, deberán existir programas nacionales, pero con un máximo posible de consistencia entre sí y con énfasis en las posibilidades de cooperación regional, tanto entre los centros de investigación como entre los empresarios.

La amplia infraestructura institucional desarrollada al calor del proyecto integracionista centroamericano, que se limitó, sin embargo, al proceso de sustitución de importaciones, se mantiene vigente. Es importante destacar que, aún en los momentos de mayor tensión política y militar, las instituciones regionales mantuvieron sus acciones y los contactos oficiales de distintos niveles continuaron en el marco de esas instituciones. Este esquema institucional bien podría utilizarse para enfrentar los nuevos retos del desarrollo centroamericano. La actual etapa no difiere de la anterior en el sentido de que habría grandes beneficios que se podrían obtener del trabajo conjunto. Desde luego, los programas y objetivos deberán modificarse sustancialmente para acomodar los nuevos desafíos y posibilidades.

4. POSIBLE IMPACTO DE LAS BIOTECNOLOGIAS EN DOS PRODUCTOS DE LA REGION

En esta sección se presenta un análisis de "escenarios" del posible impacto de las biotecnologías. Se seleccionaron dos casos

de contraste. El primero ilustra el peligro potencial que pueden representar los desarrollos tecnológicos para la agricultura tropical al desplazar productos tropicales; se trata del caso del azúcar. El segundo ejemplo hace referencia a una oportunidad de impulsar las exportaciones mediante la propagación de productos potencialmente exportables, gracias a que la biotecnología permite solucionar uno de sus cuellos de botella, la distribución oportuna de semillas idóneas. Este segundo caso no sólo ofrece beneficios potenciales desde el punto de vista de las exportaciones; también podría permitir que los beneficios se distribuyan entre pequeños campesinos de la región.

La metodología empleada es la de los "escenarios". Se plantean unos supuestos relativamente simples pero evidentes, que permiten ensayar hipótesis sobre el impacto del cambio tecnológico en las variables producción, exportaciones y empleo.

4.1 El azúcar de caña

La razón fundamental de la incorporación del azúcar en este análisis es que, además de la importancia que reviste este producto para la economía de Centroamérica, en los últimos años se han desarrollado e incorporado a los mercados internacionales productos sustitutos del azúcar. Ello ha reducido la participación en el mercado de aquellos países que continúan exportando azúcar de caña.

La aparición de estos edulcorantes, producidos fundamentalmente por medio de procesos biotecnológicos y químicos, constituye un caso específico de análisis de los efectos del desarrollo de la biotecnología y su amenaza a la economía de la región centroamericana.

4.1.1 Metodología

Para la cuantificación del fenómeno e identificación de los puntos de mayor relevancia se tomó como punto de apoyo la Tesis Doctoral de José Salvador Arias Peñate, 1987. Estos datos aparecen en los Cuadros 1, 2, 3 y 4. Para el empleo (Cuadro 5) sólo se contaba con la información para el período 1986/1987, razón por la cual fue necesario proceder a la estimación de los datos que faltaban para completar el conjunto de cifras para los años 1960-1985.

Para el cálculo de los datos de empleo, a partir de la información que se tenían, se definieron coeficientes de:

- a. empleo equivalente por unidad de producción (Q); y

b. empleo equivalente por hectárea cultivada (A).²

La característica fundamental de esta forma de "construir" los datos es que se mantiene intacta la estructura de relaciones entre producción, área cultivada y nivel de empleo para el resto de los años del ejercicio de simulación.

El Cuadro 6 es un resumen (Cuadros 1 a 5) de los datos para Centroamérica en cuanto a: producción, consumo, consumo per cápita, exportaciones y empleo; también se incluyen relaciones porcentuales del consumo y el empleo respecto a la producción, y una relación de toneladas métricas por trabajador. Además se incorporan, para cada una de las variables, proyecciones para los años 1990, 1995 y 2000.

En el Cuadro 6, para efectos de la simulación se empleó el siguiente algoritmo y consideraciones del caso:

- a. Para todas las variables se realizaron los cálculos a partir de las cifras correspondientes al dato de 1985.
- b. En cuanto a la producción, al observar que los datos de los años anteriores mostraban reducciones importantes en las tasas de crecimiento, supuso que la producción seguiría creciendo pero a tasas muy bajas, permitiendo un crecimiento de sólo un 2.5% en el periodo 85-90, de 2.0% en el 90-95 y de 1.5% en el periodo 95-2000. Esto estaría sustentado por el hecho de que, a pesar de la aparición de sustitutos y la consecuente caída de las exportaciones, los países centroamericanos siguen atendiendo un fuerte consumo del mercado interno y tendrían poco incentivo para realizar los respectivos cambios en el aparato productivo que se requerirían por las pérdidas de participación en los mercados internacionales.
- c. Por los patrones de consumo, falta de sustitutos y mercados protegidos en Centroamérica, se supone que el consumo crecerá en términos absolutos un 10% cada 5 años.
- d. Las exportaciones de azúcar se consideran como la variable que recibe el mayor impacto debido a la aparición de los edulcorantes, razón por la cual en el Cuadro 6 se supone que el efecto para Centroamérica es una reducción quinquenal de sus exportaciones del 20% a 1990, 25% a 1995 y 40% para el año 2000.
- e. En cuanto al empleo, el cálculo se hizo a partir de la relación "toneladas métricas por empleado por año", dato que en la década 1975-85 se mantiene en aproximadamente 6.2. Se supone que en 1990 es igual y que por efecto de los avances tecnológicos pueda situarse en 1995 en 6.3 y 6.4 en el año 2000.

4.1.2 Simulaciones

a. El Cuadro 6 constituye el Escenario 1. Para la confección de los siguientes escenarios se modifica la forma de determinar el nivel de producción (ahora dependerá directamente de las exportaciones que se realicen) y de diferentes consideraciones en la reducción de las exportaciones de azúcar. Nótese que el análisis se realiza en términos físicos.

b. El Escenario 2 se puede apreciar en el Cuadro 7. Se supone que las exportaciones presentan un comportamiento similar al del escenario anterior, una caída del 20, 25 y 40% para los años 1990, 1995 y 2000, respectivamente. Pero la producción ahora se hace depender de la evolución de las exportaciones, de tal forma que la relación "consumo más exportaciones sobre la producción" se mantenga en 95%. Las otras variables tienen el mismo comportamiento que en el Escenario 1.

c. El Cuadro 8 presenta el Escenario 3. Se construye a partir del supuesto de que las exportaciones presentarán una disminución quinquenal del 20, 40 y 25% en los años 1990, 1995 y 2000, respectivamente. El resto de variables se comportan igual que en el Escenario 1.

d. El Cuadro 9 muestra el Escenario 4. Las exportaciones disminuyen en un 40, 25 y 20% para los quinquenios correspondientes a los años 1990, 1995 y 2000. El resto de variables se comporta de igual manera que en el Escenario 1.

e. El Escenario 5 se presenta en el Cuadro 10. Todas las variables evolucionan igual que en los anteriores escenarios, aunque las exportaciones disminuyen en mayor proporción y en forma cada vez más fuerte; en 1990 la disminución es de un 25%, en 1995 de un 35% y en el año 2000 un 50%.

4.1.3 Conclusiones

a. La primer conclusión que se puede extraer es que si el consumo interno de azúcar en los países de la región se comporta según lo supuesto (básicamente mantiene su tendencia al aumento), el impacto negativo de la pérdida del mercado estadounidense no es muy grave. Los mercados internos pasan a absorber volúmenes crecientes de azúcar y así la producción y el empleo en el año 2000 serían tan sólo un 16 por ciento menores entre el Escenario 5 (pérdida más acelerada del mercado de exportación) y el Escenario 1, en el cual la producción mantiene una tasa de crecimiento "normal".

b. No obstante, si el impacto negativo se concentra en el primer quinquenio (Escenario 4), el efecto en producción y empleo es más

considerable: una caída de aproximadamente un 14 por ciento para ambas en sólo ese período (1990 con respecto a 1985). Si éste se concentra en el segundo quinquenio (Escenario 3), también tiende a presentarse una situación más angustiosa en 1995 que la que se produce al final de todo el período de simulación (año 2000). Conforme los efectos estén más distribuidos en el tiempo, como por ejemplo en la simulación 2, más posibilidades tiene el aumento en el consumo interno de compensar la caída en las exportaciones.

4.2 El caso del tiquisque, ñame y ñampí

El caso de estas raíces se seleccionó por ser un ejemplo de efectos positivos por aplicación de técnicas biotecnológicas a la agricultura tropical. El cultivo de tejidos se puede utilizar para producir "semillas" de una gran cantidad de productos. La técnica básica es conocida por varios equipos de científicos en la región, e incluso es utilizada por una empresa privada costarricense. Esta técnica permite la reproducción de ejemplares de una planta con las características deseadas y libre de enfermedades.

Estos tres productos tienen un gran potencial de expansión, orientado a las exportaciones a los Estados Unidos, a los mercados que se han denominado "étnicos". Los precios de exportación son buenos y relativamente constantes durante todo el año (Cámara Nacional de Agricultura y Agroindustria, 1987). Existe una gran extensión de suelos con las características indicadas para estos cultivos. Además, son productos característicos de pequeños empresarios. Por ejemplo, en Costa Rica el tamaño promedio de las fincas que cultivan estos productos es el siguiente: tiquisque, 16 ha; ñampí, 11 ha y ñame 8 ha. Los tamaños promedio de plantación son aún menores: tiquisque 1.5 ha, ñampí 1.2 ha y ñame 1.2 ha (MAG, 1987). Por tal razón se puede afirmar, que si se logra aumentar la producción y las exportaciones de estos productos sobre la base de pequeñas parcelas, se conseguirá un esfuerzo distributivo importante, siempre que los precios pagados al productor por el exportador sean razonables.

Es interesante mencionar que estudios realizados por la Cámara Nacional de Agricultura y Agroindustria señalan, respecto a los problemas agronómicos del ñame, que debe lograrse una "producción comercial de semilla sana y de calidad garantizada con el fin de abaratar su elevado costo" (Cámara Nacional de Agricultura y Agroindustria, 1987, p.3). En lo referente a las Aráceas (a las que pertenecen el tiquisque y el ñampí), esa institución recomienda en el largo plazo "poner en práctica los métodos de propagación sexual, evaluar el desempeño de genotipos en asocio con cultivos perennes. Los virus siguen siendo prioritarios y la investigación generada deberá promover el establecimiento de un programa de

certificación de semilla" (Cámara Nacional de Agricultura y Agroindustria, 1987, p. 6).

Por otro lado, ha sido sometida a consideración del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas una solicitud para desarrollar la técnica de cultivo de tejidos y reproducción de meristemas para estos tubérculos. El desarrollo de la técnica lo realizaría el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, que transferiría la técnica a un empresario privado, exportador de los productos, para su desarrollo a nivel comercial. La producción de los tubérculos continuaría en manos de los pequeños productores.

Por esas razones, se consideró interesante un ejercicio de simulación que evaluara el posible impacto de un cambio tecnológico dirigido a solucionar el "cuello de botella" que significa la ausencia de semillas en el volumen y la cantidad necesarios para ampliar la producción. El efecto de esta restricción es doble:

- a. hay limitaciones a la ampliación del área cultivada por la ausencia de suficientes semillas; y
- b. la calidad de las semillas que existe limita los rendimientos que se pueden obtener por área cultivada.

La solución de estas restricciones por medio de la biotecnología permitiría aumentar la producción y las exportaciones por las dos vías de aumento de la productividad y del área cultivada.

4.2.1 Metodología

Por no contarse con información para los otros países de Centroamérica, el ejercicio de simulación se limitó a Costa Rica. Sin embargo, el punto analítico de la simulación (el posible impacto positivo del desarrollo y aplicación de la técnica) se desprende claramente a partir de los datos discutidos.

La información para 1987, año base de la simulación, se obtuvo de cómputos preliminares de la encuesta sobre tubérculos que realizó el Ministerio de Agricultura y Ganadería en 1987. Esto permitió estimar áreas cultivadas por cultivo, los rendimientos promedio y, consecuentemente, la producción. También se obtuvo información sobre número de fincas, su tamaño promedio, y sobre plantaciones.

El cálculo del empleo equivalente por hectárea se realizó a partir de la información con que cuenta la principal empresa exportadora, que produce una parte de su exportación pero compra la mayoría a los agricultores vinculados en la actividad. Los datos

que se obtuvieron fueron: tiquisque 0.35 empleos equivalentes por hectárea; ñampí 0.24 y ñame 0.23.

Los datos de productividad actual se obtuvieron de la mencionada encuesta sobre tubérculos y los datos de productividad potencial por hectárea fueron suministrados por técnicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

La información de un precio promedio de US\$ 18 por caja de 50 libras FOB es la cifra disponible en el Banco Central de Costa Rica. La encuesta sobre tubérculos estima que la producción exportable puede representar un 60 por ciento del producto total.

La proyección para 1988 supuso un incremento de 30%. Esta puede ser una estimación conservadora. La empresa líder del mercado de tubérculos estima que la producción de tiquisque se duplicará en 1988, aunque sólo se tome en consideración lo plantado en la región de Limón.

Se tomó solo un punto de referencia, 1993, como el año en el cual la nueva tecnología podría hacer su impacto completo.

4.2.2 Simulaciones

a. El Escenario 1 se muestra en el Cuadro 11. Este supone que el área cultivada se expande en un 30 por ciento para el año de la simulación. Se supone que los rendimientos promedio por hectárea para los tres productos no se incrementan.

b. El Escenario 2 (Cuadro 12) tiene por objetivo mostrar el impacto de elevar la productividad a su potencial mediante el empleo de los nuevos materiales vegetativos. Para aislar este efecto, se supuso que el área cultivada de 1993 era idéntica a la de 1988.

c. Para el Escenario 3, que se aprecia en el Cuadro 13, se supuso que la nueva técnica permitía aumentar tanto el área cultivada (un 30 por ciento), como el rendimiento por hectárea.

4.2.3 Conclusiones

a. El Escenario 1 permite concluir que la expansión de estos cultivos puede tener un impacto muy apreciable sobre las exportaciones, pues una tasa conservadora de crecimiento, de sólo 30 por ciento en cuatro años, permite llevar el valor exportado a una cifra cercana a los US\$ 5 millones.

b. La segunda simulación muestra que si la nueva técnica de propagación del material vegetativo logra aumentar los rendimientos a niveles "normales" según el criterio de los técnicos, el valor de las exportaciones aumentaría de US\$ 3.7 a 6.0 millones. En

promedio, los tres productos aumentarían sus exportaciones en un 62 por ciento al aplicar la nueva tecnología. La productividad física por trabajador se elevaría en un 25 por ciento. Esto supone que la nueva técnica ni ahorra ni incrementa el número de trabajadores.

c. El efecto combinado de una ampliación moderada del área cultivada (30 por ciento) y del aumento de la productividad, permite elevar los ingresos por exportaciones en un 224 por ciento (US\$ 8.4 millones). De lograrse este impacto, con sólo tres de varios tubérculos que también podrían incluirse en el plan, el cambio técnico permitiría lograr un aporte sustancial en divisas, un aumento en la productividad por trabajador y una mejor situación para una gran cantidad de agricultores de la zona del trópico húmedo.

NOTAS

1 Del documento de Arias Peñate se seleccionaron datos, en forma quinquenal, para el período 1960-1985, de las siguientes variables: producción (Cuadro VI-1 p. 219), consumo (Cuadro VI-3, p. 223), consumo per cápita (Cuadro VI-4, p. 225), exportaciones (Cuadro VI-5, p. 225), y empleo (Cuadro VI-9, p. 231).

2 La forma de cálculo para generar, en el Cuadro 5, los datos de que no se disponía fue:

$(Q \cdot P + S \cdot A) / 2$, para cada uno de los respectivos años, donde:

Q y A son los índices ya indicados;

P = producción; y

S = superficie cultivada en ha.

CUADRO 1
CENTROAMERICA: PRODUCCION DE AZUCAR DE CAÑA
(miles de toneladas métricas)

PAIS	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1986/87
MUNDIAL		35,700.0	43,600.0	49,600.0	51,500.0	61,800.0	63,578.0
CENTROAMERICA	269.4	491.8	646.0	1,118.1	1,270.3	1,494.0	1,500.6
COSTA RICA	60.8	119.6	150.0	205.0	220.0	230.0	205.2
EL SALVADOR	49.9	103.5	117.1	244.0	217.0	278.9	277.2
GUATEMALA	73.4	138.3	185.0	384.1	452.2	500.0	574.2
HONDURAS	20.3	32.2	53.0	75.0	191.0	235.1	204.0
NICARAGUA	65.0	98.2	140.9	210.0	190.1	250.0	240.0

Fuente: Organización Internacional del Azúcar, Sugar Year Book, 1970 y 1985.

Tomado de J. Salvador Arias P., "Les Enjeux de la Biotechnologie dans la Production Agricole et Alimentaire de l'Amérique Centrale: le Cadre de la Canne à Sucre", Universidad de Paris III, 1987. Esta es la misma fuente para los Cuadros 1 a 5.

CUADRO 2
CENTROAMERICA: CONSUMO DE AZUCAR CENTRIFUGA
(miles de toneladas métricas)

PAIS	1960	1965	1970	1975	1980	1985
MUNDIAL	48,763.0	59,600.0	72,300.0	77,300.0	88,600.0	97,600.0
CENTROAMERICA	213.5	306.7	308.8	588.0	786.4	863.9
COSTA RICA	36.8	65.2	80.0	110.0	139.0	150.0
EL SALVADOR	43.0	52.9	67.8	118.1	155.0	159.3
GUATEMALA	69.3	101.1	123.0	193.9	255.7	280.0
HONDURAS	26.8	36.0	47.0	65.0	111.1	119.6
NICARAGUA	37.6	51.5	63.0	100.0	125.6	155.0

Fuente: Ver Cuadro 1

CUADRO 3
CENTROAMERICA: CONSUMO DE AZUCAR CENTRIFUGA PER CAPITA
 (kilogramos por año)

PAIS	1960	1965	1970	1975	1980	1985
MUNDIAL	16.1	18.0	20.0	19.6	20.2	20.2
CENTROAMERICA	19.1	27.2	29.0	37.9	41.7	40.3
COSTA RICA	31.4	43.8	46.0	55.8	62.1	62.5
EL SALVADOR	16.5	18.1	19.7	28.9	32.2	33.0
GUATEMALA	18.4	22.8	23.8	35.6	35.2	35.2
HONDURAS	13.7	16.3	18.2	21.4	38.4	27.4
NICARAGUA	25.6	31.1	31.7	46.3	46.5	47.5

Fuente: Ver Cuadro 1

CUADRO 4
CENTROAMERICA: EXPORTACIONES TOTALES DE AZUCAR CENTRIFUGA
 (miles de toneladas métricas)

PAIS	1960	1965	1970	1975	1980	1985
MUNDIAL	19,252.0	20,500.0	23,000.0	20,300.0	26,800.0	27,500.0
CENTRO AMERICA	71.9	145.4	258.3	532.5	477.1	460.4
COSTA RICA	20.0	38.0	68.4	101.9	81.8	78.0
EL SALVADOR	10.9	23.0	48.2	139.8	35.3	115.5
GUATEMALA	6.1	38.7	62.7	203.9	209.7	127.8
HONDURAS	n. d.	0.0	9.8	10.1	81.3	102.5
NICARAGUA	34.9	45.7	69.2	76.8	69.0	36.6

Fuente: Ver Cuadro 1

El dato de Costa Rica para 1985 fue modificado segun Informe de Labores LAICA, Período 86-87, Cuadro 10

CUADRO 5
CENTROAMERICA: EMPLEO EN LA PRODUCCION DE AZUCAR DE CAÑA
 (número de empleados promedio en el año)

PAIS	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1986/87
CENTROAMERICA	56,279.0	97,454.0	125,856.0	181,571.0	199,831.0	242,450.0	242,669.0
COSTA RICA	9,122.0	27,082.0	26,915.0	36,003.0	33,652.0	36,287.0	34,219.0
EL SALVADOR	9,097.0	20,381.0	27,145.0	40,640.0	34,667.0	45,372.0	45,233.0
GUATEMALA	18,627.0	25,245.0	33,019.0	57,858.0	68,852.0	83,931.0	89,729.0
HONDURAS	4,424.0	5,948.0	9,859.0	13,867.0	31,629.0	35,776.0	33,242.0
NICARAGUA	15,008.0	18,798.0	28,918.0	33,203.0	31,031.0	41,084.0	40,246.0

Fuente: Ver Cuadro 1

Los datos para los años 1960-1985 son estimaciones; ver metodología en el texto.

CUADRO 6
CENTROAMERICA: AZUCAR DE CAÑA Y SUS PRINCIPALES VARIABLES
Escenario 1

RUBRO	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1986/87	1990	1995	2000
PRODUCCION mil tm	269.4	491.8	646.0	1,118.1	1,270.3	1,494.0	1,500.6	1,531.3	1,562.0	1,585.4
EMPLEO # personas	56,278.5	97,453.7	125,856.0	181,571.1	199,831.0	242,450.3	242,669.0	246,992.0	247,933.0	247,720.0
CONSUMO mil tm	213.5	306.7	380.8	588.0	786.4	863.9	0.0	950.3	1,045.3	1,149.9
PER CAPITA k/año	19.1	27.2	29.0	37.9	41.7	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0
EXPORT. mil tm	71.9	145.4	258.3	532.5	477.1	460.4	0.0	368.3	276.2	165.7
CONS + EXP	285.4	452.1	639.1	1,120.5	1,263.5	1,324.3	0.0	1,318.6	1,321.6	1,315.6
CONS/PROD %	79.3	62.4	58.9	52.6	61.9	57.8	0.0	62.1	66.9	72.5
EXP/PROD %	26.7	29.6	40.0	47.6	37.6	38.8	0.0	24.1	17.7	10.5
(CONS+EXP)/PROD %	105.9	91.9	98.9	100.2	99.5	88.6	0.0	86.1	84.6	83.0
tm / empleado	4.8	5.0	5.1	6.2	6.4	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4

Fuente: Cálculos propios y ver Cuadro 1

CUADRO 7
CENTROAMERICA: AZUCAR DE CAÑA Y SUS PRINCIPALES VARIABLES
Escenario 2

RUBRO	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1986/87	1990	1995	2000
PRODUCCION mil tm	269.4	491.8	646.0	1,118.1	1,270.3	1,494.0	1,500.6	1,388.0	1,391.1	1,384.8
EMPLEO # personas	56,279.0	97,454.0	125,856.0	181,571.0	199,831.0	242,450.0	242,669.0	223,872.0	220,811.0	216,380.0
CONSUMO mil tm	213.5	306.7	380.8	588.0	786.4	863.9	0.0	950.3	1,045.3	1,149.9
PER CAPITA k/año	19.1	27.2	29.0	37.9	41.7	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0
EXPORT. mil tm	71.9	145.4	258.3	532.5	477.1	460.4	0.0	368.3	276.2	165.7
CONS + EXP	285.4	452.1	639.1	1,120.5	1,263.5	1,324.3	0.0	1,318.6	1,321.6	1,315.6
CONS/PROD %	79.3	62.4	58.9	52.6	61.9	57.8	0.0	68.5	72.1	83.0
EXP/PROD %	26.7	29.6	40.0	47.6	37.6	30.8	0.0	26.5	19.9	12.0
(CONS+EXP)/PROD %	105.9	91.9	98.9	100.2	99.5	88.6	0.0	95.0	95.0	95.0
tm / empleado	4.8	5.0	5.1	6.2	6.4	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4

Fuente: Cálculos propios y ver Cuadro 1

CUADRO 8
CENTROAMERICA: AZUCAR DE CAÑA Y SUS PRINCIPALES VARIABLES
ESCENARIO 3

RUBRO	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1986/87	1990	1995	2000
PRODUCCION mil tm	262.4	491.8	646.0	1,118.1	1,270.3	1,494.0	1,500.6	1,388.0	1,333.0	1,384.8
EMPLEO # personas	56,279.0	97,454.0	125,856.0	181,571.0	199,831.0	242,450.0	242,669.0	223,872.0	211,580.0	216,380.0
CONSUMO mil tm	213.5	306.7	380.8	588.0	786.4	863.9	0.0	950.3	1,045.3	1,149.9
PER CAPITA k/año	19.1	27.2	29.0	37.9	41.7	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0
EXPORT. mil tm	71.9	145.4	258.3	532.5	477.1	460.4	0.0	368.3	221.0	165.7
CONS + EXP	285.4	452.1	639.1	1,120.5	1,263.5	1,324.3	0.0	1,318.6	1,266.3	1,315.6
CONS/PROD %	79.3	62.4	58.9	52.6	61.9	57.8	0.0	68.5	78.4	83.0
EXP/PROD %	26.7	29.6	40.0	47.6	37.6	30.8	0.0	26.5	16.6	12.0
(CONS+EXP)/PROD %	105.9	91.9	98.9	100.2	99.5	88.6	0.0	95.0	95.0	95.0
tm / empleado	4.8	5.0	5.1	6.2	6.4	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4

Fuente: Cálculos propios y ver Cuadro 1

CUADRO 9
CENTROAMERICA: AZUCAR DE CAÑA Y SUS PRINCIPALES VARIABLES
ESCENARIO 4

RUBRO	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1986/87	1990	1995	2000
PRODUCCION mil tm	269.4	491.8	646.0	1,118.1	1,270.3	1,494.0	1,500.6	1,291.1	1,318.4	1,384.8
EMPLEO # personas	56,279.0	97,454.0	125,856.0	181,571.0	199,831.0	242,450.0	242,669.0	208,239.0	209,272.0	216,380.0
CONSUMO mil tm	213.5	306.7	380.8	588.0	786.4	863.9	0.0	950.3	1,045.3	1,149.9
PER CAPITA k/año	19.1	27.2	29.0	37.9	41.7	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0
EXPORT. mil tm	71.9	145.4	258.3	532.5	477.1	460.4	0.0	276.2	207.2	165.7
CONS + EXP	285.4	452.1	639.1	1,120.5	1,263.5	1,324.3	0.0	1,226.5	1,252.5	1,315.6
CONS/PROD %	79.3	62.4	58.9	52.6	61.9	57.8	0.0	73.6	79.3	83.0
EXP/PROD %	26.7	29.6	40.0	47.6	37.6	30.8	0.0	21.4	15.7	12.0
(CONS+EXP)/PROD %	105.0	91.9	98.9	100.2	99.5	88.6	0.0	95.0	95.0	95.0
tm / empleado	4.8	5.0	5.1	6.2	6.4	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4

Fuente: Cálculos propios y ver Cuadro 1

CUADRO 10
CENTROMERICA: AZUCAR DE CAÑA Y SUS PRINCIPALES VARIABLES
ESCENARIO 5

RUBRO	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1986/87	1990	1995	2000
PRODUCCION mil tm	269.4	491.8	646.0	1,118.1	1,270.3	1,494.0	1,500.6	1,363.8	1,336.6	1,328.5
EMPLEO # personas	56,279.0	97,454.0	125,856.0	181,571.0	199,831.0	242,450.0	242,669.0	219,963.0	212,157.0	207,578.0
CONSUMO mil tm	213.5	306.7	380.8	588.0	786.4	863.9	0.0	950.3	1,045.3	1,149.9
PER CAPITA k/año	19.1	27.2	29.0	37.9	41.7	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0
EXPORT. mil tm	71.9	145.4	258.3	532.5	477.1	460.4	0.0	345.3	224.4	112.2
CONS + EXP	285.4	452.1	639.1	1,120.5	1,263.5	1,324.3	0.0	1,295.6	1,269.8	1,262.1
CONS/PROD %	79.3	62.4	58.9	52.6	61.9	57.8	0.0	69.7	78.2	86.6
EXP/PROD %	26.7	29.6	40.0	47.6	37.6	30.8	0.0	25.3	16.8	8.4
(CONS+EXP)/PROD %	105.9	91.9	98.9	100.2	99.5	88.6	0.0	95.0	95.0	95.0
tm / empleado	4.8	5.0	5.1	6.2	6.4	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4

Fuente: Cálculos propios y ver Cuadro 1

CUADRO 11
COSTA RICA: PRODUCCION DE TUBERCULOS
Escenario 1

	1987	1988	1993
TIQUISQUE			
Area cultivada (ha)	271.80	353.34	459.34
Rendimiento promedio (tm/ha)	7.00	7.00	7.00
Producción estimada (tm)	1,902.60	2,473.38	3,215.39
Empleo (# personas)	95.13	123.67	160.77
Exportaciones (tm)	1,141.56	1,484.03	1,929.24
Exportaciones (miles \$)	1,369.87	1,780.83	2,315.08
	1987	1988	1993
RAMPI			
Area cultivada (ha)	233.45	303.49	396.53
Rendimiento promedio (tm/ha)	7.00	7.00	7.00
Producción estimada (tm)	1,634.15	2,124.39	2,761.71
Empleo (# personas)	56.03	72.84	94.69
Exportaciones (tm)	980.49	1,274.64	1,657.03
Exportaciones (miles \$)	1,176.59	1,529.56	1,988.43
	1987	1988	1993
RAME			
Area cultivada (ha)	40.92	53.20	69.15
Rendimiento promedio (Tm/ha)	11.00	11.00	11.00
Producción estimada (tm)	450.12	585.16	760.70
Empleo (# personas)	9.41	12.24	15.91
Exportaciones (tm)	270.07	351.09	456.42
Exportaciones (miles \$)	324.09	421.31	547.71
	1987	1988	1993
TOTAL TRES PRODUCTOS			
Area cultivada (ha)	546.17	710.02	923.03
Producción estimada (tm)	3,986.87	5,182.93	6,737.81
Empleo (# personas)	160.57	208.74	271.36
Exportaciones (miles \$)	2,870.55	3,731.71	4,851.22

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Encuesta Nacional sobre Tubérculos, BCCR y cálculos propios.

CUADRO 12
COSTA RICA: PRODUCCION DE TUBERCULOS
Escenario 2

	1987	1988	1993
TIQUISQUE			
Area cultivada (ha)	271.80	353.34	353.34
Rendimiento promedio (tm/ha)	7.00	7.00	12.00
Producción estimada (tm)	1,902.60	2,473.38	4,240.08
Empleo (# personas)	95.13	123.67	123.67
Exportaciones (tm)	1,141.56	1,484.03	2,544.05
Exportaciones (miles \$)	1,369.87	1,780.83	3,052.86
	1987	1988	1993
RAMPI			
Area cultivada (ha)	233.45	303.49	303.49
Rendimiento promedio (tm/ha)	7.00	7.00	10.50
Producción estimada (tm)	1,634.15	2,124.39	3,186.59
Empleo (# personas)	56.03	72.84	72.84
Exportaciones (tm)	980.49	1,274.64	1,911.96
Exportaciones (miles \$)	1,176.59	1,529.56	2,294.35
	1987	1988	1993
RAME			
Area cultivada (ha)	40.92	53.20	53.20
Rendimiento promedio (TM/ha)	11.00	11.00	16.50
Producción estimada (TM)	450.12	585.16	877.73
Empleo (# personas)	9.41	12.24	12.24
Exportaciones (TM)	270.07	351.09	526.64
Exportaciones (miles \$)	324.09	421.31	631.97
	1987	1988	1993
TOTAL TRES PRODUCTOS			
Area cultivada (ha)	546.17	710.02	710.02
Producción estimada (tm)	3,986.87	5,182.93	8,304.41
Empleo (# personas)	160.57	208.74	208.74
Exportaciones (miles \$)	2,870.55	3,731.71	5,979.17

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Encuesta Nacional sobre Tubérculos, BCCR y cálculos propios.

CUADRO 13
COSTA RICA: PRODUCCION DE TUBERCULOS
Escenario 3

	1987	1988	1993
TIQUISQUE			
Area cultivada (ha)	271.80	353.34	459.34
Rendimiento promedio (tm/ha)	7.00	7.00	12.00
Producción estimada (tm)	1,903	2,473	5,512
Empleo (# personas)	95	124	161
Exportaciones (tm)	1,142	1,484	3,307
Exportaciones (miles \$)	1,369.87	1,780.83	3,968.71
	1987	1988	1993
RAMPÍ			
Area cultivada (ha)	233.45	303.49	394.53
Rendimiento promedio (tm/ha)	7.00	7.00	12.00
Producción estimada (tm)	1,634.15	2,124	4,734
Empleo (# personas)	56	73	95
Exportaciones (tm)	980	1,275	2,841
Exportaciones (miles \$)	1,176.59	1,529.56	3,408.74
	1987	1988	1993
RAME			
Area cultivada (ha)	40.92	53.20	69.15
Rendimiento promedio (tm/ha)	11.00	11.00	20.00
Producción estimada (tm)	450	585	1,383
Empleo (# personas)	9	12	16
Exportaciones (TM)	270	351	830
Exportaciones (miles \$)	324.09	421.31	995.83
	1987	1988	1993
TOTAL TRES PRODUCTOS			
Area cultivada (ha)	546.17	710.021	923.0273
Producción estimada (tm)	3,987	5,183	11,630
Empleo (# personas)	161	209	271
Exportaciones (miles \$)	2,870.55	3,731.71	8,373.29

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Encuesta Nacional sobre Tubérculos, BCCR y cálculos propios.

REFERENCIAS

- ARIAS PEÑATE, J.S. 1987. Enjeux de la Biotechnologie dans la Production Agricole et Alimentaire de l'Amérique Centrale: Le Cadre de la Canne a Sucre", Universidad de París III.
- BUTTEL, F.H. 1987. Biotechnology and the future of agricultural research and development in Latin America and the Caribbean".
- CAMARA NACIONAL DE AGRICULTURA Y AGROINDUSTRIA. 1987. "Perfil de factibilidad del proyecto de araceas". San José, (Mimeo.), 1987.
- CAMARA NACIONAL DE AGRICULTURA Y AGROINDUSTRIA. 1987. "Perfil de factibilidad del proyecto de ñame". San José, (Mimeo.).
- CONGRESS OF THE UNITED STATES, Office of Technology Assessment 1984. "Commercial biotechnology: an international analysis". Washington, D.C.
- DEMBO, D.; DIAZ, C.; MOREHOUSE, W. 1987. "Biotechnology and the Third World: Caveat Emptor". **Development: Seeds of Change**. 1987, No.4.
- GROSSMAN, T. 1987. "Seed Industry Development in North-South Perspective". **Development: Seeds of Change**. 1987, No.4.
- HANSEN, M; Busch, L.; Burkhardt, J.; Lacy, W.B.; Lacy, L.R. 1986. "Plant Breeding and Biotechnology". **Bioscience.**, No.36.
- KENNEY, M. 1986 Biotechnology: The University-Industrial Complex, University Press, New Haven, EE. UU.
- KENNEY, M. 1987. "The University in the Information Age: Biotechnologies and the Less Developed Countries". **Development: Seeds of Change**. 1987, No.4.
- KENNEY, M.; KLOPPENBURG JR.; J. BUTTEL, F.H.; COWAN, T.J. s/f. "Genetic engineering and agriculture: socioeconomic aspects of biotechnology R. and D. in developed and developing countries". Universidad de Cornell (Mimeo.).
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. COSTA RICA. 1987. Encuesta sobre tubérculos. Estimación preliminar.
- QUINTERO RAMIREZ. 1987 Reporte Final sobre Diagnóstico de Oportunidades y Plan Preliminar en el Area de Biotecnología a Cinco Años. Ministerio de Ciencia y Tecnología, San José (mimeo.).

- RODRIGUEZ, E. 1988. **Encrucijada y futuro de Costa Rica**. CEDAL. San José.
- SVARSTAD, H. 1987. "Biotechnology: Consequences for West- African Countries of Cocoa Smallholders". **Development: Seeds of Change**. 1987, No.4.
- VENKATARAM, K. 1987. "Biotechnology for development: the hard road to fulfilment". **Development and South-South Cooperation**. Vol.3, No.5, 1987.
- WARHUST, A. 1987. "New Directions for Policy Research: biotechnology and natural resources" **Development: Seeds of Change**. 1987, No.4.
- WEISLEDER, S. 1986. "Crisis, Educación e Industria". *La Nación*, Página 15. Julio, 1986.
- ZELEDON, R. 1988. "Significado de la nueva biotecnología para América Latina y el Caribe". Presentado ante el "Grupo de Estudio Interamericano de la Nueva Biotecnología en Agricultura y Salud", Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, 26-29 de enero, 1988.

DIAGNOSTICO DE LAS AGROBIOTECNOLOGIAS EN AMERICA CENTRAL

Walter Jaffé C.*

INTRODUCCION

Uno de los requisitos básicos para la formulación de políticas y estrategias en biotecnología que propendan al desarrollo agropecuario de Centroamérica es el conocimiento y valoración adecuada de las capacidades y la experiencia existentes en esta materia. Con el propósito de conocer la situación actual en el tema, se realizó un estudio de las agrobiotecnologías en cinco países de la región (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua); para ello se recolectó la información disponible en la materia, la cual fue completada mediante una encuesta diseñada al efecto. Estudios previos sobre la situación de las biotecnologías en Centroamerica han sido realizados por Roca *et al.*, en el marco de un estudio que abarcó toda América Latina y el Caribe (Roca *et al.*, 1986); por el Programa Seguridad Alimentaria del Istmo Centroamericano (Arias P., 1987); por Oscar Arias M., en Costa Rica (Arias M., 1987); por el Consejo Nacional de Planificación Económica para Guatemala (Urbina y Girón, 1987) y por el CONICIT para Costa Rica (Rojas E., 1988). La encuesta diseñada para este estudio incluyó cuestionarios dirigidos a organizaciones de investigación y desarrollo, empresas productivas, programas de capacitación y políticas de desarrollo científico y tecnológico. Fue enviada en setiembre de 1988 a las unidades de análisis identificadas, con base en los estudios previos reseñados y entrevistas a personas claves en cada país.

ASPECTOS CONCEPTUALES Y METODOLOGICOS

Conceptos utilizados

Para fines del estudio, se entiende como **capacidades tecnológicas** el conjunto de capacidades requeridas para seleccionar, usar, reproducir, modificar y crear tecnologías, con fines productivos o para la generación de nuevos conocimientos y tecnologías.

Esta definición refleja el objetivo general del estudio: apoyar la definición de políticas y estrategias de desarrollo de las biotecnologías agropecuarias, en función de objetivos económicos y sociales más globales. Dicha definición establece diferencia entre los ámbitos de la aplicación y uso de la tecnología (producción

* Especialista en Generación y Transferencia de Tecnología, IICA.

y comercialización), y de la generación de conocimientos y tecnologías (investigación y desarrollo). El primero corresponde a lo que se ha llamado "Bio-science-based industry", es decir la industria o empresa que utiliza biotecnologías en sus procesos productivos; el segundo equivale a la investigación y desarrollo en biotecnologías (UNIDO, 1986).

Para el desarrollo de capacidades de producción y comercialización, teóricamente se requiere capacidad de investigación y desarrollo. Detrás de cada producto o proceso se encuentra, en última instancia, una idea y un conocimiento determinado, que en la industria moderna es generado por la investigación y luego es desarrollado en unidades de producción y comercialización, y llega a constituir una innovación en el mercado.

Las capacidades requeridas pueden estar localizadas en diversas unidades e inclusive en distintos países; la existencia de una capacidad en uno de los ámbitos no implica necesariamente que exista en el otro.

De hecho, algunos países han desarrollado avanzadas capacidades de investigación básica, por ejemplo, pero no han podido integrarlas a sus esfuerzos de industrialización.

Esos dos niveles de capacidades dependen, a su vez, para su sostenimiento y desarrollo, de varias capacidades complementarias. La capacidad de formación de recursos humanos garantiza el suministro del personal requerido, tanto en cantidad como en calidad. La capacidad de información y documentación permitir mantener el acceso a la información y documentación científica, tecnológica y comercial necesaria, tanto para la investigación como para la producción. Esta capacidad es de crucial importancia en el área de las biotecnologías, debido a la rapidez del avance científico y de los cambios tecnológicos (UNIDO, 1986).

Asimismo, el desarrollo y mantenimiento de esas capacidades a nivel de las organizaciones requiere planificación, coordinación y apoyo a nivel nacional. Ello se expresa en políticas y estrategias de desarrollo en el área de las biotecnologías agropecuarias, que se basan en la correspondiente capacidad de formular y ejecutar políticas nacionales de investigación y desarrollo, y de desarrollo económico.

El concepto de **biotecnologías agropecuarias** que se utiliza en este estudio incluye todas las tecnologías biológicas aplicables a la producción y a la investigación y desarrollo agropecuarios, basadas en la biología celular y molecular modernas, bien sea directamente en el campo o indirectamente en la producción de insumos agropecuarios y en el procesamiento agroindustrial.

Las áreas de investigación y tecnologías en cuestión pueden ser agrupadas en las siguientes categorías propuestas por Roca (Roca et al., 1986), ampliadas para este estudio.

Area de Investigación	Tecnología
Molecular	ADN recombinante; aislamiento, caracterización y clonaje de genes; hibridización de ácidos nucleicos; transferencia de genes; manipulación de plásmidos; regulación y expresión génica.
Citogenética	Cariotipos; mapas genéticos; heredabilidad; mutación.
Celular	Cultivo de células vegetales, de protoplastos, de meristemas y yemas, de anteras y óvulos; cultivo y transferencia de óvulos y embriones animales.
Bioquímica	Purificación y separación de proteínas y ácidos nucleicos; biosíntesis de metabolitos secundarios; síntesis de ácidos nucleicos o péptidos.
Inmunología	Anticuerpos monoclonales; pruebas inmunológicas/ anticuerpos policlonales; bioproducción de vacunas.
Radioisótopos	Irradiación/mutagénesis; sondas marcadas; radioinmunoanálisis.
Ingeniería bioquímica	Tecnologías enzimáticas; fermentaciones sumergidas y sólidas; separación y purificación de proteínas.
Ecología	Control biológico; ecología microbial; asociación microorganismo/planta; producción de inoculantes.

Unidades de análisis

Cada una de las capacidades identificadas como importantes para el desarrollo de las biotecnologías agropecuarias en un país determinado reside en individuos, organizaciones o en la combinación de algunos de ellos.

En el Cuadro 1 se presentan las unidades de análisis correspondientes a cada capacidad, que a continuación se analizan individualmente.

La unidad de análisis básica de la capacidad de investigación y desarrollo debe ser el grupo de investigación, más que el investigador individual, dado el carácter colectivo y multidisciplinario de la ciencia y la tecnología modernas. Las áreas de investigación y desarrollo que caen bajo la categoría de biotecnologías, en particular, requieren para su efectivo desarrollo enfoques multidisciplinarios que incluyan, por ejemplo, la biología molecular, la bioquímica, la inmunología, la microbiología, la ingeniería bioquímica, etc. En ese sentido, es común hablar de una masa crítica de recursos humanos requerida para un esfuerzo de investigación efectivo (UNIDO, 1986).

Estos grupos de investigación y desarrollo están ubicados en centros de investigación, en universidades y otros organismos de educación superior y en empresas productivas.

CUADRO 1

**CAPACIDADES TECNOLOGICAS EN BIOTECNOLOGIAS AGROPECUARIAS
Y SUS RESPECTIVAS UNIDADES DE ANALISIS**

CAPACIDADES	UNIDADES DE ANALISIS
Investigación y desarrollo	-Grupos de investigación.
Producción y comercialización	-Empresas que utilizan biotecnologías en sus procesos productivos.
Formación de recursos humanos	-Programas de pregrado. -Programas de postgrado. -Cursos de capacitación un servicio.
Formulación y ejecución de políticas de ciencia y tecnología	-Organismos de Política. -Programas nacionales de I y D en biotecnologías.

La capacidad de producción y comercialización de productos y procesos basados en biotecnologías agropecuarias se localiza en unidades organizativas, que pueden clasificarse en empresas de producción agropecuaria o agroindustrial y empresas fabricantes de insumos para esa producción. Estas últimas revisten particular importancia en el caso de las biotecnologías, pues los insumos constituyen una de las vías más importantes para que las innovaciones tecnológicas se incorporen a la producción agropecuaria.

Los recursos humanos requeridos para la I y D y para la producción en el área de las biotecnologías agropecuarias son, básicamente, profesionales universitarios capacitados en las áreas de la biología molecular, microbiología industrial e ingeniería bioquímica, tanto a nivel de pregrado como de postgrado. Asimismo, tienen fundamental importancia los cursos de actualización o entrenamiento en servicio, debido al rápido ritmo de desarrollo de esas disciplinas. Las unidades de análisis correspondientes a esta capacidad son, en consecuencia, los programas de formación de recursos humanos en estas áreas, a nivel de pre y postgrado, y los programas de actualización y capacitación en servicios.

La capacidad de planificar, coordinar y promover la I y D en general, y en particular en el campo de las biotecnologías agropecuarias, requiere la existencia de algún organismo o instancia responsable de esas funciones. Las unidades de análisis correspondientes, serían entonces esos organismos o instancias, así como los programas específicos de política de I y D que existan.

RESULTADOS

Capacidades de investigación y desarrollo

En el estudio realizado se identificó un total de 26 organizaciones que realizan I y D en agrobiotecnologías en Centroamérica (Cuadro 2). Aproximadamente la mitad de ellas (12) son del sector universitario; el resto se distribuye entre las organizaciones públicas de investigación agropecuaria, las empresas productivas y los centros internacionales y regionales. Doce de ellas se localizan en Costa Rica y 7 en Guatemala, lo cual representa el 73% del total; ello indica un desarrollo relativo más avanzado en esos dos países, circunstancia que se confirma al analizar la distribución de los recursos humanos en I y D por países (Cuadro 3), que señala que en ellos se concentra el 85.5% de esas organizaciones. Asimismo, se encuentran en ellos el 93.2% de los investigadores con postgrado (PhD y MSc) en el área de las agrobiotecnologías.

Recursos humanos

La capacidad de I y D medida en términos de recursos humanos se localiza fundamentalmente en las universidades y centros internacionales y regionales, que emplean el 79.3% del personal dedicado a esta actividad (Cuadro 4). Se destaca la debilidad de las organizaciones públicas de investigación agrícola, así como de las empresas productivas, que disponen del 20.7% del personal total empleado y sólo del 5.1% del personal con postgrado.

De la comparación de la distribución del número de organizaciones con la distribución del personal por tipo de organizaciones surge una mayor calificación de la importancia de las mismas. Pueden comprobarse que, a pesar de que los centros internacionales y regionales representan el 13.3% del total de organizaciones, cuentan con el 31.1% del personal y el 37.9% de los investigadores con postgrado. Ello pone de relieve la mayor concentración de recursos en este tipo de organización frente a una mayor dispersión en el sector universitario.

Recursos financieros y físicos

En el Cuadro 5 se presenta la información correspondiente a los recursos financieros y físicos dedicados a I y D en agrobiotecnologías. De su análisis se desprende que, en términos generales, las universidades están relativamente bien equipadas pero disponen de presupuestos operativos y áreas de laboratorio menores que los centros internacionales y regionales; las organizaciones públicas de investigación agrícola ocupan una posición intermedia en esos aspectos.

Tecnologías y organismos

En los Cuadros 6 y 7 se muestra que la más difundida de las tecnologías incluidas en la encuesta es el cultivo de meristemas y yemas, utilizado en un total de 11 organizaciones, de las cuatro categorías establecidas, en tareas de I y D en todos los países estudiados. Le siguen en importancia el control biológico, y el cultivo de células vegetales, con siete instituciones; las técnicas de purificación y separación de proteínas y ácidos nucleicos (seis) y las pruebas inmunológicas y las técnicas enzimáticas, con cinco cada una. Por el contrario, las tecnologías menos difundidas son las más complejas y costosas, tales como el ADN recombinante, el aislamiento y clonaje de genes, el mapeo genético, el cultivo de protoplastos, las sondas marcadas y el radioinmunoanálisis. La mayoría de estas tecnologías son utilizadas únicamente en una organización universitaria, ubicada en Costa Rica. Las empresas productivas únicamente utilizan en I y D las técnicas celulares, lo cual es congruente con su aplicación a corto plazo y su bajo costo. Las universidades presentan las capacidades más amplias en cuanto

al tipo de tecnologías utilizadas, seguidas por los centros internacionales y regionales.

Las frutas tropicales son los organismos más estudiados en la región, seguidas por las especies procesadas industrialmente y luego los hongos, las bacterias y las raíces y tubérculos (Cuadro 8). Las especies individuales más frecuentemente estudiadas son la caña de azúcar, el banano, el frijol y los rhizobium.

Es interesante destacar la orientación de la investigación en agrobiotecnologías, en el área vegetal, hacia los cultivos industriales y de exportación. De hecho, 18 de las organizaciones de la muestra estudian ese tipo de cultivos frente a 10 que estudian cultivos alimenticios básicos tales como raíces y tubérculos, leguminosas y cereales. Se destaca particularmente el poco interés del maíz como problema a estudiar con biotecnologías, a pesar de ser un cultivo básico para las economías de la región; al respecto se identificó únicamente un estudio sobre una patología.

Existe una definida correlación entre los recursos disponibles y las tecnologías utilizadas; las tecnologías de mayor complejidad y exigencia en cuanto a equipos e infraestructura son utilizadas sólo por las organizaciones que tienen un nivel mínimo crítico de recursos. En la muestra estudiada ese nivel está al menos en 4 PhD o 10 MSc, más de US\$ 100 000 de inversión en equipos y más de 200 m² de laboratorios para las tres instituciones que utilizan las tecnologías moleculares. En el caso de la tecnología de anticuerpos monoclonales, el nivel mínimo está en 3 PhD en cuanto a investigadores se refiere.

Concentración de recursos

Los índices de capacidades hasta aquí examinados son indicadores cuantitativos que no reflejan aspectos cualitativos ni de productividad. Una manera de aproximarse a esos aspectos, con los datos disponibles, es examinar la concentración de recursos en líneas de investigación específicas, partiendo del supuesto de que una mayor concentración de recursos dará una mayor cantidad de resultados, de mejor calidad y en menor tiempo. Aunque no se acepte ese supuesto, está claro que en el campo de las biotecnologías, debido a su carácter multidisciplinario, es necesaria la interacción de varios investigadores en función de una línea y estrategia de investigación determinadas; en tal sentido, un índice de concentración de recursos humanos puede ayudar a caracterizar la situación. Con esa finalidad, se construyó un índice de este tipo; se calculó el número de investigadores con postgrado por organización y por línea de investigación existente. Los datos presentados en el Cuadro 9 indican que los centros internacionales y regionales presentan el índice más alto,

aproximadamente 2 investigadores por línea. El resto de las organizaciones tienen índices bajos: alrededor de un investigador por línea de investigación, en promedio. Cuatro organizaciones universitarias presentan índices menores que uno, lo cual significa que un investigador participa en más de una línea de investigación. Algunas organizaciones públicas de investigación agropecuaria y empresas productivas no tienen investigadores con postgrado.

Empresas que utilizan agrobiotecnologías en Centroamérica

En la presente investigación se identificaron 16 empresas que utilizan comercialmente agrobiotecnologías; se presentan algunas de sus características en el Cuadro 10.

La mitad de ellas están ubicadas en Costa Rica. En cuanto al capital, existe mayor cantidad de empresas de capital privado (nueve) que público (seis) y una es una asociación de productores. Seis de estas empresas exportan su producción y ocho realizan investigación, bien sea en sus propias facilidades o contratadas. Es decir, la mitad de estas empresas pueden ser calificadas como empresas avanzadas que buscan la innovación tecnológica y producen para un mercado de exportación con exigencias de calidad y competitividad altas.

El 68% de esas empresas son de insumos y servicios agropecuarios, lo cual confirma la importancia de este sector para las agrobiotecnologías. Pero también se identificaron tres empresas de producción agropecuaria y dos agroindustrias integradas que están aplicando comercialmente agrobiotecnologías. La mayoría de las empresas (el 56.2%) utiliza la tecnología del cultivo de tejidos; la tecnología más difundida a continuación es el trasplante de embriones (25%) y se identificaron, asimismo, dos empresas que utilizan la bioproducción de vacunas y una los anticuerpos policlonales. Es decir que el 43.7% de las empresas están en el área de la producción y salud animal.

Capacidades educativas

Para determinar las capacidades educativas en el área de las agrobiotecnologías se identificaron en primera instancia aquellas carreras de pregrado que imparten, aún parcialmente, una formación básica indispensable para el desarrollo de capacidades de I y D y de producción en biotecnologías, en materias tales como la bioquímica y la genética, además de materias más directamente relacionadas con ella, como la biología molecular y la inmunología. Mediante el análisis de los planes de estudio de esas carreras se determinó el porcentaje del tiempo total de estudios dedicados a las materias mencionadas.

Tal como se puede ver en el Cuadro 11, se identificaron un total de 11 carreras de este tipo en las áreas de agronomía, veterinaria

y biología; presentan diversos énfasis en las materias relacionadas con la biotecnología. Se destaca que la mayoría de las carreras de agronomía y veterinaria dedican un porcentaje relativamente bajo a esas materias, en general alrededor del 6%, con dos excepciones que tienen el 12% y el 16%. La única carrera de pregrado que puede calificarse como perteneciente al área de biotecnología es la de Biociencia de la Universidad de Costa Rica, que en sus especialidades de Genética y Genética Humana dedica un 30% del tiempo a materias de biotecnología.

En cuanto a los postgrados, se identificaron dos cursos de nivel de maestría, diseñados como de especialización en biotecnologías, y otro relacionado indirectamente, de especialización en control biológico de plagas. Los dos cursos de especialización son experiencias muy recientes que aún no han producido graduados.

Los cursos de capacitación en servicio son especialmente importantes para la difusión rápida de las distintas tecnologías que integran la biotecnología. Son dictados regularmente en la región en tres de las organizaciones más avanzadas en cuanto a capacidades de I y D.

Política de ciencia y tecnología

La correcta articulación de las distintas capacidades requeridas para el aprovechamiento de las oportunidades de desarrollo económico y social que ofrecen las biotecnologías, así como el atenuamiento de sus potenciales impactos negativos, exige la existencia de políticas de desarrollo científico, tecnológico, industrial y agrícola coherentes, así como de sus estrategias correspondientes.

En el Cuadro 12 se presenta información resumida sobre las políticas de ciencia y tecnología en la región. Sólo Costa Rica tiene una política de este tipo, que incluye componentes de fomento científico y de desarrollo tecnológico.

En cuanto a políticas específicas de desarrollo de las biotecnologías, existen iniciativas recientes en este sentido tanto en Costa Rica como en Guatemala. Ambas se centran en la constitución de una Comisión Nacional de Biotecnologías, así como la realización de diagnósticos y la formulación de estrategias. Es interesante destacar que ambas tienen su origen en el Proyecto Regional de Biotecnologías, actividad conjunta de UNESCO y ONUDI.

CONCLUSIONES

A título de conclusiones se presentan, a continuación, las características generales más destacadas de la agrobiotecnología en Centroamérica.

Significativo desarrollo de las agrobiotecnologías

En Centroamérica se cuenta en estos momentos con una significativa capacidad de investigación y desarrollo en el campo de las agrobiotecnologías, que incluye el uso de tecnologías moleculares y celulares de avanzada en cuatro instituciones. En el ámbito productivo existe igualmente un pequeño número de empresas que están utilizando agrobiotecnologías, en este caso aquellas más desarrolladas y sencillas de utilizar y que no involucran una alta inversión en equipos. Por otro lado, se identificaron iniciativas en dos países en cuanto a la formulación e implementación de políticas de desarrollo en esta área.

Insuficientes recursos humanos de alto nivel

En términos generales se constata un insuficiente número de recursos humanos de alto nivel, particularmente en las organizaciones públicas de investigación agrícola y en El Salvador, Honduras y Nicaragua. Muchos grupos universitarios cuentan únicamente con un solo investigador con nivel de postgrado, lo cual es incompatible con una actividad de I y D productiva.

Únicamente cuatro organizaciones tienen cuatro o más PhD o MSc en el área de biotecnologías; tal cantidad puede considerarse como una masa crítica mínima de investigadores.

Desbalance regional e institucional

Las capacidades de I y D se concentran en dos países de la región y en las universidades y centros de investigación internacionales y regionales, en contraposición a la debilidad que presentan las organizaciones públicas de investigación agrícola y los tres países restantes.

Incipiente desarrollo productivo

Las empresas que utilizan biotecnologías en América Central son pocas y, en su gran mayoría, llevan un corto tiempo incursionando en esta área. Están involucradas sobre todo en la propagación clonal de plantas, la transferencia de embriones bovinos y la producción de zooterápicos.

Dispersión de esfuerzos

Los esfuerzos que se realizan en agrobiotecnología en la región son dispersos, particularmente en el caso de la I y D en las universidades y organizaciones públicas de investigación agrícola, pues se acometen con insuficientes recursos

demasiadas líneas de investigación. Ello, presumiblemente, se refleja en la productividad y la calidad de las investigaciones, en la posibilidad de su traslado al sector productivo y, en consecuencia, en su impacto sobre la economía y la sociedad en general.

Orientación hacia cultivos industriales y de exportación

Las prioridades de investigación, al menos en el sector vegetal, están orientadas hacia la exportación y la agroindustria; se constata un énfasis relativamente menor en los cultivos alimentarios básicos tradicionales de la región, tales como cereales, leguminosas y raíces y tubérculos.

Alta dependencia internacional

La fuerte presencia de los centros internacionales y regionales en Centroamérica que concentran un elevado porcentaje de las capacidades de I y D, indica la existencia de una alta dependencia en agrobiotecnología en la región. Esta situación se presenta también en muchos grupos de investigación universitarios y en otro tipo de instituciones, en lo que se refiere a presupuestos operativos e inversiones en equipos. Se puede afirmar, en consecuencia, que la economía regional no es capaz de soportar el nivel actual de inversión en I y D en agrobiotecnología.

Inexistencia de políticas y estrategias nacionales

Dada la inexistencia de políticas y estrategias nacionales de ciencia y tecnología en la región, con excepción de Costa Rica, no extraña que no existan políticas nacionales de desarrollo en biotecnologías. Existen dos iniciativas recientes, y por lo tanto incipientes, para el establecimiento de ese tipo de políticas, de las cuales la de Costa Rica está más avanzada. La elaboración de políticas biotecnológicas se considera fundamental para consolidar y desarrollar las capacidades y aprovechar las oportunidades que esta disciplina presenta para el desarrollo agrícola y económico en general.

CUADRO 2
ORGANIZACIONES CON ACTIVIDADES DE INVESTIGACION EN
AGROBIOTECNOLOGIAS EN AMERICA CENTRAL
1988

ORGANIZACIONES	COSTA RICA	EL SALVADOR	GUATEMALA	HONDURAS	NICARAGUA	PANAMA	TOTAL
Organización Pública de Inv. Agropecuaria	1	1	-	-	3	1	6
Universidad	6	-	5	1	-	1	13
Empresa Productiva*	3	-	-	1	-	-	4
Centro Internacional o Regional	2	-	2	-	-	-	4
Otra	-	-	-	1	-	1	2
TOTAL	12	1	7	3	3	3	29

FUENTE: Encuesta IICA

(*) Incluye únicamente empresas que realizan investigación con personal propio.

CUADRO 3
PERSONAL DE I Y D EN AGROBIOTECNOLOGIAS
EN AMERICA CENTRAL
(1988)

PAISES	PHD		MSC		BSC		TECNICO		OTRO		TOTAL		%	
	T.Com.	T.Par.	T.Com.	T.Par.	T.Com.	T.Par.	T.Com.	T.Par.	T.Com.	T.Par.	T.Com.	T.Par.		TOTAL
COSTA RICA	6	12	3	11	19	17	33	4	8	1	69	45	114	48.7
EL SALVADOR	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	2	2	0.8
GUATEMALA	3	3	9	7	8	22	14	12	9	-	43	44	87	37.1
HONDURAS	-	2	-	-	1	1	3	-	-	-	4	3	7	2.0
NICARAGUA	-	-	1	-	9	-	8	-	4	2	22	2	24	10.2
	9	17	13	19	37	41	58	16	21	3	138	96		
TOTAL	26		32		78		74		24		234	96	234	

FUENTE: Encuesta IICA

T. Com. = Tiempo completo

T. Par. = Tiempo parcial

CUADRO 4
 RECURSOS HUMANOS EN I Y D EN AGROBIOTECNOLOGIA
 POR TIPO DE ORGANIZACION
 AMERICA CENTRAL (1988)

TIPO DE ORGANIZACION	PHD		MSc		BSc		TECNICO		OTRO		TOTAL		%	
	T.Com.	T.Par.	T.Com.	T.Par.	T.Com.	T.Par.	T.Com.	T.Par.	T.Com.	T.Par.	T.Com.	T.Par.		TOTAL
Organización Pública de Inv.Agrícola	-	-	1	2	11	1	10	-	4	3	26	6	32	7.3
Universidad	7	10	3	11	12	34	19	7	10	-	51	62	113	48.2
Empresa Productiva	-	-	1	-	2	3	5	-	-	-	8	3	11	4.7
Centro Inter-nacional o Regional	2	6	8	6	11	3	21	9	7	-	49	24	73	31.1
Otra	-	1	-	-	1	-	3	-	-	-	4	1	5	2.1

FUENTE: Encuesta IICA

CUADRO 5
 DISTRIBUCION DE RECURSOS FISICOS Y FINANCIEROS DEDICADOS A
 I Y D EN AGROBIOTECNOLOGIAS
 POR TIPO DE ORGANIZACION
 AMERICA CENTRAL (1988)

RANGOS DOL.USA 2 (m)	RECURSOS DE CAPITAL (EQUIPO)						RECURSOS PRESUPUESTARIOS						AREA LABORATORIOS					
	Org. Públ.	Univ.	Empr. Prod.	Centro Inv.Int. Regional	Otra	Org. Públ. Inv.Agr	Univ.	Empr. Prod.	Centro Inv.Int. Regional	Otra	Org. Públ. Inv.Agr	Univ.	Empr. Prod.	Centro Inv.Int. Regional	Otra			
5000-10000 (10-50)	1	1	-	2	1	-	4	-	-	1	-	3	1	1	1			
10-20000 (50-100)	1	1	-	-	-	2	1	-	-	2	4	-	-	-	-			
20-5000 (100-200)	-	1	-	-	-	-	4	1	-	1	3	-	-	-	-			
50000-100000 (200-300)	3	2	1	-	-	1	-	-	2	-	1	-	2	-	-			
> 100000 (>300)	-	4	-	2	-	2	-	-	1	-	-	1	1	-	-			

FUENTE: Encuesta IICA

TECNOLOGIAS EN USO EN LA AMERICA CENTRAL

(número de organizaciones que usan la tecnología)
(1988)

AREA	TIPO DE TECNOLOGIA	COSTA RICA	EL SALVADOR	GUATEMALA	HONDURAS	NICARAGUA	TOTAL
MOLECULAR	ADN recombinante	1	-	-	-	-	1
	Aislamiento, caracterización, clonaje de genes	1	-	-	-	-	1
	Hibridización de ácidos nucleicos	2	-	-	-	-	2
	Transferencia de genes/Manipulación de plásmidos	2	-	1	-	-	3
	Regulación y expresión génica	1	-	1	-	-	2
CITO-GENETICA	Cariotipos	1	-	1	-	-	2
	Mapeo genético	1	-	-	-	-	1
	Heredabilidad	-	-	1	-	-	1
	Mutación	1	-	2	-	-	3
CELULAR	Cultivo de células vegetales	3	-	2	1	1	7
	Cultivo de protoplastos	1	-	-	-	-	1
	Cultivo de meristemas y yemas	5	1	1	2	2	11
	Cultivo de anteras y óvulos	2	-	1	1	-	4
	Cultivo y transferencia de óvulos y embriones animales	3	-	-	-	1	4
BIOQUIMICA	Purificación y separación de proteínas y ácidos nucleicos	2	-	4	-	-	6
	Biosíntesis de metabolitos secundarios	2	-	2	-	-	4
	Síntesis de ácidos nucleicos y péptidos	1	-	1	-	-	2
INMUNOLOGIA	Anticuerpos monoclonales	2	-	-	-	-	2
	Pruebas inmunoológicas/anticuerpos policlonales	3	-	2	-	-	5
	Bioproducción de vacunas	1	-	-	-	-	1
RADIO-ISOTOPOS	Irradiación / mutagénesis	1	-	1	-	-	2
	Sondas marcadas	1	-	-	-	-	1
	Radioinmunoanálisis	1	-	-	-	-	1
INGENIERIA BIOQUIMICA	Tecnologías enzimáticas	1	-	4	-	-	5
	Fermentaciones sumergidas	-	-	2	-	-	2
	Fermentaciones sólidas	1	-	2	-	-	3
	Separación y purificación	4	-	2	-	1	7
ECOLOGIA	Control biológico	4	-	2	-	1	7
	Ecología microbial - Asociación microorganismo / planta	2	-	2	-	-	4

FUENTE: Encuesta IICA

CUADRO 7
 TECNOLOGIAS EN USO EN I Y D EN AGROBIOTECNOLOGIAS
 POR TIPO DE ORGANIZACION
 (número de organizaciones)
 AMERICA CENTRAL (1988)

AREA DE INVESTIGACION	TIPO DE TECNOLOGIA	ORG.PUBLICA INVESTIG. AGRIC.	UNIVERSIDAD	EMPRESA PRODUCTIVA	CENTRO INTERNAC. O REGIONAL	OTRA	TOTAL
MOLECULAR	ADN recombinante	-	1	-	-	-	1
	Aislamiento, caracterización, clonaje de genes	-	1	-	-	-	1
	Hibridación de ácidos nucleicos	1	1	-	-	-	2
	Transferencia de genes/manipulación de plásmidos	-	2	-	1	-	3
	Regulación y expresión génica	-	1	-	1	-	2
CITO-GENETICA	Cariotipos	-	2	-	-	-	2
	Mapeo genético	-	1	-	-	-	1
	Heredabilidad	-	1	-	-	-	1
	Mutación	-	3	-	-	-	3
CELULAR	Cultivo de células vegetales	1	3	1	2	-	7
	Cultivo de protoplastos	-	1	-	-	-	1
	Cultivo de meristemas y yemas	3	3	3	1	1	11
	Cultivo de anteras y óvulos	-	3	-	-	4	4
	Cultivo y transferencia de óvulos y embriones animales	1	2	-	1	-	4
BIOQUIMICA	Purificación y separación de proteínas y ácidos nucleicos	-	4	-	2	-	6
	Biosíntesis de metabolitos secundarios	-	2	-	2	-	4
	Síntesis de ácidos nucleicos o peptidos	-	1	-	1	-	2
INMUNOLOGIA	Anticuerpos monoclonales	-	2	-	-	-	2
	Pruebas inmunológicas/anticuerpos policlonales	1	4	-	-	-	5
	Bioproducción de vacunas	1	-	-	-	-	1
RADIO-ISOTOPOS	Irradiación/mutagénesis	-	2	-	-	-	2
	Sondas marcadas	-	1	-	-	-	1
	Radioinmunoanálisis	-	1	-	-	-	1
INGENIERIA BIOQUIMICA	Tecnologías enzimáticas	-	4	-	1	-	5
	Fermentaciones sumergidas	-	-	-	2	-	2
	Fermentaciones sólidas	-	1	-	2	-	3
	Separación y purificación	-	1	-	2	-	3
ECOLOGIA	Control biológico	1	4	-	2	-	7
	Ecología microbial-Asociación microorganismo/planta	-	3	-	1	-	4

FUENTE: Encuesta IICA

CUADRO 8
GRUPOS Y ESPECIES DE ORGANISMOS ESTUDIADOS CON
BIOTECNOLOGIAS EN AMERICA CENTRAL
(1988)

GRUPOS DE ORGANISMOS	NUMERO DE ORGANIZACIONES* QUE ESTUDIAN CADA GRUPO	NUMERO DE ORGANIZACIONES* QUE ESTUDIAN CADA ESPECIE
Frutales Tropicales	8	Banano 3 Pejibaye 2 Passiflora 1
Industriales	7	Caña de azúcar 3 Palma africana 2 Café 2 Cacao 1 Cardomomo 1
Hongos y Levaduras	5	Rhizobium 3 Filamentosos y basidio- micetos 2 Streptomyces 1 Royas 1 A. Niger 1 S. Pulverulentum 1 T. Viride 1 Torula 1 Micorhyzas 1
Bacterias	5	B. Thurigiensis 2 Lactobacilus 1 Leptospiras 1 B. Amylolicuafaciensis 1 Brucella 1
Raíces y Tubérculos	5	Aráceas 2 Papa 1
Leguminosas de grano	3	Frijol 3
Bovinos	3	
Insectos	2	Polilla de la papa 1 Mosca de la fruta 1

(Continúa)

Continuación CUADRO 8

GRUPOS DE ORGANISMOS	NUMERO DE ORGANIZACIONES QUE ESTUDIAN CADA GRUPO	NUMERO DE ORGANIZACIONES* QUE ESTUDIAN CADA ESPECIE
Enzimas	2	Celulasas 2 Ligninasas 2 Invertasas 1
Virus	3	Estomatitis vesicular 1 Rayado fino del maíz 1 "Lengua azul" 1 Leucosis viral bovina
Ornamentales	2	Peperonia 1 Singonium 1 Scindapens 1
Cereales	2	Arroz 2 Trigo 2
Forestales	1	Roble 1
Parásitos	1	Tripanosomas 1
Hortalizas	1	Tomate 1

FUENTE: Encuesta IICA

* Una organización puede estudiar más de un grupo o una especie. Algunas no identificaron especies

CUADRO 9
 CONCENTRACION DE RECURSOS DE I Y D
 EN AGROBIOTECNOLOGIA
 AMERICA CENTRAL
 (1988)

TIPO DE ORGANIZACION	INVESTIGADORES C/POSTGRADO/ ORGANISMOS (PROMEDIOS)	INVESTIGADORES C/POSTGRADO/ LINEA DE INVEST. (PROMEDIOS)	MUESTRA
Organismos públicos de investigación agrícola	0.75	0.75	n = 4
Universidades	2.3	1.15	n = 13
Centros internacionales y regionales	5.5	1.87	n = 4
Empresas productivas	0.25	0.25	n = 4
Otra	1	1	n = 1

CUADRO 10
 EMPRESAS QUE UTILIZAN AGROBIOTECNOLOGIAS
 EN AMERICA CENTRAL

PAIS	NUMERO	CAPITAL		EXPORTACIONES	INVESTIGACION PROPIA O CONTRATADA	PRODUCTOS O SERVICIOS	TECNOLOGIAS
		PUBL.	COOP. PRIVADO				
COSTA RICA	8	2	6	4	4	-Plantas ornamentales 2 -Plántulas de banano y palma aceitera 2 -Suero antiofidico 1 -Semilla de papa 1 -Med.Veterinaria 2	-Cultivo de tejidos 5 -Anticuerpos policlonales 1 -Transplante de embriones 2
EL SALVADOR	-	-	-	-	-	-	-
GUATEMALA	3	-	2	1	-	-Zooterápicos 1 -Plántulas de café 1 -Plantas ornamentales 1	-Bioproducción de vacunas 1 -Cultivo de tejidos 2
HONDURAS	2	1	1	-	1	-Zooterápicos 1 Carne bovina 1	-Bioproducción de vacunas 1 -Transplante de embriones 1
NICARAGUA	3	3	-	1	3	-Azúcar y alcohol 1 -Plántulas de caña de azúcar 1 -Semen y embriones bovinos 1	-Cultivo de tejidos 2 -Transplante de embriones 1
PANAMA	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	16	6	9	6	8	-Producción Agropecuaria 3 -Insumos y servicios agropecuarios 11 -Agroindustria 2	-Cultivo de tejidos 9 -Transplante de embriones 4 -Bioproducción de vacunas 2 -Anticuerpos policlonales 1

FUENTE: Encuesta IICA

CUADRO 11
CAPACITACION EN EL AREA DE LAS AGROBIOTECNOLOGIAS
AMERICA CENTRAL (1988)

PAIS	PREGRADOS			POSTGRADOS			CURSOS DE CAPACITACION		
	CARRERA	ENFASIS	INSTITUCION	TIEMPO %	NOMBRE	INSTITUCION	ANTI- IGUEDAD	INSTITUCION	TEMATICA
COSTA RICA	Veterina- ria		UNA	11.8	Maestría en Cien- cia Agronómica con énfasis en Biotecnología.	CIA-UCR	1	Centro de Biología Mol. y Cel. UCR.	Ingeniería Genética
	Biocien- cia	Genética	UCR	30.3					
		Genética Humana	UCR	30.3	Maestría en Bio- tecnología de la Reproducción Animal	Fac. Med. Vet. UNA.	> 1	CATIE	Cultivo de Tejidos
		Agronomía	Fitotecnia	UCR	7.7				
GUATEMALA	Ing. Quí- mica	Alimentos	USAC		No			ICAITI	Tecnología Biomasa Vegetal y Microbial
	Química Biológica		USAC						
NICARAGUA	Biología		UNAN		Maestría en Control Integrado de Plagas	UNAN	18	No	
HONDURAS	Agronomía		UNAH	5.3					
	Agronomía		El Zamorano	3.0	No			No	
EL SALVADOR	Fitotec- nia		U.Nacional	16.0					
	Ing. Agró- nómica	Prod. Agrí- cola	U. Evangé- lica		No			No	
	Ing. Agro- nómica	Zootecnia	U. Evange- lica	8.2					

FUENTE: Universidad de Costa Rica, Escuela de Fitotecnia, 1986. Plan de Estudio de Bachillerato y Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia, mimeo pp.4; listado de materias del Ciclo Básico en Biotecnología, ciclo común y áreas de concentración de la Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica; Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Salud, Esc. de Medicina Veterinaria. 1988. Currículum de la Carrera de Medicina Veterinaria. pp.4.; Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 1982. Perfil de Carrera, Área de las Ciencias Biológicas de Salud, Carrera: Agronomía, Tegucigalpa. Resto: encuesta IICA.

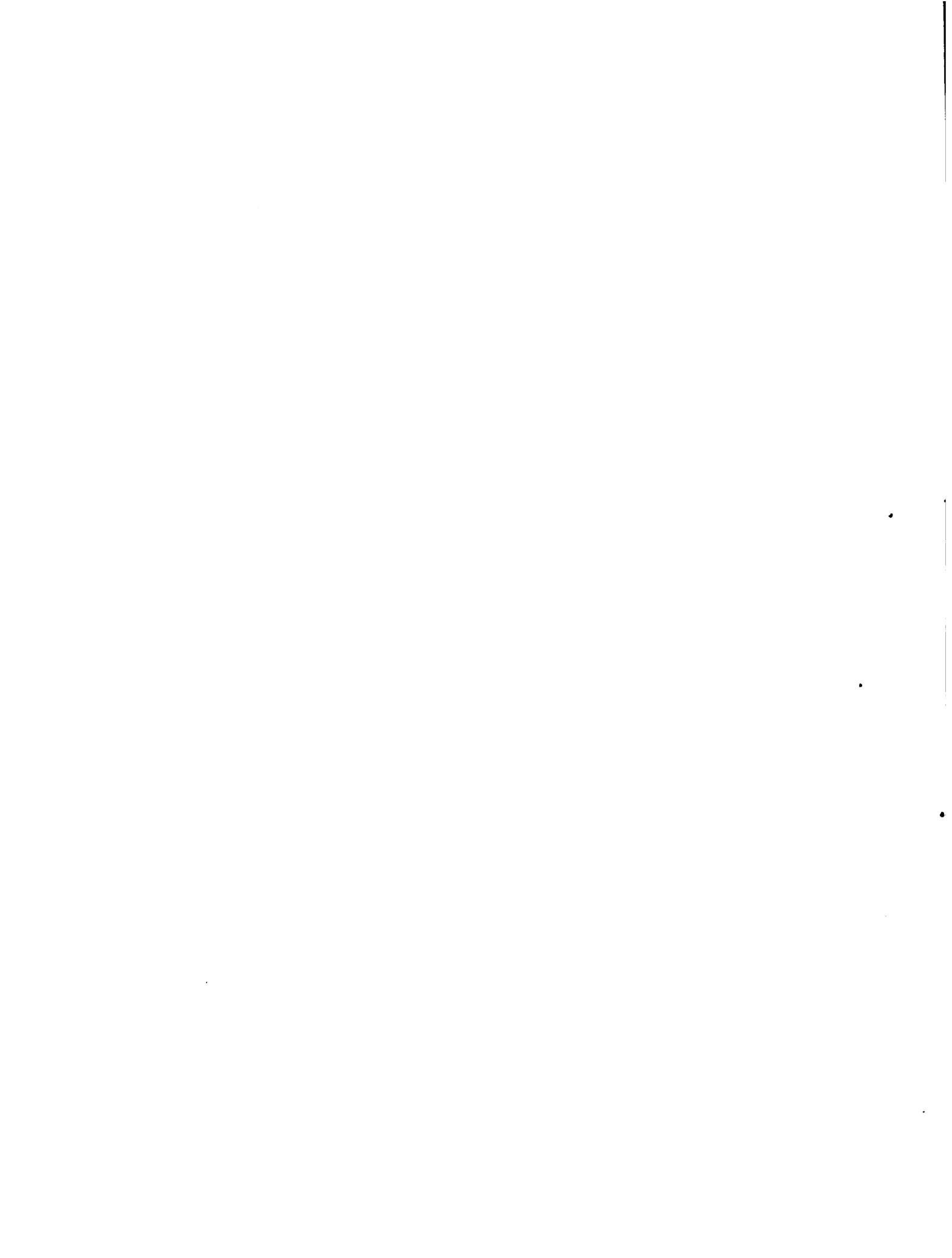
CUADRO 12
 POLITICAS NACIONALES DE BIOTECNOLOGIA
 AMERICA CENTRAL (1988)

PAIS	POLITICA CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA	POLITICA BIOTECNOLOGICA	UNIDAD DE PLANTIFICACION EN C Y T	PROGRAMAS FINANCIAMIENTO EN I Y D	PROGRAMAS FINANCIAMIENTO DES. TEC.	PROGRAMAS CAPACITACION RECURSOS HUMANOS
GUATEMALA	Propuesta	Incipiente (Existe Comisión Nacional de Biotecnología)	Sí	No	No	No
NICARAGUA	No	Incipiente	No	No	No	No
EL SALVADOR	No	No	No	No	Sí (Empresa Privada)	No
HONDURAS	No	No	No	No	No	No
COSTA RICA	Sí	Incipiente (Existe Comisión Nacional de Biotecnología)	Sí	Sí	Sí	Sí
PANAMA	No	No	No	No	No	No

FUENTE: Quintero R., Rodolfo, 1987. Reporte Final, Diagnóstico de Oportunidades y Plan Preliminar en el Area de Biotecnología a 5 años, COMICIT, Costa Rica, pp.45; Zeledón, Rodrigo, 1988. Programa Nacional de Biotecnología de Costa Rica, mimeo, pp.14; Funes, Mario, s.f. Marco General para Establecer una Política de Desarrollo de la Biotecnología en Guatemala, pp. 78. Encuesta IICA.

BIBLIOGRAFIA

- ARIAS M. O. 1987. Biotecnología: Oportunidades para el desarrollo de Costa Rica (mimeo) CONICIT. Costa Rica. p. 17.
- ARIAS PEÑATE S., 1987. Biotecnología: Una Estrategia para su Introducción en el Sistema de Granos Básicos en la Región, Programa Seguridad Alimentaria del Istmo Centroamericano. CADESCA/CEE. p.75
- ROCA W.M.; AMEZQUITA M.C.; VILLALOBOS V.M. 1988. Estado Actual y Perspectivas de la Biotecnología Agrícola en América Latina y el Caribe. Encuesta 1986 en CIAT. En Temas Prioritarios y Mecanismos de Cooperación en Investigación Seminario Internacional 25-28 de agosto 1986, Cali, Colombia. p. 187-212.
- ROJAS E., A. 1988. Análisis Encuesta de Biotecnología (mimeo) CONICIT, Costa Rica, p.27
- UNIDO, 1986. Capability Building in Biotechnology and Genetic Engeneering in Developing Countries, UNIDO/15.608. p.114.
- URBINO GUZMAN, S. A.; GIRON VELIZ, L. E. 1987. Informe de la Encuesta realizada en la Ciudad de Guatemala sobre Proyectos en Ejecución en el Campo de la Biotecnología. Memorandum, Consejo Nacional de Planificación Económica, Guatemala.



PERSPECTIVAS DE LA BIOTECNOLOGIA PARA EL MEJORAMIENTO GENETICO Y LA PROPAGACION VEGETAL EN AMERICA CENTRAL

Víctor M. Villalobos*

I. INTRODUCCION

En los últimos años se ha incrementado significativamente el interés por la biotecnología, tanto en las universidades como en el sector agrícola e industrial. Una posible razón de ese hecho es que la biotecnología constituye un grupo de técnicas que permiten una gran diversidad de aplicaciones y pueden reflejar su acción tanto en la investigación básica como en la aplicación práctica en la agricultura y la industria. Otra explicación del auge de esta disciplina es el carácter multidisciplinario que asume el establecimiento de una actividad biotecnológica; requiere el trabajo de especialistas en bioquímica, biología molecular, genética, fitomejoramiento y fisiología. Asimismo, es oportuno considerar que, si bien es cierto que la biotecnología tiene un origen y en muchos casos también un destino científico, no debe excluirse la finalidad económica. En síntesis, la biotecnología puede definirse como un grupo de innovaciones tecnológicas basadas en el uso de los microorganismos y los procesos biológicos, tanto para obtener productos y servicios, como para conducir investigaciones científicas (Bifani, 1988).

La biotecnología ha sido dividida en tradicional y moderna (Bifani, 1988), con el propósito de separar históricamente algunos de los componentes de la definición contenida en el párrafo anterior. Por ejemplo, desde hace muchos años se ha utilizado a los microorganismos para los procesos de fermentación. También se conocen ampliamente los métodos de selección que el hombre ha hecho de las especies vegetales que le han resultado útiles. Estos dos casos, por citar algunos, son representativos de la biotecnología tradicional. Por otro lado, la ingeniería genética es una poderosa herramienta de la biotecnología moderna que permite, por vez primera, la transformación de las plantas en forma dirigida por medio del ADN recombinante.

En cualesquiera de los casos, la biotecnología no está llamada a sustituir tecnologías convencionales, sino más bien a complementarlas.

La biotecnología moderna tiene una amplia gama de aplicaciones en la agricultura; ciencia animal; producción de compuestos químicos tales como enzimas, aminoácidos, vitaminas, biopolímeros, sustancias aromáticas; producción de alimentos, etc. Existe un denominador común: para todas esas aplicaciones se requiere el uso intensivo del conocimiento científico.

* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Aunque en general existe un evidente desarrollo en la biotecnología, algunas de sus aplicaciones han evolucionado más rápidamente que otras. En tal sentido, la biotecnología aplicada a la agricultura ha reflejado progresos muy significativos en los últimos años, principalmente en la multiplicación masiva de genotipos seleccionados y en el mejoramiento genético. Estas aplicaciones en plantas y su posible impacto en la región Centroamericana y el Caribe serán discutidos en este trabajo.

II. ANTECEDENTES DE LA BIOTECNOLOGIA

De acuerdo con Bifani (1988), la historia de la biotecnología puede dividirse en cuatro períodos: el primero corresponde a la época anterior a Pasteur; en aquel período, la biotecnología se realizaba como una práctica empírica para la selección de plantas y animales y su posterior hibridización. Desde el punto de vista de las fermentaciones, este proceso se usaba para preservar y enriquecer el contenido proteínico de algunos alimentos. La biotecnología de ese tipo se extendió hasta mediados del siglo pasado; no fue alimentada por una investigación científica sistemática, sino más bien por procedimientos de acierto y error, con una muy limitada comprensión de la ciencia moderna.

El segundo período se inicia propiamente con la identificación, por Pasteur, de los microorganismos como agentes causales de la fermentación. Este descubrimiento fue rápidamente aplicado para convertir azúcar en alcohol; su desarrollo incentivó también la industria alimentaria y la química, al ofrecer posibilidades de producir acetona, butanol y otros solventes a través del uso de bacterias.

El tercer período se inicia con el descubrimiento de la penicilina por Fleming, en 1928; ello trae como consecuencia el desarrollo de la industria de los antibióticos durante la década de los cuarentas. Cabe señalar que a principios de los treinta se inicia el cultivo de híbridos de maíz en Estados Unidos, lo cual motiva un notorio incremento en el rendimiento del grano.

El cuarto y último período es el presente. Se inicia con el descubrimiento de la estructura de doble hélice de la molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN) por Crick y Watson, en 1953. Este descubrimiento permitió la inmovilización enzimática. El primer experimento de ingeniería genética lo realizaron Cohen y Boyer (1973) y su aplicación se refleja en 1975 en la producción de anticuerpos monoclonales.

Bifani (1988) ha dividido la biotecnología moderna en cuatro categorías:

1. Métodos de cultivo de tejidos

2. Procesos biotecnológicos (fermentación)
3. Técnicas de cultivo para selección de células y microorganismos
4. Técnicas de transformación de material genético (ingeniería genética)

En los países desarrollados, las cuatro categorías mencionadas han progresado rápidamente en los últimos años y han creado grandes expectativas en países en vías de desarrollo en lo referente a su posible utilización. Un buen ejemplo son los países de Latinoamérica, los cuales presentan una interesante gama de políticas que tienden hacia la innovación y adopción de la biotecnología (Roca et al., 1986). Un aspecto importante a tomarse en cuenta es que las cuatro categorías tienen como denominador común la aplicación práctica del conocimiento científico. A continuación se discutirán las aplicaciones más generalizadas de la biotecnología a la agricultura.

III. MICROPROPAGACION DE ESPECIES CULTIVADAS

La biotecnología ha contribuido notablemente al desarrollo tecnológico de la agricultura. Esta importante participación ha consistido, básicamente, en la multiplicación masiva de plantas o micropropagación; la obtención de plantas libres de virus; el mejoramiento genético por medio de diferentes técnicas y la conservación de germoplasma. Si bien algunas de estas aplicaciones están directamente relacionadas (por ejemplo la micropropagación con la obtención de plantas libres de virus y el mejoramiento genético, o bien el mejoramiento con la conservación de germoplasma *in vitro*), el objetivo del presente trabajo es, sin embargo, concentrar la información y experiencia personal en la micropropagación y el mejoramiento de las especies cultivadas.

1. Micropropagación

En la mayoría de las especies la semilla es el mecanismo natural que permite transmitir generacionalmente las características genéticas de cada individuo; en otros casos, las plantas han subsistido en forma natural mediante la reproducción asexual por hijuelos, rizomas, estolones, tubérculos y bulbos.

La capacidad de las plantas para emitir propágulos a través de tejidos relativamente especializados ha permitido suponer que, bajo condiciones *in vitro*, es posible promover la emisión de estos propágulos a partir de tejidos y órganos de especies que presentan problemas en su propagación por semilla. Tal hipótesis descansa en la propiedad fundamental de las células vegetales llamada totipotencia. La totipotencia celular se refiere a la capacidad de una célula, sea esta gamética o somática, para regenerar una planta

completa. Con base en lo señalado, aparentemente la unidad fundamental de multiplicación de las plantas es la célula. En la práctica, no todas las células han mostrado ser totipotentes; las que lo han sido han dependido de condiciones físicas controladas y de las características ontogénicas de cada especie (Villalobos et al., 1985; Villalobos 1986). No obstante lo anterior, la multiplicación de plantas mediante el cultivo de células, tejidos y órganos se aplica en muchas especies hortícolas, frutícolas y ornamentales. Villalobos señaló que la micropropagación ha sido posible en 206 especies provenientes de 31 familias (Villalobos, 1986).

Existen evidencias que permiten identificar a la micropropagación como el área de la biotecnología con mayor aplicación, debido a la alta remunerabilidad que conlleva la multiplicación comercial de especies ornamentales, hortícolas, frutales y, más recientemente, especies forestales (Villalobos 1984; Villalobos et al., 1985; Webb y Villalobos, 1987).

Los pasos que involucran la micropropagación de cualquier planta han sido señalados por Murashige (1974):

1. Selección, desinfección y siembra del explante en un medio de cultivo adecuado.
2. Proliferación de brotes.
3. Transplante a un medio de enraizamiento y, finalmente, transferencia a suelo.

Las etapas de la micropropagación propuestas por Murashige continúan vigentes, aunque se ha reconocido que el estado fisiológico de la planta madre (fuente de los explantes) juega un papel muy importante en la respuesta futura de los tejidos en cultivo. En otras palabras, no solamente debe considerarse la selección del explante más adecuado, sino también que éste provenga de plantas que estén en el período y condición fisiológica más convenientes. Por otro lado, en la actualidad se considera poco práctico enraizar los propágulos bajo condiciones *in vitro*, debido a los altos costos. Diferentes empresas comerciales que multiplican anualmente gran cantidad de plantas han estimado más conveniente el enraizamiento mediante el empleo de sustratos inertes en cámaras con alta humedad relativa y luz adecuada, que seguir enraizando bajo condiciones *in vitro*.

Para la micropropagación de plantas se puede promover el crecimiento por tres caminos: 1) multiplicación por brotes laterales; 2) multiplicación por brotes adventicios (*de novo*); 3) multiplicación por embriones adventicios. Los tres métodos han sido aplicados con éxito en diferentes especies. Debido a que cada

uno tiene diferentes procesos de formación y desarrollo de brotes, los tres presentan ventajas y desventajas.

1.1 Micropropagación por brotes laterales

Este sistema de micropropagación tiene un rendimiento (número de propágulos por tejido sembrado), limitado al número de yemas preexistentes en el tejido sembrado. Sin embargo, el éxito de este sistema es el estímulo de las yemas secundarias, a su vez las terciarias y así sucesivamente. La fundamentación de este sistema es que por medio de citocininas aplicadas en forma exógena se elimina la dominancia apical por el desequilibrio hormonal (Escobar et al., 1986). Este sistema tiene dos limitantes; la primera es que, como ya se indicó, la tasa de multiplicación está determinada por el número de yemas preexistentes en el tejido; la otra es que la capacidad de respuesta de los brotes *in vitro* va disminuyendo al aumentar la frecuencia de trasplantes. Este fenómeno ha sido identificado como habituación. Sin embargo, una ventaja de relevante importancia en este esquema de multiplicación es la gran estabilidad genética que muestran los individuos micropropagados, ya que las plantas regeneradas provienen prácticamente de una multiplicación clonal. Ejemplo de este sistema de micropropagación son la fresa (Villalobos y Pérez, 1979), el clavel (Villalobos y García, 1982) y el nopal (Escobar et al., 1986).

1.2 Micropropagación por brotes adventicios

Este sistema de micropropagación involucra la diferenciación de brotes *de novo*. Esto significa que tejidos sometidos en un proceso de diferenciación puedan revertir este fenómeno hacia tejido meristemático para que se formen brotes adventicios y desarrollen posteriormente tallos. La diferenciación de estas estructuras *de novo* se puede dar tanto a partir de tejidos en cultivo, como a partir de callosidades. Estudios histológicos hechos en cotiledones de *Pinus radiata* indican que los brotes adventicios de esta especie tienen su origen en una sola célula, la cual influye en las células adyacentes para organizar las iniciales meristemáticas (Villalobos et al., 1985). Se ha encontrado que en la multiplicación por brotes adventicios el estado fisiológico de los explantes determina en gran medida la capacidad organogénica de respuesta. De igual forma, los reguladores del crecimiento son fundamentales; una alta concentración de citocininas y una baja o ausencia de auxinas estimula la organogénesis *in vitro*. Una ventaja importante de este sistema es que el número de brotes adventicios por unidad de superficie puede ser muy alto. Sin embargo, se ha observado que en algunos casos los individuos propagados por este proceso no guardan la uniformidad genética típica de los individuos clonados. Esta variabilidad depende de diferentes factores; se destaca el uso de altas concentraciones de los reguladores del crecimiento. En la práctica, se ha observado

que algunos individuos micropropagados por este método pueden presentar variabilidad, principalmente si fueron regenerados a partir de callos. Ejemplo de la multiplicación por brotes adventicios son las pináceas (Villalobos et al., 1985; Robledo y Villalobos, 1988), ágaves (Nava y Villalobos, 1988) y tabaco (Thorpe, 1980; Tran Thanh Van, 1981).

1.3 Micropropagación por embriones adventicios

La diferenciación de embriones adventicios a partir de células somáticas se ha logrado a partir de tejidos, callosidades y células en suspensión. Aunque no está claro del todo, es evidente que algunas células, sometidas a condiciones "adecuadas", pueden diferenciar embriones no sexuales en condiciones artificiales. De acuerdo con la literatura y experiencias propias, la embriogénesis ocurre en presencia de altas concentraciones de auxinas; 2,4-D es la más utilizada. Si se deseara dividir la embriogénesis somática por etapas, es evidente que existe una fase de inducción en la cual los callos o tejidos, según sea el caso, no muestran externamente ninguna característica morfogénica; al remover la auxina del medio, se ponen en evidencia zonas preferenciales de diferenciación y la subsecuente diferenciación de embrioides hasta la formación de embriones maduros. La siguiente fase corresponde al desarrollo y culmina con la germinación de los embriones. Esta fase se inicia al transferir el callo o tejido, según sea el caso, a un medio de cultivo sin auxinas y, en algunas ocasiones, con bajas concentraciones de citocininas. Existen evidencias histológicas de que los embriones adventicios tienen su origen en una sola célula, o pequeños grupos de ellas. Esta situación permite considerar que a través de la embriogénesis somática se podrían alcanzar números de plantas virtualmente ilimitados pues estas células pueden incrementarse continuamente si se emplean sistemas de cultivo en suspensión (medios de cultivo líquidos). La desventaja del proceso, en términos de micropropagación, es el hecho de que al generar plantas a partir de callos, como ocurre con frecuencia en la embriogénesis, se incrementa la variabilidad, la cual puede o no ser transmitida a generaciones posteriores. Ejemplos de la embriogénesis somática son: papaya (Litz, 1982), alfalfa (Dos Santos, et al., 1988), palmas (Trisserat y De Mason, 1980) y guanacaste (Miss y Villalobos, 1988).

2. Limitantes de la micropropagación

Se reconoce que la micropropagación generará cada vez mayor impacto en la agricultura. Sin embargo, aún existen limitantes para que esta técnica muestre todo su potencial. A continuación se discuten algunos factores que han limitado una rápida adopción.

Experiencia y equipo: Para el establecimiento de un laboratorio de cultivo de tejidos se requiere una inversión inicial considerable y la contratación de personal calificado.

Grado de aplicación: Aunque teóricamente se puede micropropagar cualquier especie, a la fecha aún existen algunas familias que muestran dificultad para hacerlo, principalmente dentro de las monocotiledóneas.

Problemas técnicos: Existen algunos problemas que limitan el éxito de la micropropagación. Uno de ellos, que se presenta en baja frecuencia, es la vitrificación, cuya característica principal es la apariencia suculenta y vidriosa que adquieren algunas plantas en cultivo, las cuales no sobreviven cuando se transfieren al suelo. Se cree que este fenómeno se promueve por la presencia de altas concentraciones de citocinina en el medio y la sobresíntesis de etileno. Otro problema es la contaminación de microorganismos saprófitos, principalmente bacterias, pues la desinfección superficial no elimina las bacterias que se encuentran en el interior de los tejidos. Aunque no existe una solución definitiva al problema, se ha tratado de controlar en la planta madre (fuente de explantes) por medio de la aplicación previa de pesticidas o bien mediante el desarrollo de las plantas en invernadero.

3. Calidad genética de las plantas micropropagadas

Como se señaló, según el proceso de micropropagación que se utilice puede ocurrir que las plantas micropropagadas no sean iguales a las plantas madres. Algunas razones de estas alteraciones pueden ser: a) cambios epigenéticos, debidos posiblemente a altas concentraciones de reguladores del crecimiento en el medio de cultivo; b) cambios genéticos, como mutaciones espontáneas favorecidas por la presencia de 2,4-D en el medio; c) cambios en los niveles de ploidia (Larkin y Scowcroft, 1981).

4. Perspectivas de la micropropagación

Aunque con algunas limitantes, la micropropagación es la primera aplicación biotecnológica que se ha adoptado en la agricultura moderna; se destaca aún más cuando los métodos convencionales son ineficientes o cuando se complementa con programas de mejoramiento y fitosanitarios. A continuación se indican algunos casos sobresalientes, en los cuales la micropropagación es la alternativa más adecuada para la resolución de problemas específicos:

1. Cuando hay pocos genotipos deseables.
2. Cuando se desea incrementar rápidamente algunos cultivares seleccionados.
3. Cuando las plantas están fuertemente atacadas por virus.
4. Cuando se necesita clonar rápidamente plantas heterocigotas seleccionadas por vigor u otras características.

5. Para clonar individuos parentales y producir híbridos.
6. En especies arbóreas (de ciclos largos), en las cuales los programas de mejoramiento son a largo plazo.
7. Para multiplicar individuos durante todo el año (sin estar sujetos al ciclo sexual).

Es indudable que para que esta técnica pueda aplicarse extensivamente se requiere extender su aplicación a un mayor número de especies; tal situación se ha venido dando, y continuamente se informa del éxito en la micropropagación de nuevas especies. Otro objetivo a mediano plazo es la mecanización de la micropropagación, lo cual permitirá abatir costos de producción. Un aspecto importante con respecto al futuro de la micropropagación está asociado con el entendimiento y aplicación de la embriogénesis somática. Los esfuerzos que se hagan en ese sentido permitirán la obtención de semillas artificiales, y la multiplicación ilimitada de las especies de mayor importancia para el ser humano.

IV. MEJORAMIENTO GENETICO

El mejoramiento genético mediante el empleo de cultivo de tejidos incluye a la fecha la obtención de plantas haploides, la variación somaclonal, cruza amplias por medio de la fusión de protoplastos y la utilización de la ingeniería genética. A continuación se discutirá brevemente cada una de estas técnicas.

1. Obtención de plantas haploides

Como ya se señaló, mediante el empleo de cultivo de tejidos es posible regenerar plantas a partir de una célula o pequeños grupos de ellas. Esta característica permite aislar las microsporas, o bien cultivar anteras y estimular la diferenciación de plantas completas a partir de células haploides. Con este método se ha logrado la producción de un esporofito que tiene el número cromosómico de un gametofito.

Los individuos haploides tienen gran relevancia, pues al duplicarse su genomio, en forma espontánea o inducida, constituyen diploides homocigotos y pueden ser manejados como variedades o líneas puras. La relevancia de este sistema reside en el ahorro de tiempo en la producción de líneas puras. Actualmente hay una importante lista de especies en las cuales ha sido factible la obtención de plantas haploides; se destacan las gramíneas y las solanáceas.

2. Variación somaclonal

Los somaclones son individuos diferenciados que han pasado por una fase de callosidad (masa de células no organizada), entre el tejido sembrado y la planta regenerada (Larkin y Scowcroft, 1981). Entre las especies que han sido alteradas y seleccionadas por este proceso se destacan: caña de azúcar (Krishnamurthi, 1982), papa (Shepard et al., 1980), tomate (Evans y Sharp, 1983) y cereales (Karp, 1983). En términos generales es factible obtener variantes somaclonales si se cultivan células aisladas o pequeños agregados en medios líquidos, hasta lograr una adecuada suspensión celular o bien empleando medios semisólidos. Una característica importante del método es, como ya se indicó, que exista una fase de callosidad intermedia. Posteriormente, es necesario inducir la regeneración de los individuos. De esta forma, la aplicación de la metodología depende del proceso morfogénico determinado en las células de los callos. A través de cualesquiera de las dos rutas de la diferenciación, organogénesis o embriogénesis, se puede lograr una considerable cantidad de somaclones; sin embargo, es previsible que por medio de la embriogénesis se obtenga mayor cantidad de individuos. Si se incluye una presión de selección en el medio de cultivo -por ejemplo toxinas, factores adversos o compuestos como los metales pesados-, el número de somaclones se vería limitado, pero permitiría seleccionar efectivamente aquellos clones que tienen la capacidad de crecer en medios adversos o restrictivos y que, posiblemente, pudieran mostrar características de tolerancia a factores simulados en el medio de cultivo. Esta característica de resistencia o tolerancia deberá finalmente comprobarse en el campo.

Por medio de la variación somaclonal se han diferenciado individuos con caracteres deseables para diferentes especies. Esta técnica, de reciente aplicación, muestra un potencial importante en el futuro, sobre todo para aquellas especies de propagación agámica. Si bien resulta difícil explicar los mecanismos involucrados en la variación somaclonal, sea ésta mutación o variación epigenética, los resultados prácticos tienden a apoyar la continuidad de las investigaciones en esta dirección. Ahlowalia (1986) ha señalado, al respecto, que la naturaleza tardó diez millones de años en producir la primera planta y el hombre la domesticó hace diez mil años; la variación somaclonal tiene solamente diez años y se requiere tiempo únicamente para que esta técnica muestre todo su potencial.

3. Cruzas amplias por medio de la fusión de protoplastos

Las células vegetales pueden ser desprovistas de su pared celular mediante el empleo de métodos mecánicos o de la digestión enzimática. Cuando la célula es desprovista de su pared (protoplasto) puede fusionarse con otros protoplastos, ya sean de la misma especie o no. Carlson y colaboradores (1972) fueron los primeros científicos que regeneraron una planta completa (híbrido somático); esa experiencia abrió una amplia perspectiva para el mejoramiento genético mediante el empleo de la biotecnología.

Evans y Bravo (1988) señalan que se ha logrado con éxito la hibridación interespecífica en 35 casos para la familia Solanaceae y en 19 para cruzas intergenéricas.

Al igual que otras técnicas biotecnológicas, la fusión de protoplastos para producir cruzas intergenéricas o interespecíficas está en sus inicios. En los primeros estudios de fusión de protoplastos, los investigadores concentraron esfuerzos en realizar hibridaciones entre especies taxonómicamente muy distantes; ello provocaba en estas combinaciones una eliminación selectiva de uno de los genomas del híbrido y se hacía más difícil la regeneración de las plantas. Estos problemas han hecho que los investigadores se concentren en la producción de híbridos entre especies más emparentadas. Actualmente, la expectativa para el mejoramiento genético por medio de la fusión de protoplastos es por medio de la producción de híbridos citoplásmicos (cíbridos) para transferir genes deseables de una especie a otra. Esta técnica combinada con la creciente investigación para la regeneración de plantas a partir de protoplastos, amplía las perspectivas para la integración de genotipos promisorios a ser incorporados en los programas de mejoramiento.

4. Ingeniería genética

La biología molecular y la tecnología de transferencia de genes han abierto una perspectiva sin precedentes para el entendimiento y la manipulación de las plantas. Los límites de estas herramientas estarán determinados por la manera en que sean utilizadas para descubrir los mecanismos de la expresión génica, y la estructura y función de las proteínas, en asociación con la fisiología y bioquímica de las plantas.

Los avances recientes en la transformación de las plantas por medio de la ingeniería genética han conducido a la inserción de genes de una especie a otra. Estas plantas transformadas han permitido demostrar la expresión de genes provenientes de bacterias, genes de proteínas para almacenamiento de semillas, genes asociados con fotosíntesis y genes que se codifican para proteínas virales (Beachy, 1988).

V. PERSPECTIVAS DE LA BIOTECNOLOGIA APLICADA A LA AGRICULTURA

En el presente trabajo se ha pretendido dar una visión panorámica del estado en que se encuentra la biotecnología aplicada a la agricultura. De la información manejada se desprende que está ocurriendo una transformación en la agricultura mundial, al complementarse las metodologías agrícolas convencionales de multiplicación y mejoramiento de plantas, con las herramientas metodológicas que brinda la biotecnología moderna. El rango de aplicación va desde la micropropagación hasta la transformación por

medio del ADN recombinante. Este amplio espectro de tecnologías condiciona de alguna manera su destino. Por ejemplo, la micropropagación ha tenido un amplio rango de aplicación desde los centros de investigación y las empresas privadas hasta asociaciones de agricultores. Comparativamente, las tecnologías de frontera, como la transformación de las plantas, tienen una distribución más restringida, en especial entre compañías multinacionales. Es de esperar que esta situación también pueda contemplarse desde una óptica económica, al comparar lo que está ocurriendo en los países desarrollados con aquellos otros en vías de desarrollo. Finalmente, es presumible que esta tecnología también influye en las especies que están siendo manipuladas por la ingeniería genética. Si bien los adelantos más notables se han realizado en modelos biológicos, los beneficios de la biotecnología de punta se reflejan más en especies de clima templado que en aquellas que crecen en los trópicos (Villalobos, 1988).

1. Biotecnología en América Latina

Roca et al. (1986) realizaron una encuesta sobre el estado actual y las perspectivas de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe. De ese documento surge, en primera instancia, que los países de la región cuentan con condiciones propicias para desarrollar la biotecnología. Se identifica también una necesidad de colaboración interinstitucional en investigación y capacitación. Con respecto a las tecnologías más utilizadas, se destacaron las de mayor potencial de aplicación a corto y mediano plazo, tales como el cultivo de tejidos. Asimismo, las plantas estudiadas con mayor frecuencia son, a su vez, importantes para la agricultura de la región. En el Cuadro 1 se presentan, en orden de importancia, los organismos que cuentan con mayor frecuencia de estudios desde la perspectiva biotecnológica en los países de América Latina. Es importante señalar que la investigación celular se mantendrá como prioritaria durante los próximos cinco años, y que la investigación más fundamental (biología y genética molecular) adquirirá mayor preponderancia en los próximos cinco años.

Recientemente, Bifani (1988) publicó un análisis de la biotecnología y su desarrollo en América Latina, en el cual hace un análisis de costos y áreas donde los países de la región trabajan actualmente o trabajarán en el futuro. Allí se destaca que la biotecnología de fermentaciones y la aplicada a las actividades agrícolas y pecuarias son algunas de las áreas que muestran gran potencial para la región. El desarrollo de estos rubros permitirá la sustitución de importaciones. Bifani pone énfasis en la ventaja comparativa de América Latina en cuanto se refiere a abundancia de recursos naturales en sus diferentes formas y a la presencia de una comunidad científica crecientemente preparada en los centros de investigación más destacados del mundo, lo cual se refleja en el incremento del nivel académico y científico de la región. Sobresale, sin embargo, la limitada

relación existente entre los centros de investigación y el sector productivo y dentro de las mismas universidades, lo cual implica duplicaciones y gastos innecesarios. Se reconoce también como un factor limitante la dificultad para llevar el resultado de la investigación de las universidades al campo. Como se indicó, este análisis, sumado al resultado de la encuesta, dejan traslucir un potencial importante para los países de América Latina en un futuro próximo (Roca et al., 1986).

CUADRO 1
TECNOLOGIA EN USO: ORGANISMOS QUE CUENTAN CON MAYOR FRECUENCIA DE ESTUDIO DESDE LA PERSPECTIVA BIOTECNOLOGICA EN AMERICA LATINA

Grupos y especies	Instituciones que estudian cada grupo (N=95)		Estudios que incluyen cada especie (N=983)	
	No.	(%)	No.	(%)*
Raíces y tubérculos	40	(42)		
Papa			73	(7.4)
Camote			34	(3.4)
Yuca			25	(2.5)
Dioscorea			7	(0.7)
Industriales	33	(35)		
Caña de azúcar			26	(2.6)
Café			22	(2.2)
Soya			14	(1.4)
Palma de aceite			11	(1.1)
Cacao			10	(1.0)
Frutales tropicales	28	(29)		
Plátano/banano			28	(2.8)
Cítricos			13	(1.3)
Papaya			13	(1.3)
Leguminosas de grano	25	(26)		
Frijol			37	(3.7)
Cereales	24	(25)		
Trigo			33	(3.3)
Maíz			29	(2.8)
Arroz			17	(1.7)
Cebada			16	(1.6)
Bacterias	21	(22)		
Rhisobium			31	(3.1)
E. coli			25	(2.5)
Hortalizas	18	(19)		
Tomate			23	(2.3)
Hongos	14	(15)		
Neurospora			10	(1.0)

Cuadro 1. Continuación

Grupos y especies de organismos	Instituciones que estudian cada grupo (N=95)		Estudios que incluyen cada especie (N=983)	
	No.	(%)	No.	(%)*
Ornamentales	14	(15)		
Clavel	6	(0.6)		
Forestales	14	(15)		
Eucalipto			11	(1.1)
Pino	7	(0.7)		
Virus	13	(14)		
Rotavirus			8	(0.8)
Otros Microorgan.	9	(9)		
Virus aftosa, Agrobact., T. cruzi			7	(0.7)
Otros animales	9	(9)		
Medicinales	7	(7)		
Catharantus			9	(0.9)
Frutales templados	7	(7)		
Pastos y forrajes	6	(6)		
Stylosanthes			8	(0.8)
Bovinos	6	(6)		
Espicias	2	(2)		
Aves	2	(2)		
Porcinos	2	(2)		
Ovinos	1	(1)		

* Estudios citados siete o más veces en las encuestas

2. Biotecnología en América Central

La biotecnología en Centroamérica y el Caribe se encuentra en una situación relativamente similar a la del resto de los países latinoamericanos, con excepción de México, Brasil y Argentina. Aunque cuentan con un gran potencial, diversidad genética y condiciones climatológicas, los países del Istmo han tardado en adoptar esas herramientas por razones económicas y falta de personal capacitado. Zeledón (1988) ha puntualizado, al respecto, la necesidad de sumar esfuerzos a la búsqueda de soluciones mancomunadas para mejorar la salud, la calidad del medio ambiente y la explotación agrícola en forma más racional.

El CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), por medio de la Unidad de Biotecnología, ha intensificado acciones enfocadas a la capacitación de personal científico y la transferencia de los resultados biotecnológicos generados tanto en el Centro como fuera de él. Por medio de esas actividades, se ha logrado apoyar esfuerzos de diferentes formas en los siete países miembros (Guatemala, Honduras, Nicaragua, El Salvador, Costa Rica, Panamá y República Dominicana) encaminados en una primera etapa a la capacitación de personal. Por ejemplo, en los últimos dos años se han dictado en la Sede del CATIE (en Turrialba, Costa Rica) seis cursos internacionales en cultivo de tejidos, con una asistencia de 85 investigadores; asimismo, se ha capacitado en servicio a más de 20 técnicos en micropropagación de plantas que crecen en los países centroamericanos. Paralelamente, se han iniciado esfuerzos con el propósito de apoyar técnicamente a laboratorios de micropropagación de especies vegetales instalados en República Dominicana, Guatemala y Nicaragua.

Es importante destacar particularmente la acción del CATIE en República Dominicana, donde se unieron esfuerzos para implementar un laboratorio de biotecnología. A partir de la iniciativa del CATIE, se donó el germoplasma, se asignó un investigador al frente del proyecto y se brindó la asistencia técnica para la implementación de un programa de micropropagación de musáceas y batata, el cual, después de un año de trabajo, está en capacidad de producir más de un millón de plantas. Con ese mismo esquema de complementación de esfuerzos entre el CATIE y los programas nacionales, se ha iniciado la implementación de un laboratorio de producción de semilla básica en raíces y tuberosas para Nicaragua.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AHLOWALIA, B. S. 1986. Limitations to the use of somaclonal variation in crop improvement. In: Somaclonal Variation and Crop Improvement. Nihoff Publishers. p. 14-27.
- BEACHY, R. N. 1988. Genetic engineering for virus protection in plants: current results and future prospects. In Plant Biotechnology. Ed. T. J. Mabry. U. de Texas. p. 39-47.
- BIFANI, P. 1988. Biotechnology: Overview and development in Latin América.
- CARLSON, P. S.; SMITH, H. H.; DEARING, D. 1972. Parasexual interspecific plant hybridization. Proc. Natl. Acad. Sci. 69:2292-2294.
- DOS SANTOS, V. P.; OUTKA, D. E.; COCKING, E. C.; DAVEY, M. R. 1980. Organogenesis and somatic embryogenesis in tissues derived from leaf protoplasts and leaf explants of *Medicago sativa*. Z. Pflanzenphysiol. 99:267-270.
- ESCOBAR, H. A.; VILLALOBOS V, M.; VILLEGAS, A.. 1986. Opuntia micropropagation by axillary proliferation. Plant Cell Tissue and Organ Culture 7:269-286.
- EVANS, D. A.; SHARP, W. R. 1983. Single gene mutations in tomato plants regenerated from tissue culture. Science 221:949-951.
- EVANS, D.; BRAVO, J. E. . 1989. Agricultural applications of protoplast fusion. In Plant Biotechnology. Ed. T.J. Mabry. U. de Texas. p. 51-77.
- KARP, A. 1986. Chromosome variation in plants regenerated from protoplasts and cultured plant tissues. In Somaclonal Variations and Crop Improvement. Nijhoff Publishers. p. 28-34.
- KRISHNAMURTHI. 1982. Sugarcane improvement through tissue culture and review of progress. In: Tissue Culture of Economically Important Plants. Ed. A. N. Rao. Proc. ISSCT. Singapore. p. 70-77.
- LARKIN, P. J.; SCROWCROFT, W. R.. 1981. Somaclonal variation, a novel source of variability from cell cultures for plant improvement. Theor. App. Genet. 60:197-214.

- LITZ, R. 1982. *In vitro* somatic embryogenesis and plant regeneration from *Carica papaya* L. Ovular callus. *Plants Sci. Lett.* 26:153-158.
- MISS, D.; VILLALOBOS, V. M. . 1988. Embriogénesis somática a partir de nudos juvenes de guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum* Grisele). *Agrociencia* (en prensa).
- MURASHIGE, T. 1974. Plant propagation through tissue cultures. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 25:135-166.
- NAVA, A.; VILLALOBOS, V. M.. 1988. Eventos morfogénicos en la micropropagación de *Agave* spp. *Agrociencia* (en prensa).
- ROBLEDO, A.; VILLALOBOS, V. M.. 1988. Micropropagación de *Pinus caribaea*. Var. *Hondurensis*. *Agrociencia* (en prensa).
- ROCA, W. M.; AMEZQUITA, M. C.; VILLALOBOS, V. M.. 1986. Estado actual y perspectivas de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe. Encuesta 1986. In *Temas Prioritarios y Mecanismos de Cooperación en Investigación Agropecuaria en América Latina y el Caribe*. CIAT. p. 187-212.
- SHEPARD, J. F.; BIDNEY, D.; SHAHIN, E.. 1980. Potato protoplast in crop improvement. *Science.* 208:17-24.
- THORPE, T. A. 1980. Organogenesis *in vitro*. Structural, physiological and biochemical aspects. *Int. Rev. Cytol. Suppl.* 11A:71-112.
- TRAN THANH VAN, M. 1981. Control of morphogenesis in *in vitro* cultures. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 32:291-311.
- VILLALOBOS, V. M. 1984. Tissue culture technology applied to ornamental species. In *Micropropagation of selected rootcrops, palms, citrus and ornamental species*. FAO. p. 155-175.
- VILLALOBOS, V. M. 1986. Diferenciación de plantas *in vitro*. In *Ingeniería Genética, Biotecnología y su Utilización en la Producción Agrícola*. Academia Mexicana de Ingeniería. p. 23 (en prensa).
- VILLALOBOS, V. M. 1988. Biotechnology, new approach for agricultural research, training and development at CATIE. In *Proc. Strenghtening Collaboration In Biotechnology: International Agricultural Research and the Private Sector*. AID. p. 26 (en prensa).
- VILLALOBOS, V. M.; PEREZ, M. G.. 1979. Alta producción de

plantas de fresa libres de virus a partir del cultivo en meristemos. Proc. XXVII Annual Meeting of the American Soc. Hort. Sci. Tropical Region. Vol. 23:70-72.

VILLALOBOS, V. M.; GARCIA, A.. 1982. Plantas de clavel libres de virus por cultivo *in vitro* de meristemos y ápices vegetativos. Agrociencia 48:107-118.

VILLALOBOS, V. M.; OLIVER, M.J.; YEUNG, E. C.; THORPE, T. A. 1984. Cytokinin-induced switch in development in excised cotyledon explants of radiata pine. *Physiol. Plant.* 61:490-496.

WEBB, D. T.; VILLALOBOS, V. M.. 1987. *In vitro* regeneration of Central and South American conifers. In *Cell and Tissue Culture in Forestry*. Vol. 3. Ed. Bonga y Durzan. Martinus Nijhoff Publishers, USA. p. 166-175.

ZELEDON, R. 1988. Significado de la nueva biotecnología para América Latina y el Caribe. Ministerio de Ciencia y Tecnología. p. 15.

BIOTECNOLOGIAS PARA EL DIAGNOSTICO Y PROTECCION DE PATOGENOS
*
DE PLANTAS EN AMERICA CENTRAL

**
Carmen Rivera H.

Algunos de los recientes avances de la biotecnología han permitido desarrollar nuevas metodologías para el diagnóstico, identificación y protección de patógenos de plantas, que permiten en algunos casos superar deficiencias de los métodos tradicionales. Los nuevos métodos se basan principalmente en la producción de anticuerpos monoclonales y en el análisis y manipulación de los ácidos nucleicos. Este documento explica los principios de esas metodologías, y describe su aplicación y utilidad en el campo del diagnóstico e identificación de patógenos de plantas. También trata en forma resumida las posibilidades y necesidades que se presentan en Centroamérica con respecto a la aplicación de esas metodologías.

Biotechnologías utilizadas en el diagnóstico de enfermedades de plantas

Producción de anticuerpos monoclonales

De acuerdo con los métodos tradicionales de producción de anticuerpos, se inyecta un antígeno a un animal de sangre caliente, el cual produce como reacción una población heterogénea de anticuerpos llamados policlonales, que reconocen diferentes determinantes antigénicos del patógeno. Actualmente es posible producir anticuerpos monoclonales que reconocen un solo determinante antigénico del patógeno, gracias a la tecnología de los hibridomas, introducida por Kohler y Milstein en 1975. Esta tecnología produjo un avance revolucionario en la producción de anticuerpos y eliminó muchos de los problemas asociados con los anticuerpos policlonales.

Los hibridomas son híbridos de células somáticas, obtenidos de la fusión de linfocitos B (células productoras de anticuerpos) con células de mieloma. Estos hibridomas adquieren de los linfocitos la habilidad de producir anticuerpos específicos, y de las células de mieloma la habilidad de ser cultivados indefinidamente in vitro. Los anticuerpos producidos por un clon (un hibridoma y su descendencia) son idénticos y específicos contra un solo determinante antigénico o epitopio (región de un antígeno que estimula una respuesta inmune).

* La autora agradece al Dr. Eddie Echandi, de la North Carolina State University, su colaboración en este trabajo.

** Centro de Investigación en Biología Celular y Molecular. Universidad de Costa Rica.

Los anticuerpos monoclonales presentan ciertas ventajas sobre los anticuerpos policlonales: a) se necesita muy poca cantidad de antígeno para producir una cantidad ilimitada de anticuerpos; b) se pueden obtener anticuerpos específicos contra un simple determinante antigénico, aunque se utilice como inmunógeno un antígeno impuro o una mezcla de antígenos; c) los hibridomas se pueden preservar congelados en nitrógeno líquido o a una temperatura de -70 C, con lo cual se asegura una fuente continua de anticuerpos; d) ciertos monoclonales altamente específicos permiten reconocer relaciones serológicas que no son reconocidas por los policlonales; e) el uso de monoclonales elimina la variabilidad en calidad y especificidad existente en los policlonales; f) se pueden utilizar como inmunorreactivos en los métodos comúnmente utilizados en el diagnóstico, tales como ELISA, radioinmunoensayo (RIA), inmunomicroscopía, etc. Esas propiedades facilitan la estandarización de los ensayos inmunológicos en diferentes laboratorios y aseguran una distribución continua de anticuerpos.

Entre las principales desventajas de los anticuerpos monoclonales se pueden citar el alto costo de su producción y el largo tiempo que se requiere para seleccionar el anticuerpo específico que se necesita. Debido a sus desventajas, esta metodología es de mayor utilidad para la investigación; para aquellas aplicaciones en diagnóstico en que los antígenos son difíciles de purificar en cantidad suficiente, o son malos inmunógenos para producir antisueros policlonales; para programas de diagnóstico que necesiten gran cantidad de anticuerpos, y para análisis serológicos de antígenos complejos o mezclas que requieran ser analizadas con base en un solo determinante antigénico o que requieran anticuerpos contra componentes individuales de una mezcla.

Los virólogos fueron los primeros fitopatólogos en utilizar la tecnología de hibridomas. La producción y uso de los monoclonales en virología de plantas ha sido objeto de numerosas revisiones (Sander y Dietzgen, 1984; Hsu et al., 1984; Martin, 1987). La mayoría de los estudios han sido enfocados hacia la producción de monoclonales y su posterior utilización en el diagnóstico de virus de plantas de importancia en cultivos propagados vegetativamente, tales como papa, frutales y ornamentales, y en el diagnóstico de virus transmitidos por semilla (Halk y De Boer, 1985; Van Regenmortel, 1986). Los anticuerpos monoclonales también han jugado un papel importante en la definición de relaciones entre virus a nivel de grupo, virus y razas.

En comparación con los virus de plantas, las bacterias son entidades muy complejas que presentan un amplio arreglo de determinantes antigénicos; por lo tanto, no es una sorpresa que los antisueros policlonales producidos contra ellas contengan anticuerpos contra varios epitopios y que reaccionen contra más de una especie. Debido a esa dificultad de obtener anticuerpos

policlonales específicos para el diagnóstico, la serología no ha sido muy utilizada en fitobacteriología. Con el desarrollo de la tecnología de hibridomas se abre una nueva posibilidad para la aplicación de la serología en este campo; de ese modo se puede llegar a suplantar los métodos tradicionales en aquellos casos de bacterias patógenas difíciles de aislar y caracterizar por métodos bioquímicos, en la detección de bacterias patógenas en ausencia de enfermedad y en materiales propagativos, tales como semillas, tubérculos y esquejes, ya que su control se basa en la distribución de material libre de patógenos.

Hasta ahora existen pocos casos de la aplicación de monoclonales en el diagnóstico de bacterias: ciertos monoclonales de gran especificidad han sido utilizados en la detección de *Corynebacterium sepedonicum* (anillo rojo de la papa) en infecciones sin síntomas (De Boer y Wiczorek, 1984), y en la detección de *Erwinia carotovora* subs., artroséptica que produce la enfermedad conocida como pie negro de la papa (De Boer y McNaughton, 1986). También han sido producidos contra algunos espiroplasmas y micoplasmas, tales como *corn stunt spiroplasma*, *spiroplasma citri* (Lin y Chen, 1985a,b ; Jordan et al., 1985) y *maize bushy stunt agent* (Chen y Jiang, 1987). Este hecho reviste gran importancia para el diagnóstico, ya que estos agentes son muy difíciles de cultivar.

En el campo de la micología, la producción y aplicación de anticuerpos monoclonales está en su infancia. Sin embargo, algunos estudios recientes han demostrado la utilidad de los monoclonales en la identificación de especies y aislamientos diferentes del género *Phytophthora* (Hardham et al., 1986).

Clonaje

La tecnología del ADN recombinante se basa en el aislamiento de moléculas o fragmentos de ADN *in vitro* del patógeno y su introducción en elementos extracromosómicos o en los cromosomas de células vivas para su duplicación y expresión.

Esta tecnología requiere el uso de enzimas que poseen la capacidad de reconocer y cortar secuencias de bases específicas del ADN (enzimas de restricción) y de reunir o ligar las puntas cortadas (enzima ligasa). Mediante el uso de estas enzimas se puede introducir un ADN exógeno en el ADN de un plásmido bacteriano. Los plásmidos son círculos de ADN extracromosómico; se encuentran en la mayoría de las bacterias y tienen la habilidad de autoduplicarse. Los plásmidos también pueden utilizarse como vehículos o vectores de un ADN exógeno.

Cuando el plásmido circular se corta con una enzima de restricción, se abre y queda en forma lineal. Si se mezcla con un ADN exógeno cortado con la misma enzima y luego se trata con

ligasa, un fragmento de este ADN exógeno queda formando parte del plásmido circular. Una vez transformado *in vitro*, el plásmido se introduce dentro de una bacteria (usualmente *Escherichia coli*) para su propagación *in vivo* (clonaje). De esta manera pueden obtenerse cientos de copias del ADN del plásmido y del ADN exógeno. El ADN exógeno se aísla, y después de marcarse con radioactividad o con marcadores no radiactivos se puede utilizar como sonda en la hibridación molecular (Watson et al., 1983).

Hibridación molecular

La hibridación de ácidos nucleicos es un método que permite la detección e identificación de genomas en forma parcial o total. Depende de la habilidad de apareamiento con ácidos nucleicos complementarios que poseen ácidos nucleicos de simple banda. Requiere la producción de secuencias de nucleótidos específicos conocidas como sondas, que sean complementarias al genoma que se desea identificar. Estas sondas pueden ser de ADN, ADN copia (ADNc) o ARN. Las sondas ADN se obtienen de la desnaturalización del ADN doble banda (dos bandas complementarias de ácidos nucleicos se mantienen unidas a temperatura y concentración de sal específicas, según la composición y longitud del ácido nucleico; a temperaturas superiores los enlaces que mantienen unido el duplex se rompen y las bandas se separan).

Las sondas ADN copia (ADNc) se obtienen por transcripción reversa de ARN simple banda, utilizando *in vitro* una enzima conocida como transcriptasa reversa. Cualquiera de estas sondas (ADN y ADNc) puede ser introducida dentro de un plásmido bacteriano (clonaje), para mantener su cultivo indefinidamente; de ese modo se asegura su disponibilidad en la cantidad y el momento necesarios (Maniatis, 1982). Las sondas ARN se producen por la transcripción *in vitro* de un segmento de ADN, clonado en plásmidos, en presencia de ribonucleótidos radiactivos. Para la producción de estas sondas el plásmido debe poseer un promotor muy eficiente, como es el del bacteriófago SP6 (Melton et al., 1984).

El promotor es una secuencia específica de ADN que se sitúa antes del gen y permite su transcripción en ARN.

Para poder dar seguimiento a la hibridación, es necesario marcar las sondas. Con frecuencia se utilizan radioisótopos como P 32, H 3 y I 25. Han habido varios intentos para sustituir los radioisótopos por otro tipo de marcadores, por ejemplo el uso de biotina (vitamina H), la cual se une fuertemente a la avidina (glicoproteína). La avidina se conjuga a enzimas tales como fosfatasa o peroxidasa y la hibridación es seguida por la adición de un sustrato precipitable (Leary et al., 1983). También se utiliza fotobiotina (Forster et al., 1985) y, más recientemente, la sulfonación del ácido nucleico y la detección de esta

modificación mediante ensayos inmunoenzimáticos con anticuerpos monoclonales específicos contra los grupos sulfonos (Pezzella et al., 1987).

Las pruebas de hibridación pueden realizarse de dos formas: a) inmovilizando el ácido nucleico que se quiere identificar a una matriz sólida, generalmente nitrocelulosa, e hibridizando con la sonda. Esta modalidad la utilizan los métodos conocidos como **dot blot**, **spot dot**, **slot blot**, **southern**, **northern**, etc. (Meinkoth y Wahl, 1984); b) realizando la reacción con ambos ácidos nucleicos en solución (Gould y Symons, 1983). En fitopatología el método más usado ha sido el **dot blot**. Los pasos básicos de este método son: extraer la savia de la planta a examinar; desnaturalizar el ácido nucleico, si este es doble banda, y hornear calor para que el ácido nucleico se pegue; bloquear los sitios no específicos; hibridizar con la sonda previamente desnaturalizada; lavar el exceso y detectar los híbridos por radiografía si se utilizaron sondas radiactivas o por la reacción colorimétrica si se usaron sondas enzimáticas. Nuestra experiencia es que para usar las sondas enzimáticas es necesario purificar exhaustivamente los ácidos nucleicos vegetales, antes de aplicarlos a la nitrocelulosa.

La técnica de hibridación molecular fue primero aplicada a los viroides en 1981 (Owens y Diener) y luego a virus de plantas ADN y ARN (Garger et al., 1983; Maule, Hull y Donson, 1983). Actualmente se utiliza para la identificación y diagnóstico de gran cantidad de viroides y de virus, tales como **avocado sunblotch viroid** (Rosner et al., 1983), **citrus exocortis viroid**, **potato spindle tuber viroid** (Owens y Diener, 1981); **coconut cadang-cadang viroid** (Mohamed e Imperial, 1984), **potato virus X**, **potato leaf roll** y **potato Y virus** (Baulcome et al., 1984), **cauliflower mosaic virus** (Maule et al., 1983), **bean golden mosaic virus** (Haber et al., 1987).

En el campo de la fitobacteriología, algunos trabajos muy recientes realizados con **Western-X micoplasma** han demostrado que se pueden producir sondas específicas de ADN para estos organismos de difícil estudio. Sondas clonadas de ADN han sido utilizadas con éxito en la detección de este patógeno en plantas e insectos infestados (Kirkpatrick et al., 1987).

En el caso de la micología la situación es muy diferente; los métodos de manipulación de ADN y de transferencia en hongos son todavía muy ineficientes. Sin embargo, un informe muy reciente sobre el uso de sondas ADN para la detección e identificación de **Phytophthora parasitica** (Goodwin et al., 1988) demuestra la posibilidad de utilizar esta metodología para el diagnóstico de otras enfermedades producidas por hongos.

ARN-doble banda

La purificación y análisis electroforético de ARNs de doble banda (ARNdb) de alto peso molecular, de plantas infestadas con virus, es otro medio utilizado para la detección e identificación de estos patógenos de plantas. Se basa en la premisa de que sólo las plantas infestadas con virus ARN o agentes parecidos a virus contienen segmentos homogéneos de ARNdb de alto peso molecular. La mayoría de los virus de plantas tienen un genoma ARN simple banda (ARNsb) (Matthews, 1982). La duplicación de estos virus involucra la producción de ARNs complementarios de igual tamaño que los segmentos del genoma, a partir de los cuales los nuevos ARN genómicos pueden ser transcritos. Estas formas se conocen como "formas duplicativas" y son ARNdb con el doble del tamaño del ARNsb genómico. Han sido descritos varios métodos para purificar y concentrar los ARNdb a partir de extractos de plantas, (Ralph, 1969; Libonati et al., 1980).

El método más utilizado actualmente, y que permite analizar gran número de muestras para diagnóstico, fue descrito por Morris y Dodds (1979), como una modificación a la columna de celulosa CF-11 de Franklin (1966). Este método se basa en la capacidad diferencial que tienen los ácidos nucleicos (ADN y ARN doble o simple banda) de unirse a la celulosa en presencia de diferentes concentraciones de etanol, lo que permite hacer una unión selectiva del ARNdb para aislarlo del resto de los ácidos nucleicos presentes. Los ARNdb purificados son separados posteriormente por electroforesis en geles de acrilamida y analizados comparando su movilidad con marcadores ARNdb de peso molecular conocido. La sensibilidad de este método ha sido favorecida con el desarrollo de los mini-slabs y las tinciones de ARNdb con plata (Guildow et al., 1983) y con bromuro de etidio (Morris et al., 1983).

Se ha purificado y analizado ARNdb de gran cantidad de virus de diferentes grupos: closterovirus, tobamovirus, potyvirus, potexvirus, carlavirus (Dodds y Bar-Joseph, 1983; Valverde et al., 1985; Dodds et al., 1984), cucumovirus (Kaper Díaz-Ruiz, 1977).

Polimorfismo del largo de los fragmentos de restricción de ADN (RFLPs) y polimorfismo de oligonucleótidos (OPs)

El desarrollo de marcadores genéticos moleculares que detectan variaciones a nivel del ADN ha abierto nuevos horizontes en el análisis genético de las especies agrícolas y de sus patógenos.

El polimorfismo del largo de los fragmento de ADN producidos por digestión con enzimas de restricción (en inglés **Restriction fragment lenght polymorphism, RFLPs**) consiste en aislar el ADN de diferentes clases del patógeno, digerirlo con diferentes enzimas de restricción y separar los fragmentos así obtenidos de acuerdo con su tamaño, por electroforesis. Debido a que cada enzima de restricción corta el ADN sólo donde existen secuencias de nucleótidos que reconoce específicamente, y como la distribución en el ADN de estas secuencias particulares está determinada por la secuencia de nucleótidos (genotipo) de un organismo, la distribución de tamaños de los fragmentos de restricción es única para cada genotipo. Esto permite asociar un patrón de fragmentos de ADN con un tipo de patógeno en particular (Beeckman y Soller, 1986). Estos fragmentos también pueden ser clonados para producir sondas específicas, que luego pueden ser utilizadas en el diagnóstico. Tal vez la contribución más importante del análisis de los RFLPs en la detección de patógenos de plantas es la identificación de regiones de ADN que sirvan para ser desarrolladas como sondas de diagnóstico.

Recientemente se ha demostrado el valor de los RFLPs en la identificación de nematodos a nivel de especies, subespecies y razas (Currant et al., 1985, 1986). Actualmente se está empezando a desarrollar capacidad de diagnóstico para varios grupos de nematodos de importancia económica, tales como **Meloidogyne**, **Trichinella**, **Caenorhabditis**, **Steinernema**, **Heterorhabditis**, **Romanomermis** (Curran et al., 1985) y **Onchocerca** (Rollinson et al., 1986). Ultimamente el uso de los RFLPs se ha vuelto también muy importante en la taxonomía de los hongos. La tecnología de análisis de RFLPs de ADN genómico combinado con sondas ha permitido diferenciar especies, razas y aun lograr aislamientos de **Fusarium** (Coddington et al., 1987 ; Manicom et al., 1987).

Otro marcador genético, reportado muy recientemente en Israel, es el polimorfismo de oligonucleótido, en inglés **Oligonucleotide polymorphism (OPs)**, que podría utilizarse en la caracterización de variaciones genéticas, con la ventaja de ser más barato que los RFLPs (Beeckman, 1988). Este método consiste en utilizar pequeños oligómeros de ADN (oligonucleótido) como sondas que permitan identificar pequeñas diferencias en la secuencia del ADN del patógeno.

Biotechnologías en la protección vegetal

Transformación genética

La transformación genética consiste en la introducción controlada de un genoma (ADN) dentro de otro genoma. En las plantas el resultado de esta transformación se conoce como planta transgénica. La introducción de ADN en células de plantas puede

hacerse de diferentes formas: 1) mediante el uso de patógenos naturales de plantas tales como *Agrobacterium tumefaciens* (Richard et al., 1988) y virus (Brisson et al., 1984); 2) mediante transferencia física del ADN por microinyección (Nomura y Yamada, 1985), y 3) mediante electroporación con el ADN exógeno recubierto de partículas de oro (McCabe et al., 1988). Recientemente se ha demostrado la utilidad de esta metodología en el fitomejoramiento con la producción de plantas transgénicas tolerantes a virus (Richard et al., 1988), característica dependiente de un solo gen. Plantas transgénicas de tomate que expresaban la cápside proteica del virus de la raza común del mosaico del tabaco fueron parcialmente resistentes a la infección causada por el virus del mosaico del tabaco y el virus del mosaico del tomate.

Esta metodología se ha usado para producir protección genética cruzada contra el virus del mosaico de la alfalfa (Loesch-Fries et al., 1987), el virus X de la papa (Hemenway et al., 1988) y el virus del mosaico del pepino (Cuozzo et al., 1988)

Capacidades existentes para el uso de estas biotecnologías en la región centroamericana

En términos generales, puede decirse que el desarrollo científico y tecnológico en los países del área centroamericana es bajo. En el campo específico del diagnóstico de enfermedades de plantas, el uso de la biotecnología no se ha desarrollado en el ámbito regional. La mayoría de las instituciones relacionadas con la fitopatología se dedican al diagnóstico e identificación de bacterias, hongos y nematodos utilizando los métodos tradicionales, basados en sintomatología, aspectos morfológicos y medios diferenciales de aislamiento y caracterización bioquímica, con grandes limitaciones de presupuesto e infraestructura (Bustamante y Arboleda, 1987).

Se están realizando algunos esfuerzos específicos aislados en el diagnóstico e identificación de enfermedades virales, utilizando equipos de diagnóstico importados o desarrollando y adaptando localmente metodologías diagnósticas. Únicamente el Centro de Investigación en Biología Celular y Molecular de la Universidad de Costa Rica ha sido reconocido por su capacidad actual para el aislamiento y purificación de virus, producción de anticuerpos poli y monoclonales (varios sistemas), análisis de ARNdb y producción de sondas moleculares.

Recursos necesarios para que estas metodologías puedan desarrollarse en Centroamérica

El desarrollo de estas metodologías en Centroamérica implica la existencia de grupos de investigación con capacidad científica y tecnológica suficiente. Es indispensable hacer en la región un

diagnóstico crítico de los recursos disponibles (de infraestructura y humanos) en las áreas de microbiología, inmunología, genética bacteriana, biología celular, biología molecular y áreas afines, con el propósito de determinar las capacidades y debilidades existentes. En una primera etapa es necesario fortalecer a los grupos que tengan la capacidad necesaria para desarrollar esta tecnología o que ya la estén desarrollando, con los adecuados insumos financieros y de infraestructura. Deberá también fortalecerse paulatinamente a otros grupos de menor desarrollo, pero susceptibles de lograrlo, al menos para la transferencia y adaptación de las tecnologías. Para lograr esta primera etapa es indispensable garantizar a los laboratorios de la región el apoyo adecuado de laboratorios de excelencia o "de punta", así como el permanente acceso a los laboratorios y colecciones de referencia internacionales. Debe considerarse, asimismo, la adecuada capacitación de personal científico y de apoyo para estas actividades. Esto lleva a plantear la necesidad de desarrollar recursos humanos especializados con criterios de complementación e integración interdisciplinaria a nivel regional. En nuestras circunstancias, la formación de biotecnólogos en sentido amplio no es lógica; se debe implementar una estrategia de formación de especialistas en las diferentes áreas básicas ligadas a la biotecnología, para complementar las capacidades actuales y fortalecer a los grupos interdisciplinarios.

Con independencia del nivel científico y tecnológico de los grupos desarrollados, es importante prever acciones que garanticen un adecuado apoyo logístico y administrativo. Esto resulta indispensable frente a la naturaleza de algunos de los insumos requeridos para el desarrollo de las técnicas analizadas: enzimas, productos biológicos perecederos, células de referencia, cepas bacterianas, radioisótopos de corta vida media, etc.

A pesar del nivel promedio que en este campo existe en Centroamérica, una vez detectadas las fortalezas y posibilidades de desarrollo de los diferentes grupos de la región es necesario plantear mecanismos de colaboración a nivel regional.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BAULCOME, D. C.; FLAVELL, R. B.; BOULTON, R. E.; JELLIS, G. J. 1984. The use of cloned hybridization probes to detect viral infections in a potato breeding programme. Proceedings of the Phytochemical Society of Europe. The genetic manipulation of plants and its application to Agriculture 23; 183-195. Ed. by P. J. Lea ; G. R. Stewart. Clarendon Press, Oxford.
- BECKMANN, J. S.; SOLLER, M. 1986. Restriction fragment length polymorphisms and genetic improvement of agricultural species. *Euphytica* 35: 111-124.
- BRISSON, N.; PASZKOWSKI, J.; PENSWICK, J. R.; GRONENBORN, B.; POTRYKUS, I. HOHN, T. 1984. Expression of a bacterial gene in plants using a viral vector. *Nature* 310:511.
- BUSTAMANTE, E.; ARBOLEDA, O. 1987. Reunión de la Red Regional de Diagnóstico Vegetal de Plagas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 66p.
- CODDINGTON, A.; MATHEWS, P. M.; CULLIS, C.; SMITH, K. H. 1987. Restriction digest patterns of total DNA from different races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pici*, an improved method for race classification. *Journal of Phytopathology* 118:9-20.
- CUOZZO, M.; OCONNELL, K. M.; KANIEWSKI, W.; FANG, R. X.; CHUA, N. H.; TUMER, N.E. 1988. Viral protection in transgenic plants expressing the cucumber mosaic virus coat protein or its antisense RNA. *Biotechnology*, in press.
- CURRAN, J.; BAILLIE, D. L.; WEBSTER, J. M. 1985. Use of restriction fragment length differences in genomic DNA to identify nematode species. *Parasitology* 90:137-144.
- CURRAN, J.; MCCLURE, M. A.; WEBSTER, J. M. 1986. Genotypic analysis of *Meloidogyne* populations by detection of restriction fragment length differences in total ADN. *Journal of Nematology* 18:83-86.
- CHEN, T. A.; JIANG, X. F. 1987. Monoclonal antibodies against maize bushy stunt agent. *Canadian Journal of Microbiology* 34:6-11.
- DE BOER, S. H.; WIECZOREK, A. 1984. Production of monoclonal antibodies to *Corynebacterium sepedonicum*. *Phytopathology* 74:1431-34.
- DE BOER, S. H.; MCNAUGHTON, M. E. 1986. Production of monoclonal antibodies to *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica* lipopolysaccharide. *Phytopathology* 76:1138.

- DODDS, J. A.; BAR-JOSEPH, M.. 1983. Double-stranded RNA from plants infected with closterovirus. *Phytopathology* 73:43423.
- DODDS, J. A.; MORRIS, T.J.; JORDAN R. 1984. Plant viral double-stranded RNA. *Annual Review of Phytopathology* 22:151-168.
- FOSTER, A. C.; MACINNES, J.L.; SKINGLE, D. C.; SYMONS, R. H. 1985. Nonradioactive hybridization probes prepared by the chemical labelling of DNA and RNA with a novel reagent, Photobiotin. *Nucleic Acids Research* 13:745-761.
- FRANKLIN, R. M. 1966. Purification and properties of replicative intermediate of the RNA bacteriophage R 17. *Proceedings of the National Academy of Science, USA* 55:1504-1511.
- GARGER, S. J.; TURPEN, T.; CARRINGTON, J. C.; MORRIS, T. J.; JORDAN, R. L.; DODDS, J. A.; GRILL, L. K. 1983. Rapid detection of plant RNA viruses by dot blot hybridization. *Plant Molecular Biology Reporter* 1:21-25.
- GILDOW, F. E.; BALLINGER, M. E.; ROCHOW, W. F. 1983. Identification of double-stranded RNAs associated with barley yellow dwarf virus infection in oats. *Phytopathology* 73:1570-1572.
- GOODWIN, P. H.; ENGLISH, J. T.; KIRKPATRICK, B. C.; DUNIWAY, J. M. 1988. DNA probes for detection of *Phytophthora parasitica*. *Phytopathology*.
- GOULD, A. R.; SYMONS R.H. 1983. A molecular biological approach to relationships among virus. *Annual Review of Phytopathology* 21: 179-199.
- HABER, S.; POLSTON, J. E.; BIRD, J. 1987. Use of DNA to diagnose plant disease caused by single-strand DNA plant virus. *Canadian Journal of Plant Pathology* 9:156-161.
- HALK, E. L.; DEBOER, S. H. 1985. Monoclonal antibodies in plant disease research. *Annual Review Of Phytopathology* 23:321-350.
- HEMENWAY, C.; FANG, R. X.; KANIEWSKI, W.; CHUA, N. H.; TUMER, N. E. 1988. Analysis of the mechanism of protection in transgenic plants expressing potato virus X protein or its antisense RNA. *Embo Journal* (in press).
- HSU, H. T.; JORDAN, R. L.; LAWSON, R. H. 1984. Monoclonal antibodies and plant viruses. *AM. Soc. Microbiol. News* 50:99-102.

- JORDAN, R.; KONAI, M.; LEE, I. M.; DAVIS, R. F. 1985. Production and characterization of monoclonal antibodies to *Spiroplasma citri* and corn stunt *spiroplasma*. *Phytopathology* 75:1351.
- KAPER, J. M.; DIAZ-RUIZ, J. R. 1977. Molecular weight of the double-stranded RNAs of cucumber mosaic virus strain S and its associated RNA 5. *Virology* 80:214-217.
- KIRKPATRICK, B. C.; STENGER, D. C.; MORRIS, T. J.; PURCELL, A. H. 1987. Cloning and detection of DNA from a nonculturable plant pathogenic mycoplasma-like organism. *Science* 238:197-200.
- KOHLER, G.; MILSTEIN, C. 1975. Continuous cultures of fused cells secreting antibodies of predefined specificity. *Nature* 256:495-97.
- LEARY, J. S.; BRIGATI, D. J.; WARD, D. C. 1983. Rapid and sensitive colorimetric method for visualizing biotin-labeled DNA probes hybridized to DNA and RNA immobilized on nitrocellulose: Bio-Blots. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 80:4045-49.
- LIBONATI, M.; CARSANA, A.; FURIA, A. 1980. Double stranded RNA. *Molecular Cell Biochemistry* 31:147-164.
- LIN, C. P.; CHEN, T. A. 1985a. Monoclonal antibodies against the aster yellows agent. *Science* 227:1233-1235.
- _____. 1985b. Production of monoclonal antibodies against *Spiroplasma citri*. *Phytopathology* 75: 848-851.
- _____. 1985c. Monoclonal antibodies against corn stunt *spiroplasma*. *Canadian Journal of Microbiology* 31:900-904.
- LOESCH-FRIES, L. S.; MERLO, D.; ZINNEN, T.; BURHOP, L.; HILL, K.; KRAHN, K.; JARVIS, N.; NELSON, S.; HALK, E. 1987. Expression of alfalfa mosaic virus coat protein RNA 4 in transgenic plants confers virus resistance. *EMBO Journal* 6:1845-1851.
- MANIATIS, T.; FRITSCH, E. F.; SAMBROOK, J. 1982. Molecular cloning. A Laboratory Manual. Cold Spring Harbor Laboratory.
- MANICOM, B. Q.; BAR-JOSEPH, M.; ROSNER, A.; VIGODSKY-HASS, H.; KOTZE, J. M. 1987. Potential applications of random DNA probes and restriction fragments length polymorphism in the taxonomy of the *Fusaria*. *Phytopathology* 77:669-672.
- MARTIN, R. R. 1987. The use of monoclonal antibodies for virus detection. *Canadian Journal of Plant Pathology* 9:177-181.

- MATTHEWS, R. E. F. 1982. Clasification and nomenclature of viruses. *Intervirolgy* 17:11-199.
- MAULE, A. J.; HULL, R. C.; DONSON, J. 1983. The apliccation of spot hybridization to the detection of DNA and RNA viruses in plant tissue. *Jornal of Virological Methods* 6:215-224.
- MCCABE, D. E.; SWAIN, W. F.; MARTINELL, B. J.; CHRITOU, P. 1988. Stable transformation of soybean (glycine max) by particle acceleration. *Biotechnology* 6:923-926.
- MEINKOTH, J.; WAHL, G. 1984. Hybridization of nucleic acid immobilized on solid supports. *Anal. Biochem.* 138:267-84.
- MELTON, D. A.; KRIEG, P. A.; REBAGLIATI, M. R.; MANIATIS, T.; ZINN, K.; GREEN, M. R. 1984. Efficient in vitro synthesis of biologically active RNA and RNA hybridization probes from plasmids containing a bacteriophage SP6 promotor. *Nucleic Acids Research* 12:7035-7055.
- MOHAMED, N. A.; IMPERIAL J. S. 1984. Detection and concentration of coconut cadang-cadang viroid in coconut leave extracts. *Phytopathology* 74:165-69.
- MORRIS, T. J.; DODDS, J. A. 1979. Isolation and analysis of double-stranded RNA from virus-infected plants and fungal tissue. *Phytopathology* 69:854-858.
- MORRIS, T. J.; DODDS, J. A.; HILLMAN, B.; JORDAN, R. L.; LOMMEL, S. A.; TAMAKI, S. J. 1984. Viral specific dsRNA: Diagnostic value for plant virus disease identification. *Plant Molecular Biology Reporter* 1:27-30.
- OWENS, R. A.; DIENER, T. O. 1981. Sensitive and rapid diagnosis of potato spindler tuber viroid disease by nucleic acid hibridization. *Science* 213:670-72.
- PEZZELLA et al., 1987. *Journal of Medical Virology* 22: 135-142.
- RALPH, R. K. 1969. Double stranded viral RNA. *Advances in Virus Research* 15:61-158.
- RICHARD, S.; NELSON, S. M.; MCCORMICK, X.; DUBE, P.; LAYTON, J.; ANDERSON, E. J.; KANIEWSKA, M.; PROKSCH, R. K.; HORSCH, R. B.; ROGERS, S. G.; FRALEY, R. T.; BEACHY, R. N. 1988. *Biotechnology* 6: 403-409.
- ROLLINSON, D.; WALKER, T. K.; SIMPSON, A. J. G. 1986. The application of recombinant DNA technology to problems of helminth identification. *Parasitology* 91:553-571.

- ROSNER, A.; SPIEGEL, S.; ALPER, M.; BAR-JOSEPH, M. 1983. Detection of avocado sunblotch viroid (ASBV) by dot-spot self-hybridization with a P 32 labeled ASBV-RNA. Plant Molecular Biology 2:15-18.
- SANDER, E.; DIETZGEN R. G. 1984. Monoclonal antibodies against plant viruses. Advances in Virus Research 29:131-168.
- SCHAAD, N. W. 1980. Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. American Phythopathological Society. St. Paul, Minnesota. 72 p.
- WATSON, D. J.; TOOZE, J.; KURTZ D. T. 1983. Recombinant DNA. A Short Course. Scientific American Books. W. H. Freeman and Company, New York. 260 p.

**OPORTUNIDADES DE LAS BIOTECNOLOGIAS PARA LA PRODUCCION
ANIMAL EN AMERICA CENTRAL**

Luis L. Rodríguez Roque*

En los últimos años, especialmente durante la última década, se ha desarrollado una serie de tecnologías completamente novedosas en el área de las ciencias biológicas. Estos nuevos conocimientos han sido denominados de diversas maneras: "manipulación genética", "ingeniería genética", "clonaje molecular", "anticuerpos monoclonales", "ADN recombinante" y más genéricamente "biotecnología" (Sommer, 1986).

La biotecnología puede definirse como "la aplicación de principios científicos y tecnológicos al procesamiento de materiales por agentes biológicos, para proveer bienes y servicios" (Wilkie, 1988).

A pesar de que los conceptos actuales de biotecnología comprenden una serie de conocimientos y técnicas de desarrollo muy recientes y revolucionarios, la idea de utilizar organismos vivos para obtener procesos o productos beneficiosos es muy antigua. Como ejemplos puede mencionarse el uso de la fermentación para producir bebidas alcohólicas, de levaduras para producir pan, de bacterias para producir quesos, yogurt, antibióticos (penicilina) y otros productos (Hodges, 1986).

Entonces, ¿qué es lo nuevo en biotecnología? Todos los ejemplos anteriores dependen de características inherentes a los organismos, tanto microorganismos como animales o plantas. Estas características especiales fueron obtenidas por selección natural y evolución, y sólo es posible cambiarlas por cruzamientos selectivos y selección genética, o por mutaciones que ocurren natural o espontáneamente.

La gran contribución de la biotecnología moderna es su capacidad de identificar, separar y manipular artificialmente esas características genéticas (Glover, 1984). Además, ahora se cuenta con la capacidad de "crear" organismos o sustancias biológicas con las características deseadas y obtener el resultado buscado en una sola generación, sin necesidad de cruzar selectivamente los organismos durante largos periodos de tiempo (Koshland, 1985). Lo que es más, en algunos casos se pueden producir sustancias con actividad biológica, tales como péptidos u oligonucleótidos (partes de proteínas y ácidos nucleicos, respectivamente) por síntesis química artificial, fuera de los organismos vivos (Arnon et al., 1983). Con estos procedimientos biotecnológicos se obtienen

* Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Programa de Apoyo a Investigadores Científicos, CONICIT.

resultados más específicos, sin efectos colaterales indeseables y en mucho menor tiempo de lo que sería posible por selección genética natural durante muchas generaciones, o aún por mutaciones genéticas inducidas al azar en los organismos (Sommer, 1986).

En el caso específico de la producción y salud animal, la biotecnología tiene aplicaciones principalmente en las siguientes áreas:

1. Diagnóstico, prevención y control de enfermedades animales.
 - a. Producción de vacunas subunitarias por ADN recombinante (ADNr) o péptidos sintéticos, o por modificación genética de microorganismos.
 - b. Producción de zoterápicos, interferón, anticuerpos monoclonales y otros.
 - c. Producción de reactivos de diagnóstico, anticuerpos monoclonales para ELISA, radioinmunoensayo, sondas de ácidos nucleicos, hibridización y otros.
2. Nutrición animal y promoción de crecimiento.
 - a. Inóculos ruminales de bacterias y protozoarios genéticamente modificados.
 - b. Producción de hormonas de crecimiento sintéticas.
3. Mejoramiento genético animal.
 - a. Inseminación artificial, sexado de semen.
 - b. Transferencia y manipulación genética embrionaria, "clonaje embrionario", sexado de embriones, animales transgénicos, quimeras y otros.
4. Producción de sustancias de origen animal para uso en diagnóstico, investigación y terapéutica (suero fetal bovino, hormonas animales y otros).

1. DIAGNOSTICO, PREVENCION Y CONTROL DE ENFERMEDADES

a. Producción de vacunas

Algunas enfermedades animales son causadas por agentes infecciosos difíciles de cultivar en el laboratorio en cantidades suficientes para producir vacunas. En otros casos las vacunas producen efectos secundarios indeseables (como es el hecho de no poder distinguir animales vacunados de infectados), o las vacunas

existentes son poco eficientes en producir la inmunidad deseada, o poco estables. En esos casos, se está tratando de desarrollar vacunas producidas por medio de ingeniería genética para prevenir y controlar dichas enfermedades (Schudel, 1988). Algunos ejemplos de estos productos se pueden ver en el Cuadro 1.

Existen diferentes métodos para producir vacunas por ingeniería genética; se pueden producir vacunas subunitarias, ya sea individuales o incorporadas en otros agentes virales, o vacunas sintéticas (péptidos), o vacunas a base de microorganismos manipulados genéticamente (Gorham, 1988).

a.1. Vacunas subunitarias

i. Clonaje y expresión en bacterias, levaduras o en células de mamífero.

Si se utiliza cualesquiera de estos métodos, el producto final es una proteína o un fragmento de proteína, el cual se ha determinado que es capaz de inducir una respuesta inmune contra el microorganismo causante de la enfermedad (Kupper, 1988). Esta proteína debe purificarse antes de poder servir como vacuna. Las ventajas de este método es que se suministra al animal una parte del agente, y no el agente completo, por lo cual no es capaz de revertir y convertirse en patógeno, lo que lo hace muy seguro (Macfarland, 1984; Barchrach, 1982). Entre las desventajas se encuentran el hecho de tener que purificar la proteína de otros productos del microorganismo usado para la producción de la vacuna (Bachrach, 1982). Por otro lado, las dosis de este tipo de vacunas que se deben suministrar son muy altas, debido a que son por lo general poco antigénicas (no inducen buena inmunidad) (McKercher et al., 1985).

ii. Clonaje y expresión en vectores virales tales como Vaccinia, Papilloma, Adenovirus, Retrovirus y otros.

En este caso se pueden incorporar las proteínas inmunogénicas (que inducen inmunidad) de varios agentes virales (por ejemplo rabia, distemper, herpesvirus) en un sólo virus vivo, que es inoculado e induce protección contra las tres enfermedades con una sola vacunación (Paoletti, 1983). En el caso de la ganadería o avicultura, poder aplicar una sola vacuna contra varias enfermedades reduciría los costos de manejo. Por otro lado, las proteínas serían más inmunogénicas, al estar incorporadas en la membrana del virus vacunal (Gillespie, 1986).

a.2. Vacunas sintéticas (péptidos)

Estas vacunas son producidas por métodos químicos fuera de organismos vivos. Se sintetiza la cadena de aminoácidos (componentes de las proteínas) de acuerdo con la secuencia del producto deseado (Arnon et al., 1983). Estas vacunas tienen la ventaja de que con ellas se pueden producir anticuerpos específicos contra las porciones más relevantes de los virus o bacterias (Mcfarland, 1984). Una de las mayores desventajas de este método es la relativa facilidad con que un virus podría cambiar esa porción de una de sus proteínas y, por tanto, podría escapar a la respuesta inmune generada por el péptido sintético. Un ejemplo de una vacuna sintética es la que se utiliza contra el virus de la Fiebre Aftosa; sin embargo, en pruebas de laboratorio se encontró que el virus fue capaz de mutar y escapar inmune en los animales vacunados (McKercher, 1985). En la actualidad se realizan pruebas para tratar de producir péptidos más complejos o series de péptidos que eviten que el virus mute tan fácilmente (Duque, 1987).

a.3. Agentes manipulados genéticamente

Por lo general son agentes de baja patogenicidad y con marcadores genéticos que permiten distinguirlos de los agentes de campo y, por lo tanto, se puede distinguir animales vacunados de animales infectados naturalmente. Un ejemplo de este tipo es una vacuna contra la Pseudorrabia (Upjohn) consistente en un virus mutante producido por manipulación genética, el cual no posee una de las proteínas virales (Kit et al., 1987). Esta proteína no influye sobre la efectividad de la vacuna; sin embargo permite, por medio de una muestra de suero y una sencilla prueba inmunológica, distinguir animales vacunados de animales que poseen el virus de campo. Esto es de suma importancia en programas de control de esta enfermedad, ya que se puede remover los animales infectados y dejar sólo los vacunados (Kit et al., 1986).

Otro ejemplo de una vacuna a base de un agente modificado es la vacuna contra el virus de la rinotraqueitis infecciosa bovina (virus herpes bovino tipo 1, IBR/IPV). Uno de los problemas más graves con este virus es el hecho de que los animales vacunados con vacuna viva, al igual que aquellos infectados en forma natural, mantienen la infección para siempre; son capaces de transmitir el virus y provocar epizootias de la enfermedad. Otra de las desventajas del virus vivo como vacuna es que produce aborto en animales preñados (Whetstone, 1983). Por esta razón, es muy deseable una vacuna que se pueda distinguir de las cepas patógenas de campo, y que a su vez sea capaz de inducir inmunidad adecuada (Rodríguez y Fernández, 1988).

b. Producción de zoterápicos

Entre los zoterápicos mejor conocidos están los **interferones**, sustancias de tamaño relativamente pequeño que usa el organismo para defenderse inespecíficamente de las infecciones, principalmente las causadas por virus. Estas sustancias han sido clonadas y se producen en bacterias y levaduras manipuladas genéticamente (Guzmán, 1987). Sus usos potenciales incluyen la protección de animales bajo "stress" contra infecciones virales.

Otro ejemplo son los **anticuerpos monoclonales**, los cuales son producidos por células "hibridomas", producto de la fusión de células productoras del anticuerpo deseado (linfocitos) con células tumorales (mielomas), lo cual les permite crecer y producir anticuerpos específicos indefinidamente (Sherman y Markham, 1986). Los anticuerpos monoclonales se han usado como terapéuticos (Colonno et al., 1986) y como prevención para infecciones gastrointestinales en terneros, causadas por *Escherichia coli* cepa K-99. Esta bacteria es una importante causa de diarrea en terneros; penetra por vía oral y se adhiere a las paredes del intestino a través de "vellos" o "pilus" en su superficie. Los anticuerpos monoclonales (Gen-col, Molecular Genetics Inc.) se pueden adquirir comercialmente; están dirigidos y reconocen únicamente estos "pilus", por lo cual bloquean la adherencia de la bacteria y previenen la diarrea (Sherman, 1983). Los mismos anticuerpos se usan en un "kit" de diagnóstico de campo para K-99 (Coli-tect, Molecular Genetics Inc.) con el cual se puede diagnosticar el problema en los primeros animales con diarrea y suministrar el anticuerpo a los otros para prevenir la enfermedad. Este enfoque de suministrar el diagnóstico de campo y el tratamiento específico podría extenderse a otros tipos de problemas virales y bacteriales, gastrointestinales y respiratorios y a otras especies además de bovinos, como por ejemplo porcinos o aves, donde el número de individuos y el potencial de venta es mucho mayor (Afshar, 1986). Por supuesto, debemos considerar aquí la producción de sustancias terapéuticas de amplio uso en producción animal, como es el caso de la **Hormona Foliculo Estimulante (FSH)** bovina, ampliamente utilizada en reproducción animal; ya se produce por tecnología de ADN recombinante (Chappel et al., 1988).

c. Producción de reactivos de diagnóstico

El diagnóstico de las enfermedades animales es una de las áreas más deficientes en la región centroamericana. Aun los métodos tradicionales de laboratorio que no involucran nuevas biotécnicas son poco usados a nivel de campo. Estos servicios por lo general son prestados por instituciones estatales. Sin embargo, a medida que se crean nuevas empresas productivas más sofisticadas, se van requiriendo mejores servicios de diagnóstico de enfermedades

animales. El diagnóstico de las enfermedades animales se obtiene por medio de la identificación en el laboratorio, ya sea del agente específico (bacteria, virus, parásito, etc), o de partes del mismo (antígenos, ácidos nucleicos) (Afshan et al., 1986). Alternativamente, se detecta la presencia de anticuerpos específicos contra el agente (Veijalainen et al., 1986). Los productos biotecnológicos que tienen más uso en diagnóstico son los anticuerpos monoclonales (AcMo). En la actualidad se comercializan, principalmente en Norteamérica y Europa, varios "kits" para diagnóstico de enfermedades animales basados en nuevas biotecnologías. Algunos ejemplos son: Rotavirus (Rotazyme, Abbott Labs.), Leucemia felina, Leucosis bovina y Anemia infecciosa equina (Pitmann Moore Inc.), Enfermedad de Gumboro, Bronquitis infecciosa y Enfermedad de Newcastle (Orgenics, Ltd., Israel), y otros. Este último ejemplo es en particular interesante; se trata de un método sumamente sencillo de usar a nivel de campo y permite obtener los niveles de inmunidad en poblaciones de aves, con lo cual se puede determinar la edad óptima de vacunación, o evaluar la efectividad de varias vacunas en pocos minutos. El principio de este "kit" es el uso de la técnica de "inmunopeine", que consiste en aplicar varios antígenos a cada uno de los "dientes" de un peine hecho de un tipo especial de nylon o de nitrocelulosa. Esto permite incubar cada "diente" del peine con un suero diferente por separado, con lo que se pueden probar simultáneamente varios sueros (8 por cada peine) contra varios agentes (3-5) (Obata y Cheng, 1988).

Algunas de las enfermedades de importancia en Centroamérica para las cuales "kits" de diagnóstico podrían tener buen mercado incluyen: hemoparásitos (anaplasmosis y piroplasmosis bovina y equina) (McLaughlin, 1986), Leucosis bovina, Anemia infecciosa equina, Reovirus aviar, y Coccidiosis bovina, entre otras. Algunos de estos productos están en fase de desarrollo e investigación en Norteamérica y Europa; sin embargo en esos países no existe tanta demanda como para justificar su comercialización, como podría ser el caso de Centroamérica. Es interesante hacer notar que el desarrollo de estos métodos puede alcanzarse sin necesidad de grandes inversiones en infraestructura. Lo más importante es identificar la demanda o la necesidad de la prueba, y proveer la promoción y asistencia técnica para su uso adecuado.

2. NUTRICION ANIMAL Y PROMOCION DE CRECIMIENTO

Cualquier producto que promueva la nutrición o el crecimiento animal tiene el potencial de contar con buena aceptación en la industria pecuaria.

Las hormonas naturales y esteroides sintéticos son ampliamente usados en todo el mundo para promover el crecimiento animal (Cuadro 2). Algunos de estos compuestos actúan sobre los microorganismos presentes en el tracto intestinal, ya sea bajando la población de

microorganismos dañinos o promoviendo el crecimiento de otros beneficiosos. Otros inducen el mejor aprovechamiento de nutrientes, y otros proveen nutrientes en forma directa.

Las hormonas de crecimiento producidas por ADN_r están aún en prueba y no se ha aprobado su uso. El propósito es introducir más hormona de crecimiento de lo normal para que el animal continúe creciendo más aceleradamente. Por otro lado, se ha reportado que bovinos que reciben dosis controladas de hormona de crecimiento (somatotropina) producida por ADN_r producen de un 10-25% más de leche; por lo tanto, teóricamente se podría mantener la misma producción de leche con 25% menos de animales en las fincas (Annexstad, 1987). La compañía Monsanto tiene bajo consideración del gobierno de EE. UU. la comercialización de esta hormona. Su ventaja es que, a diferencia de otras hormonas animales tales como esteroides (p. ej. estrógenos), la somatotropina bovina no se acumula en los animales tratados y aparentemente no funciona en humanos (no induce crecimiento); se probó en casos de enanismo y no funcionó. Sin embargo, uno de los principales problemas de estas sustancias es la administración continua que necesita y la seguridad de que no afecte a los consumidores de productos animales (Miller, 1986).

Algunas investigaciones en el área de nutrición animal están comenzando a ser dirigidas hacia los microorganismos intestinales que participan en la digestión y absorción de nutrientes, especialmente en rumiantes. Como se sabe, los rumiantes, a través de los microorganismos ruminales (bacterias, hongos y protozoarios), son capaces de utilizar la celulosa y obtener una serie de nutrientes de los pastos y forrajes. Si esos microorganismos se modifican genéticamente para cumplir esa función en forma más eficiente, se beneficiaría el aprovechamiento nutritivo y aumentaría la productividad. Esto sería de suma utilidad, especialmente en países en desarrollo donde las dietas animales son bajas en proteínas. Estos microorganismos modificados podrían "inocularse" fácilmente en el rumen por medio de bolos. Estas tecnologías están en fase de investigación y desarrollo en algunos países como los Estados Unidos, Canadá y Gran Bretaña (Taylor et al., 1987).

3. MEJORAMIENTO GENETICO

a. Inseminación artificial

Durante muchos años la Inseminación Artificial (IA) ha sido utilizada para el mejoramiento genético. En este momento esa técnica cuenta con amplia aceptación en todo el mundo. En Centroamérica, un alto porcentaje de los cruzamientos fueron hechos por IA. De éstos, gran parte (más del 80%) se efectuaron con semen importado principalmente de los EE. UU. y Canadá, y menos del 20% con semen local (Informe sobre la situación actual de la

inseminación artificial en el contexto de la ganadería bovina en Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Diciembre 1983). La tecnología de congelación de semen existe a nivel de todos los países centroamericanos; sin embargo, la comercialización interna es mínima. El área de evaluación genética computarizada unida a técnicas de control de calidad adecuadas, permitirían la sustitución de mucho del material genético que hoy se importa. Una de las principales áreas de investigación en inseminación artificial es el sexado del semen, a través de diferentes métodos tales como centrifugación diferencial e inmunoafinidad. Esto permitiría aumentar las posibilidades de escoger el sexo de las crías (Johnson et al., 1987; Seidel, 1988).

b. Transferencia y manipulación genética de embriones

La transferencia de embriones es, en la actualidad, una de las biotécnicas que más auge toman en todo el mundo, dado que permite obtener un mayor número de animales prole de aquellos animales genéticamente valiosos en un tiempo muy corto (Smith, 1988).

Sin embargo, la transferencia de embriones es sólo una parte de toda una serie de técnicas relacionadas con ésta. En síntesis, la transferencia de embriones consiste en inducir a un animal genéticamente valioso (donador) a producir varios óvulos (superovulación) que son fecundados para producir embriones (Carney y Bavister, 1987). Estos embriones son recuperados del útero del animal a través de un "lavado" o "flushing". Los embriones así recuperados son transferidos a otras vacas (receptoras), las cuales se encargan de llevar a término la gestación (Britt y Holt, 1988). De esta manera, se pueden producir hasta 15 terneros hijos de una vaca genéticamente valiosa (donadora), con un mismo toro, en el período de una sola gestación (9 meses). Este procedimiento es el básico; es usado con cierto éxito por médicos veterinarios en todo el mundo, inclusive en varios países latinoamericanos (Del Campo et al., 1988).

En Centroamérica se ha realizado transferencia de embriones en forma semicomercial desde 1983, con éxito variable (Cuadro 3). Algunos de los veterinarios dedicados a este campo reportan porcentajes de éxito de un 30-50% en condiciones de campo. Por supuesto los porcentajes de éxito son mejores durante los últimos años. Se transfieren tanto embriones obtenidos de donadoras locales como embriones importados de Norteamérica (Cuadro 3).

Existen algunas variables respecto a la técnica básica, por ejemplo la congelación de embriones, que permite transferirlos en el momento adecuado en caso de no poseer suficientes animales receptores (Suzuki, 1986). Otro ejemplo es la micromanipulación de embriones o "embryo splitting", que consiste en "partir" el embrión de 4-8 células en dos nuevos embriones, con lo cual se

pueden obtener animales totalmente idénticos. Otra técnica utilizada es la fertilización *in vitro*, que consiste en fertilizar los óvulos fuera del animal y luego transferirlos. Este procedimiento, combinado con técnicas de maduración *in vitro* de ovocitos (precursores de óvulos maduros), permite producir embriones de animales que se han sacrificado y de los cuales se ha recuperado los ovarios (Lu et al., 1988).

Transplante nuclear

Una de las técnicas más novedosas es el transplante nuclear en embriones (Prather et al., 1987). La técnica consiste en coleccionar ovocitos (huevos no fecundados) de animales poco valiosos y remover la información genética propia; luego se toman los blastómeros (información genética) del embrión que se desea "clonar" y se inserta uno en cada ovocito. Así de un embrión de 4 blastómeros se producen 4 ovocitos "transplantados". Luego los ovocitos se someten a pulsos eléctricos (electrofusión) para promover la fusión del material genético y se ponen a madurar en el oviducto ligado de una oveja. Aquí los nuevos embriones maduran y se puede volver a repetir el procedimiento, para producir más individuos idénticos (clones); estos embriones se pueden transferir a animales receptores para producir progenie (Prather et al., 1988). Por el momento el método no es muy eficiente, pero varios grupos trabajan en el perfeccionamiento de estas técnicas, especialmente en la Universidad de Wisconsin, en el laboratorio del Dr. Neil First (Marx, 1988).

Una de las aplicaciones biotecnológicas que más interesa a los productores pecuarios es poder determinar el sexo de la progenie de sus animales; así a los productores de leche les interesa aumentar el número de hembras, y a los de carne el número de machos. Un grupo de trabajo en la Universidad de Davis-California ha descubierto un anticuerpo monoclonal que reacciona con antígenos específicos del embrión macho (H-Y) (Anderson, 1987). Con un método de inmunofluorescencia son capaces de seleccionar los embriones macho y los embriones hembra, con un éxito del 85% en la predicción del sexo, y sin afectar la viabilidad de los embriones para ser transplantados.

Otros procedimientos que se han utilizado para identificar el sexo, incluyen el uso de sondas de ADN específicas para el genoma del macho; sin embargo, este procedimiento requiere obtener el ADN del embrión, con lo cual puede bajar sensiblemente la viabilidad del mismo (Ellis et al., 1988)

Animales transgénicos

Una de las aplicaciones más interesantes de la biotecnología sería la manipulación genética a nivel embrionario para producir animales transgénicos, o sea que contienen genes foráneos

incorporados a sus propios genes (Reed et al., 1988; Murray et al., 1988). Tal es el caso de ratones transgénicos, a los cuales se les incorporó, durante la fase embrionaria, el gen de la lactoalbúmina de oveja. Al crecer, esos ratones produjeron leche que contenía lactoalbúmina de oveja (Simons et al., 1987). El ejemplo clásico es aquel en el cual el gen de la hormona de crecimiento es incorporado a embriones, con lo cual se producen animales de tamaño mucho mayor del normal. Hasta el momento esto se ha logrado en ratones, ovejas, cerdos y bovinos, con éxito relativo (Rexroad y Pursel, 1988). La regulación de la producción de la hormona puede ser inducida con sustancias como el zinc, ya que el gen de la hormona se puede asociar al promotor del gen de la metalotionina, una sustancia que solamente se produce en presencia de altas cantidades de estos metales. Por ejemplo, se ha logrado producir "superratones" capaces de crecer hasta un 35% más que los ratones normales. Una ventaja de estos métodos es que esto se logra sin suministrar sustancias foráneas a los animales, tales como hormonas artificiales, y la producción de la hormona natural se puede detener al suspender la dieta rica en zinc, con lo cual se podrían evitar problemas para el consumo humano (Palmiter et al., 1982).

Un uso práctico de los animales transgénicos es incorporar en ellos genes de sustancias útiles desde el punto de vista terapéutico, que son difíciles de producir o purificar a partir de microorganismos modificados por ingeniería genética. Así, se han producido ovejas transgénicas que producen en su leche el factor de coagulación IX de humanos, utilizado para el tratamiento de hemofílicos (Wilmot, 1988). Sin embargo los niveles obtenidos hasta ahora son muy bajos para ser aprovechados comercialmente. Entre las mayores ventajas de producir proteínas para terapia en humanos en animales transgénicos, es la reducción en el costo ya que estos productos se obtienen actualmente de plasma o de tejidos humanos (cadáveres) a un costo sumamente alto y con el riesgo de transmisión de infecciones graves como lo es el virus del SIDA. Mientras que en animales transgénicos podrían obtenerse a partir del plasma o la leche de éstos (Wilmot, 1988).

4. PRODUCCION DE SUSTANCIAS DE ORIGEN ANIMAL PARA USO EN DIAGNOSTICO, INVESTIGACION Y TERAPEUTICA

Muchos materiales de origen animal siguen siendo utilizados para la purificación de hormonas, sales biliares, y otras sustancias que se usan tanto para diagnóstico e investigación como para terapia, tanto en animales como en humanos. Entre estas sustancias pueden mencionarse: suero fetal bovino, abomasos, páncreas, glándulas suprarrenales, bilis, cristalino de cerdo, y otras. En la actualidad el suero fetal bovino es usado en grandes cantidades en investigación y diagnóstico, tanto en Norteamérica como en Europa. Existen datos de que solamente Costa Rica exportó al menos 25 000

litros de este suero durante 1987, como "materia prima" que fue procesada en otros países y vendida a más de US\$230 por litro (US\$5 750 000) por estas compañías (Castro, C. Comunicación Personal, 1988). Este procesamiento podría realizarse localmente y exportarse el producto ya terminado. El procesamiento consiste básicamente en centrifugación, filtración e irradiación con rayos gamma, además de las pruebas de esterilidad y control de calidad necesarias (APHIS, 1988).

Como este caso, existen otros productos que podrían exportarse en forma más terminada, generando un mayor ingreso de divisas y mayor empleo en la región.

CONCLUSIONES

Esta breve revisión presenta una serie de tecnologías innovadoras que se han desarrollado en los últimos años; su potencial de uso es inmenso para los países centroamericanos y podrían representar fuentes de ingreso alternas a los productos tradicionales de exportación y sustituir productos de importación de alto costo. Debemos recordar que las necesidades de uso de la biotecnología en Centroamérica son diferentes de las que existen en los países desarrollados u otras regiones; por lo tanto, nos va a corresponder desarrollarlas en forma autóctona, basados en nuestra propia realidad.

La producción animal en toda el área centroamericana representa una de las más importantes fuentes de proteína para la población. Además, es fuente de divisas, como resultado de la exportación de carne, cueros y otros subproductos de origen animal. Sin embargo, el sector pecuario atraviesa una seria crisis producida por los bajos precios de la carne y otros productos de origen animal en los mercados internacionales y el aumento en los costos de producción. Una posible solución a este problema sería el aumento en la eficiencia de producción. Sin embargo, para aumentar la eficiencia es necesario mejorar cuatro áreas estrechamente relacionadas: nutrición, reproducción, mejoramiento genético y salud. En cada una de estas áreas la biotecnología presenta opciones para el mejoramiento de la eficiencia productiva. Por ejemplo, la transferencia embrionaria permitiría la evaluación rápida del material genético de los animales en términos de su adaptabilidad a condiciones tropicales (Smith, 1988). La aplicación de técnicas de diagnóstico a la ganadería podría disminuir las altas pérdidas ocasionadas por las enfermedades animales, la mayoría de las cuales podrían prevenirse con programas de diagnóstico y vacunación adecuados (Cuadro 1). Un caso típico es el de la anaplasmosis, una enfermedad del ganado en el trópico. Ya existe al menos una vacuna subunitaria, que podría ser de extrema utilidad en Centroamérica; sin embargo, no se comercializa debido en parte a que en el país donde se produjo la vacuna esta enfermedad no tiene tanta importancia como en Centroamérica y otras regiones

tropicales (Palmer et al., 1986). De aquí la importancia de poder desarrollar nuestra propia biotecnología.

La implementación de la biotecnología en Centroamérica comprende varias etapas concomitantes e interdependientes:

- a. Investigación y desarrollo.
- b. Estudios de necesidades y mercados.
- c. Transferencia de las técnicas del laboratorio al nivel industrial.

Actualmente, en Centroamérica los esfuerzos son, con pocas excepciones, pequeños intentos a nivel de investigación y desarrollo, concentrados sobre todo en instituciones de educación superior y algunos institutos estatales. En estos lugares se encuentra concentrado el personal capacitado. La forma más útil de implementación sería realizar esfuerzos conjuntos entre estas instituciones y empresas privadas. Este tipo de interacción ("joint ventures") podría tener un auge nunca antes visto en Centroamérica, ya que las autoridades gubernamentales comprenden que sólo de esa forma se podrá sacar máximo provecho a los conocimientos desarrollados en las instituciones de educación superior, al ser aplicados por empresas privadas en la producción de bienes, tanto de consumo interno como de exportación.

Fig. 1

MECANISMO DE ACCION DEL INTERFERON

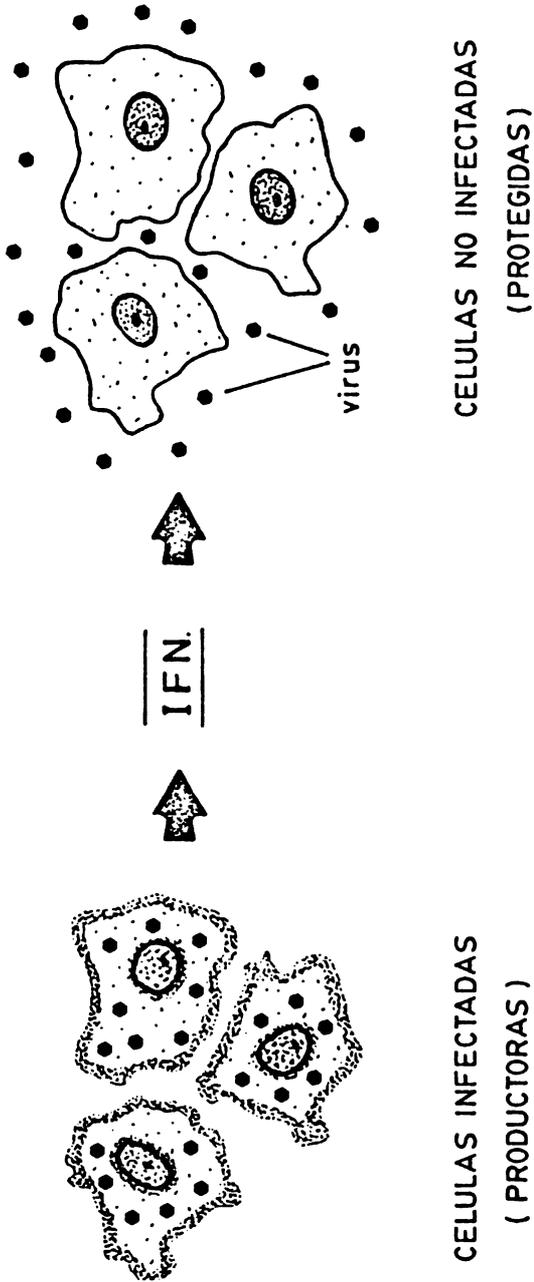


Fig. 2

INYECCION DE GENES

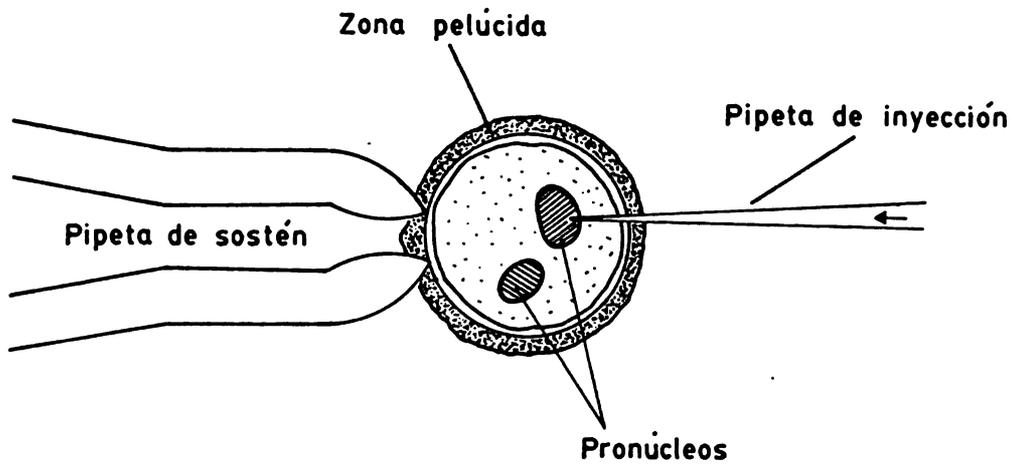
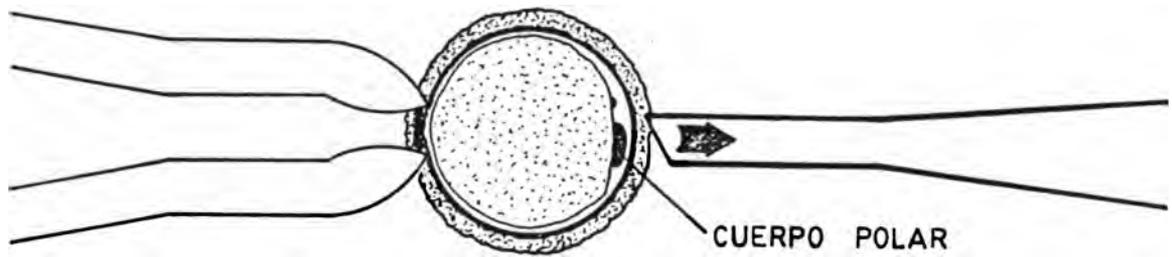
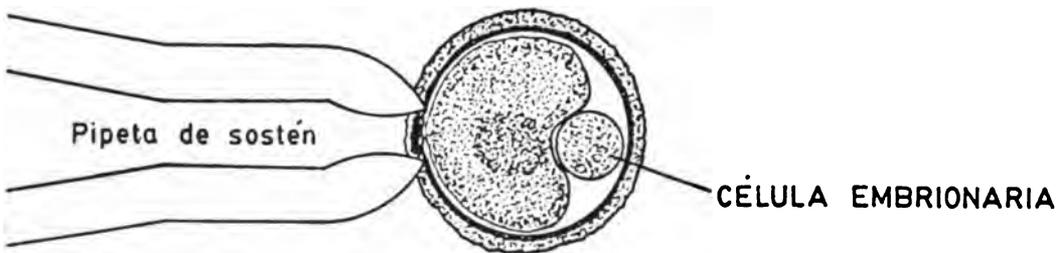


Fig. 3

CLONAJE DE EMBRIONES BOVINOS

**1** Remoción del Cuerpo Polar**2**

CUADRO 1
PROGRAMAS DE VACUNACION ADECUADOS

Enfermedad	Vacuna actual	Potencial
Fiebre aftosa	Problemas por variabilidad genética	Sustitución
Rabia	Problemas de reacción secundaria	Sustitución
Peste porcina africana	No existe; anticuerpos no neutralizan el virus	Producto nuevo
Rinotraqueitis infecciosa bovina	Produce infección latente, confunde infectados con vacunados	Sustitución
Pseudorrabia	Igual que en el caso anterior	Sustitución
Leucosis viral bovina	No existe	Producto nuevo
Anemia infecciosa equina	No existe	Producto nuevo
Anaplasmosis	Problemas de reversión de patogenicidad	Producto nuevo
Neumonía bacterial	Respuesta inmune débil	Producto nuevo
Garrapatas (saliva)	No existe vacuna	Producto nuevo

CUADRO 2

ALGUNOS PRODUCTOS USADOS COMO PROMOTORES DEL CRECIMIENTO ANIMAL

Producto	Fabricante	Ventas (mundo) 1980
Ralgro	I.M.C.*	24
Synovex	Syntex	16
Rumerain	Eli Lilly	65
Avoparcin (Avotan)	American Cyanamid	20

* International Minerals and Chemicals

Fuente: Zimmer et al. 1981. Industry report: animal products market. Eberstadt Co, New York.

CUADRO 3

TRANSFERENCIA DE EMBRIONES EN CENTROAMERICA

País	Institución (empresa)	Tipo
Costa Rica	Escuela Medicina Veterinaria	Experimental
	Dres. Quirós y Solís	Semicomercial
	Dres. Robert y Fernández	Semicomercial
	Programa UNA-MAG-GTZ	Experimental
	CATIE - Univ. Missouri	Experimental
Nicaragua	Centro Nacional de Mejoramiento Genético	Semicomercial
Honduras	Hda. El Tumbador - Univ. Gainsville	Semicomercial
El Salvador	No se obtuvo información	
Guatemala	No se obtuvo información	

* Fuentes: IICA y entrevistas personales efectuadas por el autor.

CUADRO 4
PRODUCTOS BIOTECNOLOGICOS CON POTENCIAL DE DESARROLLO Y
COMERCIALIZACION EN EL AREA CENTROAMERICANA

Producto	Dosis por año ^a
Vacunas	
Rabia	500 000
IBR,PI-3, BVD	50 000
Anaplasmosis	100 000
Brucelosis	1 000 000
Babesiosis	100 000
Marek (aves)	15 000 000
Newcastle (aves)	15 000 000
Laringotraqueitis (aves)	2 000 000
Reovirus (aves)	1 000 000
Encefalomiелitis (aves)	1 000 000
Reactivos de diagnóstico	
Leucosis bovina	100 000
IBR-PI3-BVD	10 000
Encefalitis equina	50 000
Anaplasmosis y babesiosis	50 000
Brucelosis	1 000 000

a. Estimaciones conservadoras del autor basadas en el consumo de estos productos en Costa Rica durante 1986-1987.

BIBLIOGRAFIA

- APHIS. (USDA). 1988. Fetal Bovine Serum Import Requirements.
- AFSHAR, A. et al. 1986. Dot-Enzyme Immunoassay for visual detection of antibodies to pseudorabies virus in swine serum. *J. Clin. Microbiol.* 23:563-565.
- ANDERSON, G.B. 1987. Identification of embryonic sex by detection of H-Y antigen. *Theriogenology.* 27: 81-97.
- ANNEXSTAD, J. 1987. New facts on bovine somatotropin research. *Dairy Herd Management Magazine*, January 1987.
- ARNON, R. et al. 1983. Synthetic Vaccines (review article). *J. Immunol. Meth.* 61:261-273.
- BACHRACH, H.L. 1982. Recombinant DNA technology for the preparation of subunit vaccines. *JAVMA* 181:992-999.
- BIOTECNOLOGIA Y TERCER MUNDO: POLITICAS Y ESTRATEGIAS. 1988. *Boletín de Biotecnología (CONICIT, Costa Rica).* Vol. 5 (1): 1-3
- BRITT, J.H.; HOLT, L.C. 1988. Endocrinological screening of embryo donors and embryo transfer recipients: A review of research with cattle. *Theriogenology.* 29:189-201.
- CARNEY, E.; BAVISTER B. 1987. Stimulatory and Inhibitory Effects of Aminoacids on the Development of Hamster Eight-Cell Embryos in Vitro. *J. in Vitro Fertilization and Embryo Transfer.* 4: 162-167.
- CHAPPEL, S. et al. 1988. Bovine FSH produced by recombinant DNA technology. *Theriogenology.* 29:235-236.
- COLONNO, R. J. et al. 1986. Isolation of a monoclonal antibody that blocks attachment of the major group of human rhinoviruses. *J. Virol.* 57: 7-12.
- DEL CAMPO, M.R., et al. Bovine embryo transfer under field conditions in Chile. XI International Congress on Animal Reproduction and Artificial Insemination. June 26-30 1988.
- DUQUE, H. 1987. Compañía VECOL, Bogotá, Colombia. Comunicación personal.
- ELLIS, S.B. et al. 1988. Sex determination of bovine embryos using male specific DNA probes. *Theriogenology.* 29:242.

- GILLESPIE J.H. *et al.* 1986. Response of dairy calves to vaccinia viruses that express foreign genes. *J. Clin. Microbiol.* 23: 283-288.
- GLOVER, D.M. (ed). 1984. Gene cloning: the mechanics of DNA manipulation. Chapman and Hall, New York.
- GUZMAN, G.; KOURI, G.; AGUILERA, A.; SOLER, M. 1987. Inhibición de la multiplicación del virus dengue en presencia del interferón. *Interferón y Biotecnología (Cuba)*, 4:108-114.
- HODGES, H. 1986. Biotechnology and domestic animals. *World Animal Review.* 59: 2-10.
- JOHNSON L.A.; FLOOK, J.P.; LOOK, M.V. 1987. Flow sorting of X and Y chromosome-bearing spermatozoa into two populations. *Gamete Research.* 16:1-9.
- KIT, S.; KIT M.; McCONNELL, S. 1986. Intramuscular and intravaginal vaccination of pregnant cows with thymidine kinase-negative, temperature resistant infectious bovine rhinotracheitis virus (bovine herpesvirus 1). *Vaccine* 14: 55-61.
- KIT, S.; SHEPPARD, M.; ICHIMURA, H. 1987. Second-generation pseudorabies virus vaccine with deletions in thymidine kinase and glycoprotein genes. *Am. J. Vet. Res.* 48: 780-793.
- KOSHLAND, D.E. 1985. Excursions in biotechnology. *Science* 229:1191.
- KUPPER, H. *et al.* 1981. Cloning of cDNA of major antigen of foot and mouth disease virus and expression in *E. coli*. *Nature.* 289: 5798-5801.
- LU, K.H. *et al.* 1988. Production of cattle embryos by *in vitro* maturation and fertilization of follicular oocytes and their subsequent culture *in vivo* in sheep. *Theriogenology.* 29: 272.
- MACFARLAND, R. *et al.* 1984. T cell responses to cleaved rabies virus glycoprotein and to synthetic peptides. *J. Immunol.* 133:2748-2751.
- MARX, J. L. 1988. Cloning sheep and cattle embryos. *Science*, 239: 463-464.
- McKERCHER, P.D. *et al.* 1985. Dose-response of a genetically engineered foot-and-mouth disease virus polypeptide immunogen in cattle. *Am. J. Vet. Res.* 46:587-590.
- MILLER, L.A. 1986. Vicepresidente y Gerente General, División de Ciencia Animal, Testimonio ante el Comité de Ganadería, Lechería

y Avicultura de la Cámara de Representantes de EE.UU. Washington D. C., junio 11, 1986.

- MURRAY, J.D., *et al.* 1988. Techniques for the transfer of foreign genes into animals. Proceedings, XI International Congress on Animal Reproduction and Artificial Insemination, Dublin, June 26-30 1988, Vol. 5: 19-27.
- OBATA, T.; CHENG. S.Y. 1988. Strip-comb dot immunobinding: a rapid, easy and sensitive method to screen monoclonal antibodies. *Bio Techniques* 6:299-303.
- PALMER G.H. *et al.*, 1986. Immunization with an isolate-common surface antigen protects cattle against anaplasmosis. *Science*. 231:1299-1302.
- PALMITER, R.D.; BRINSTER, R.L.; HAMMER, R.E. 1982. Dramatic growth of mice that develop from eggs microinjected with methionine-growth hormone fusion genes. *Nature* 300: 1046-1048.
- PAOLETTI, E. *et al.* 1983. Construction of live vaccines using genetically engineered poxviruses. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 81:193-197.
- PRATHER, R.S., *et al.* 1987. Nuclear transplantation in the bovine embryo: assesment of donor nuclei and recipient oocyte. *Biology of Reproduction*. 37: 859-866.
- PRATHER, R.S. *et al.* 1988. Nuclear transplantation in the early porcine embryo. *Theriogenology* 29:290.
- REED, M.L. *et al.* 1988. Microinjection of liposome-encapsulated DNA into murine and bovine blastocysts. *Theriogenology* 29: 293.
- REXROAD, C.E.; PURSEL V.G. 1988. Status of gene transfer in domestic animals. Proceedings, XI International Congress on Animal Reproduction and Artificial Insemination. June 26-30 1988, Vol. 5: 28-35.
- RODRIGUEZ, L.; FERNANDEZ, S. 1988. Aislamiento del virus herpes bovino tipo 1 asociado a casos de vulvovaginitis, conjuntivitis y rinitis en hatos lecheros de Costa Rica. *Ciencias Veterinarias (Costa Rica)*, 9:105-109.
- SCHUDEL A.A. 1988. Biotechnology in Veterinary Science: perspectives in Latin America and the Caribbean. XI Congreso Latinoamericano de Ciencias Veterinarias. 14-20 de agosto, 1988.

- SEIDEL, G.E. 1988. Sexing mammalian sperm and embryos. Proceedings, XI International Congress on Animal Reproduction and Artificial Insemination. June 26-30 1988, Vol. 5: 136-144.
- SHERMAN, D.M.; ACRES, S.D.; SADOWSKI, P.L. 1983. Protection of calves against fatal enteric colibacillosis by orally administered *Escherichia coli* K-99-specific monoclonal antibody. *Infection and Immunity* 42:653-658.
- SHERMAN, D.M.; MARKHAM, R.J.F. 1986. Current and future applications of monoclonal antibodies against bacteria. 3: 295-340.
- SIMONS J.P. et al. 1987. Alteration of the quality of milk by expression of sheep B-lactoglobulin in transgenic mice. *Nature*. 328: 530-532.
- SMITH, C. 1988. Applications of Embryo Transfer in Animal Breeding. *Theriogenology*. 29: 203-212.
- SOMMER, R.G. 1986. New directions: emphasizing biotechnology. *Science* 232: part II:5.
- TAYLOR, K.A.; CROSBY, B.; MCGAVIN, M.; FROSBERG, C.W.; THOMAS, D.Y. 1987. Characteristics of the endoglucanase encoded by a *cel* gene from *Bacteroides succinogenes* expressed in *E. coli*. *Applied and environmental microbiology*. 53:41-46.
- VEIJALAINEN P. et al. 1986. Latex agglutination test for detecting feline panleukopenia virus, canine parvovirus, and parvoviruses of fur animals. *J. Clin. Microbiol.* 23: 556-559.
- WILKIE, B. 1988. Biotechnology and Animal Health. Ontario Veterinary Report. 3 (2): 1-2.

**PERSPECTIVAS DE LAS TECNOLOGIAS ENZIMATICAS Y DE
FERMENTACION EN AMERICA CENTRAL**

Carlos Rolz*

La ingeniería bioquímica puede ser caracterizada como la aplicación de los principios de la ingeniería química al análisis y al diseño de procesos biotecnológicos.

Los sistemas productivos a escala industrial en la biotecnología consisten en el crecimiento y/o funcionamiento fisiológico controlado, tanto de células de microorganismos, plantas o animales como de estructuras celulares y macromoleculares (enzimas) previamente separadas y/o purificadas e inmovilizadas.

En virtud de lo complejo y extenso del tema, los comentarios que siguen se circunscribirán a los procesos y/o productos siguientes:

- a. Biomasa microbiana propiamente dicha
- b. Producción de ciertos metabolitos primarios
- c. Biocatálisis
- d. Células animales y vegetales
- e. Operaciones unitarias de purificación de productos

Es conveniente resaltar que, dado que en la región centroamericana se cultiva y procesa en forma intensiva la caña de azúcar para obtener el producto cristalizado comercial, los subproductos de dicha actividad son substratos adecuados y potenciales para fomentar el desarrollo de una industria de fermentación agresiva. De los mismos (ver Cuadro 1), las mieles finales o melazas son los de más interés, ya que contienen una alta concentración de hexosas, carbohidratos rápidamente asimilables por una gran gama de microorganismos. Una fracción de las mismas actualmente se exporta fuera de la región, con precios unitarios que fluctúan alrededor de \$CA**60-80 por tonelada métrica; otra parte se procesa como más adelante se discutirá o se comercializa internamente como un alimento para animales rumiantes.

En el Cuadro 2 se ha resumido información para cinco posibles productos que pueden obtenerse directamente por la acción de microorganismos sobre los azúcares de las mieles. Aunque más

* Jefe, Departamento Técnico Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI)

** Pesos centroamericano, establecido para el Mercado Común Centroamericano. Paridad 1 = 1 con US\$.

adelante se comentarán en más detalle las particularidades de algunos de ellos, puede observarse en el Cuadro citado que para productos de precio relativamente bajo (etanol, acetona-butanol), el costo de la materia prima (las melazas) y el rendimiento de su bioconversión al producto deseado influyen apreciablemente en su estructura de costos, de manera tal que el costo equivalente de la materia prima llega a representar un porcentaje apreciable del precio de venta del producto (un 77 %). Conforme el precio de venta aumenta, dicho efecto se hace relativamente más bajo: para la lisina y la goma xantano, apenas es del 13% y el 2% respectivamente. Otro aspecto importante señalado en el Cuadro es la baja concentración de los productos finales en el biorreactor; esto indica que en estos procesos las operaciones unitarias de purificación y concentración de los productos son críticas. Dicho aspecto resulta aún más importante para productos tales como antibióticos, hormonas, proteínas específicas con actividades biológicas y otros, que en algunos casos se han producido con microorganismos modificados genéticamente.

Producción de biomasa microbiana

La biomasa de microorganismos es una excelente fuente de nutrientes (proteínas, grasa, vitaminas, minerales y otros factores). Por lo tanto, siempre ha existido un interés de incorporarla al sistema alimentario humano tanto en forma directa como indirecta (a través de animales). Entre ellas, es la proveniente de levaduras la que posiblemente se ha estudiado con mayor profundidad.

Se conoce bastante respecto al crecimiento de levaduras en medios ricos en azúcares (como melazas de caña), en donde los niveles de oxígeno disuelto y de azúcares en el medio regulan el metabolismo celular de manera que se produzca exclusivamente masa celular y dióxido de carbono o, por el contrario, se minimice la producción de biomasa y se favorezca la producción de metabolitos, como por ejemplo el etanol. Cuba es el país que produce más biomasa de levadura a partir de melazas en el mundo; las dedica exclusivamente a la alimentación de animales monogástricos.

La biomasa de levadura contiene aproximadamente un 45% de proteína cruda y su costo de producción se ha estimado en \$CA 600-700 por tonelada métrica. Esto es equivalente a un precio de \$CA 1333 por tonelada de proteína. En Centroamérica se importan actualmente unos \$CA 38 millones en harina de soya para su incorporación en raciones de alimentación para monogástricos, pero a un precio por tonelada de proteína de apenas \$CA 600 (Rolz et al., 1986a).

Posiblemente por esta razón, la biomasa de levadura en Centroamérica únicamente se produce a partir de melazas de caña para otros usos en los cuales su precio unitario es más elevado, por ejemplo en panificación.

Sin embargo, existen otras alternativas y estrategias para poder emplear la biomasa microbiana en la alimentación (Rolz y Humphrey, 1982).

Una de ellas consiste en emplear la biomasa de levadura producida en procesos anaeróbicos de producción de etanol para bebidas o para su empleo como combustible, ya que en los mismos es usual una producción de alrededor de 0.1 Kg de biomasa seca por litro de etanol producido, cantidad que de todas maneras en la mayoría de los casos no se recicla al proceso.

La proporción de aminoácidos en la biomasa de la levadura aumenta considerablemente si durante el proceso fermentativo de producción de etanol se suplementan las melazas con fuentes de nitrógeno tales como sulfato de amonio y urea. En el Cuadro 3 se han resumido los datos experimentales obtenidos por el Dr. Walter Borzani y colaboradores en Sao Paulo que ilustran claramente el hecho antes mencionado.

Este es un ejemplo también de cómo es posible manipular algunas características de los microorganismos ejerciendo algún tipo de control durante su crecimiento. Muchos otros casos son discutidos con amplitud por Goldberg (1985) en su reciente monografía sobre el tema y que el lector interesado puede consultar.

La biomasa de levadura recuperada de la manufactura de cerveza, previamente lavada y deshidratada, se ha podido incorporar hasta un 3% en dietas de pollos de engorde (Mafwila y Dimbani, 1977), y ha reemplazado hasta un 24% de la harina de pescado en la ración destinada para gallinas ponedoras. En ambos casos no hubo efectos nocivos para la salud del animal; más aún, los índices nutricionales mejoraron con respecto al control.

Si se pretende emplear la biomasa de levadura para la alimentación humana directa, es necesario procesarla para eliminar factores que la hacen poco digerible, como la pared celular, o dañina, como los ácidos nucleicos (Kihlberg, 1972). En el Cuadro 12 se ha sumariado la metodología empleada por de Arriola y colaboradores, en ICAITI, para procesar una cepa de levadura *Saccharomyces cerevisiae* proveniente de una destilería de ron y obtener un concentrado proteico libre de pared celular y con un contenido reducido de ácidos nucleicos. La metodología fue diseñada de acuerdo con las diferentes alternativas discutidas por Hedenskog y Mogren (1973). Se obtuvo una recuperación de proteína de un 64% y se eliminó el 91% de los ácidos nucleicos iniciales,

proteína verdadera con un contenido de 9 g de lisina por 100 g de proteína; fue incorporado en el proceso de nixtamalización para preparar tortillas de maíz en un 18% en base seca, sin afectar significativamente las propiedades organolépticas de las mismas.

En lugar de crecer levaduras, muchos investigadores han pensado que los hongos filamentosos poseen una maquinaria enzimática que los hace más adaptables a substratos complejos e insolubles tales como los residuos lignocelulósicos o subproductos agroindustriales amiláceos, y con base en esto han recomendado su aplicación en unidades productivas relativamente pequeñas orientadas a la bioconversión de biomasa residual a productos de alimentación humana y animal. Dichos microorganismos se prestan también mejor a desarrollarse en sistemas que contienen una alta concentración de sólidos insolubles en el reactor, en donde el crecimiento toma lugar en la superficie del sólido húmedo o cerca de ella, sin que ocurra una fase líquida distinguible. Dicha metodología se conoce como fermentación al estado sólido o SSF (Mudgett, 1986).

A pesar de que se ha publicado un gran número de datos de operación de unidades piloto y prototipos, el desarrollo de biorreactores específicos para manejar altas concentraciones de sólidos y estrategias operacionales que minimicen costos, definitivamente demanda mayores esfuerzos investigativos que lleguen a culminar en la propuesta de mejores perspectivas económicas de las que actualmente existen.

Se han recomendado, como las mejores estrategias para procesos que emplean el cultivo sólido de microorganismos, las dos alternativas siguientes:

- a. Sistemas mixtos para la producción simultánea de alimento humano y para animales (Rolz, 1984), y
- b. Sistemas dirigidos para la producción simultánea de metabolitos (Rolz, 1988).

La idea básica de transformar residuos agroindustriales en productos enriquecidos para la alimentación animal a través de una bioconversión controlada mediante el empleo de la técnica del cultivo al estado sólido, puede resumirse en la forma siguiente:

Para animales monogástricos: a) enriquecimiento proteico de substratos amiláceos; b) reducción de los componentes fibrosos de residuos lignocelulósicos; c) detoxificación de substratos muy específicos.

Para animales rumiantes: a) aumento en la digestibilidad de componentes fibrosos; b) detoxificación de substratos muy específicos.

Puede entonces observarse que cada aplicación debe evaluarse muy concretamente, de acuerdo con el animal usuario del producto, el tipo de subproducto y algunas características que lo hacen especial, por ejemplo la presencia de componentes tóxicos y antifisiológicos que limitan su incorporación en las raciones balanceadas.

Uno de los sistemas mixtos que se han propuesto para substratos lignocelulósicos, es el de emplear basidiomicetos fructificantes en matrices lignocelulósicas con requerimientos de pretratamientos físico-químicos mínimos. Los cuerpos fructificantes, para ser empleados como un excelente alimento para humanos, nutritivo y delicioso. La matriz sólida residual, para ser empleada en la alimentación de rumiantes (Zadrazil, 1984; Rolz, 1984).

En el Cuadro 4 se presenta un resumen de los datos experimentales de la bioconversión de paja de trigo por el basidiomiceto *Pleurotus sajor-caju*, y del empleo del residuo en la alimentación de ovejas. Durante la bioconversión, sólo se perdió cerca de un 30% del peso seco de la paja original; se obtuvo en cambio alrededor de 17% en base seca de cuerpos fructificantes. Asimismo, el residuo mostró mayor palatabilidad para el animal al consumir más del mismo. Su digestibilidad global aumentó levemente. La de la celulosa se incrementó en forma significativa, posiblemente por la acción destructiva del hongo sobre la matriz sólida, hecho que se ha comprobado en otros casos y que se encuentra asociado con la degradación de lignina (Haars y Huttermann, 1980; Blanchette, 1984).

De hecho, la eliminación de la lignina de residuos lignocelulósicos tropicales por medio de hongos basidiomicetos ha sido un tema extensamente estudiado en ICAITI. Específicamente tiene relevancia especial en el caso de Centroamérica por la disponibilidad anual de la pulpa de café, un subproducto que a la fecha se encuentra subempleado y que origina una seria contaminación ambiental. La pulpa representa un 40% de la fruta fresca y se estima que se producen más de un millón de toneladas al año en la región. Existe en San José, Costa Rica una planta que procesa pulpa en forma continua, mediante un proceso de presado, secado y molienda. Las cantidades permisibles de dicho producto en las raciones para animales son: 12% para ganado lechero, 7.5% para cerdos y únicamente un 5% para aves. Dichas cifras están limitadas por el contenido alto de cafeína, polifenoles y potasio en la pulpa, así como las características de su lignocelulosa (Bressani, 1979). Su detoxificación y acondicionamiento vía bioconversiones al estado sólido en sistemas mixtos es una alternativa atractiva que permitiría aumentar su proporción en las raciones para animales.

En el Cuadro 5 se ilustra el efecto del crecimiento al estado sólido de los basidiomicetos no sólo sobre la pulpa de café, sino

sobre tres bagazos de cultivos tropicales: la caña de azúcar, el té de limón y la citronela. Se observa que, paralelamente a una disminución del peso seco del substrato existe una delignificación significativa; en el caso de la pulpa del café también es obvio que los niveles de bioconversión alcanzados dependen mucho del substrato empleado; así, el bagazo de la caña de azúcar es el residuo lignocelulósico más difícil de atacar por las enzimas de los basidiomicetos. En estos casos es posible que algunos de los pretratamientos fisico-químicos del substrato sean atractivos. Se refiere al lector a un extenso trabajo realizado en ICAITI sobre el bagazo de caña (Rolz et al., 1987b).

Fijación de nitrógeno

Aparte de su empleo como fuente de nutrientes, la biomasa microbiana tiene también otras aplicaciones de mucho interés e importancia para Centroamérica. Específicamente deben tenerse en cuenta las interacciones entre planta y microorganismos, interacciones que pueden ser **altamente beneficiosas**, tales como las bacterias rizogénicas fijadoras de nitrógeno y las micorrizas, y/o **dañinas para la planta**, es decir los microorganismos fitopatógenos.

El nitrógeno es generalmente el nutriente limitante en el suelo para las plantas; éstas no pueden fijar el nitrógeno atmosférico, acción que en la naturaleza está restringida a ciertos procarióticos, en ecosistemas del suelo o acuáticos, en estado libre o en asociaciones simbióticas. Dicha fijación biológica raramente está limitada por la ausencia de un microorganismo para que haga el trabajo; más bien su éxito consiste en proveer el microambiente apropiado para que se lleve a cabo la interacción planta-bacteria en el momento y tiempos justos.

Muchos autores opinan que debe dársele alta prioridad al estudio de la simbiosis *Rhizobium*-leguminosas, no sólo porque las mismas son la principal fuente proteica humana en países tropicales, sino porque en muchos casos dicha simbiosis funciona en forma deficiente. No es suficiente adicionar biomasa bacteriana en forma de inoculantes en soportes, sino que es imprescindible asegurarse de contar con una **biomasa bacteriana infectiva** de las raíces, **competitiva** sobre la microflora natural del suelo y **efectiva** en fijar nitrógeno, además de persistir en el ecosistema año tras año de cosecha. Los estudios, por lo tanto, deben de dirigirse a: a) desarrollar cepas tolerantes a diferentes esfuerzos (Rolz y de León, 1988); b) selección de variedades de leguminosas más susceptibles a la simbiosis; c) desarrollo de técnicas para producir cepas más efectivas.

Debido a la importancia del frijol negro en la dieta de los centroamericanos, especialmente los del área norte, y dado que no existe un inoculante comercial que se haya empleado en cantidades significativas en el pasado, en ICAITI se han aislado cepas de

suelos guatemaltecos y se ha experimentado para cuantificar los efectos de la velocidad de crecimiento de las cepas en el biorreactor sobre su nodulación y efectividad en sistemas *in vitro*. En el Cuadro 6 se muestran los resultados de la cepa *R. phaseoli* NIFTAL 182, crecida en forma de lotes y en forma continua a cuatro velocidades de crecimiento. Los tres parámetros medidos se lograron con muestras de biomasa bacteriana obtenida directamente del biorreactor o después de almacenarse en agua destilada por espacio de un mes a 11 grados centígrados. En el primero de los casos puede observarse una mejoría de nodulación y efectividad a altas velocidades de crecimiento. Esta característica parece perderse durante un tiempo de almacenamiento de la biomasa recuperada. Es muy posible que la mejoría de las cepas se deba a una mayor producción de metabolitos asociados a la pared y superficie celular involucrados en la simbiosis y que los mismos sean inestables o metabolizados por células en reposo y en suspensión acuosa. Entre ellos pueden estar los polisacáridos extracelulares involucrados en el reconocimiento y adsorción de la bacteria en sitios activos de la raíz (Dazzo et al., 1976; Mort y Bauer, 1980), como también enzimas hidrolíticas involucradas en los mecanismos de infección y penetración de la bacteria en la raíz (Hubbell et al., 1978).

Quedan todavía interrogantes sobre este aspecto que deben responderse antes o durante el estudio para instalar una planta de inoculantes para frijol negro en algún país centroamericano.

Control biológico de plagas y enfermedades

La biomasa microbiana también puede emplearse como un agente del control biológico de enfermedades en las plantas causada por microorganismos patógenos.

Un caso en estudio reciente en ICAITI es el micoparasitismo de la roya del café. La roya causada por *Hemileia vastatrix* posiblemente sea la enfermedad más seria de esta planta. Se han aislado a la fecha varios hongos hiperparásitos que atacan las uredosporas de la roya. En las Figuras 1, 2 y 3 se muestra el micoparasitismo que se desarrolla sobre la uredospora y es invasivo de naturaleza; como efecto final resulta la eliminación de la uredospora de la superficie de la hoja. Dichos hiperparásitos pueden crecer en medio líquidos y la biomasa se recupera fácilmente. Se están efectuando pruebas en plantas a nivel de invernadero, así como una prueba de tamaño reducido en una plantación. Se han iniciado estudios para cuantificar la producción de enzimas hidrolíticas por parte de los hiperparásitos, con el fin de determinar si es éste el mecanismo prevaleciente.

El control biológico de insectos por medio de microorganismos patógenos es también una realidad en algunos países. Definitivamente tiene potencial en Centroamérica, en donde los

problemas por pérdida de las cosechas por ataques de insectos son hasta tres veces mayores que los promedios usuales. Esto se debe posiblemente al poco uso de insecticidas sintéticos, de alto precio unitario, y a la preponderancia de una agricultura extensiva de subsistencia.

De todos los agentes microbianos disponibles, los que sin duda han tenido más éxito son las diferentes preparaciones comerciales de cepas de *Bacillus thuringiensis*, activas contra una gran gama de lepidópteros, aunque las hay también específicas hacia coleópteros y dípteros. Su actividad reside en una proteína cristalina de alto peso molecular que se acumula en células esporulantes y se denomina endotoxina delta. La misma se asienta en el epitelio del aparato digestivo del insecto y le causa un daño irreparable y mortal. La biomasa bacteriana presenta una serie de ventajas, tales como una alta especificidad hacia la especie objeto y el hecho de que prácticamente no tiene ningún efecto adverso sobre los humanos, no se acumula en el ambiente, no crea resistencia en los insectos y compite en precio con los insecticidas sintéticos. Sus principales desventajas son su inestabilidad en el ambiente y su presencia únicamente en las superficies en las que se ha rociado.

Recientemente se han identificado genes que codifican las proteínas cristalinas activas y también se han determinado sus secuencias en el ADN (ver por ejemplo, Hofte *et al.*, 1986). Esto ha permitido su clonaje en otras bacterias como *Escheria coli* (Angsuthanasombat *et al.*, 1987), o mediante el empleo de vectores como el *Agrobacterium* directamente en plantas de interés comercial como el tomate (Fischhoff *et al.*, 1987).

Producción de ciertos metabolitos primarios

La producción de etanol por levaduras en sistemas prácticamente anaeróbicos, a partir de mieles provenientes de la caña de azúcar, es una industria establecida en Centroamérica y forma la base de la gama de ronnes de excelente calidad disponibles en la región.

El concepto moderno de una planta clásica para la producción de etanol con fines de usos energéticos en mezclas con gasolinas es una versión modificada de la planta tradicional productora de ron. Este tipo de destilería generalmente está asociada a un ingenio de azúcar, y en Centroamérica operan varias de ellas desde hace algunos años. El diseño y construcción de equipo ha empleado tecnología brasileña, que actualmente es la más favorable en el mercado desde el punto de vista económico.

En Brasil, el país que más etanol produce por fermentación de las melazas, existen también las destilerías independientes que lo producen del jugo de caña. En ese caso, la tecnología empleada es la clásica del ingenio de azúcar, acoplada a la anteriormente mencionada. En estas unidades, el costo de la materia prima

representa aproximadamente un 70% del costo de producción y la depreciación e intereses sobre el capital invertido un 24%. La mayor parte de la inversión fija está dirigida al equipo proveedor de servicios, principalmente energía; le sigue el equipo de preparación de la caña y extracción del jugo y, finalmente, en iguales proporciones, el equipo de destilación y almacenamiento, y el equipo de fermentación (Rolz, 1980).

Las prioridades de investigación aplicada deben enmarcarse dentro de esta referencia y deben incluir: a) la máxima utilización de los azúcares fermentables; b) sistemas de recuperación de etanol más eficientes en términos energéticos; c) biorreactores con máximas productividades volumétricas de etanol; d) cepas de levaduras termotolerantes y con menos susceptibilidad de inhibiciones por altas concentraciones de etanol en el medio; e) sistemas de mejor manejo, recuperación y reciclaje de levadura (ver, por ejemplo, Rolz et al., 1983)

En ICAITI, como una respuesta a dicha clasificación de prioridades, se desarrolló el concepto del proceso EX-FERM (Patente de Estados Unidos 4 560 659; Dic. 24, 1985). Se pensó que para aprovechar la totalidad de la sacarosa presente en la caña, empleando menos energía y con una menor inversión fija, era mejor transformarla a etanol *in situ* durante su extracción con agua. De allí las siglas del proceso: extracción (EX) y fermentación (FERM). No es posible relatar los detalles asociados con el desarrollo de las investigaciones en este trabajo, sin embargo en el Cuadro 7 se presenta un breve resumen. Conviene destacar las conclusiones de los técnicos de Batelle, Columbus, quienes evaluaron dicho proceso con patrocinio de la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI):

"Nuestros resultados indican que EX-FERM ofrece ventajas económicas sobre la tecnología convencional, para casos en los cuales se desee producir etanol independientemente de la producción de azúcar y para todos los tamaños de planta que podrían ser de interés comercial".

Continúan los esfuerzos promocionales para poder diseñar, construir y operar una planta piloto demostrativa en algún país centroamericano.

La producción de ácido láctico por el crecimiento de bacterias denominadas lácticas es un proceso fermentativo de importancia en la industria procesadora de alimentos, principalmente en las industrias láctea y cárnica. Dicha actividad se encuentra generalizada en la región centroamericana. Conviene resaltar el hecho de que las fermentaciones lácticas pueden llevarse a cabo con otros materiales para diverso fines, por ejemplo la preservación de forrajes para alimentación ruminal vía su ensilaje. Sin embargo, la fermentación de cereales, legumbres y frutas tropicales, solos o

en mezclas, presenta un excelente potencial para desarrollar una gran gama de productos alimenticios de bajo costo, alto valor nutritivo y propiedades organolépticas aceptables.

En ICAITI se ha desarrollado un puré fermentado de banano en un proceso acelerado, mediante el empleo de cepas de bacterias seleccionadas (de Porres et al., 1985). El puré de fruta, escaldado por inmersión en agua hirviendo durante siete minutos, se inocula con 1% de un cultivo puro de, por ejemplo, *Lactobacillus plantarum* y se incuba a 37 grados centígrados por 24 horas. Al final de ese tiempo, el producto tiene un pH menos de 4.5 y una excelente consistencia y sabor. El proceso fermentativo debe terminarse por refrigeración o por una pasteurización rápida del producto. Es factible adaptar dicha tecnología a otras frutas tropicales y a mezclas con cereales o legumbres. A dichos productos puede adicionárseles también sólidos de leche, con lo cual tenderían a simular el yogurt. Existe evidencia experimental que enfatiza los aspectos nutritivos y terapéuticos de este tipo de alimentos fermentados (Deeth y Tamine, 1981).

La biocatálisis

Las enzimas son, posiblemente, los agentes catalíticos más específicos. Existe en el comercio una amplia gama de enzimas que se emplea en la industria de alimentos, farmacéutica y de síntesis. Generalmente, y de acuerdo con su grado de pureza, son catalizadores de un alto precio unitario. Se ha desarrollado tecnología para inmovilizarlas o atraparlas en soporte sólidos, de manera que puedan emplearse en biorreactores heterogéneos de operación continua. Recientemente se ha desarrollado tecnología para inmovilizar células de microorganismos con sus enzimas activas, de ese modo se eliminan los costos de extracción y purificación.

En ICAITI se ha trabajado desde hace varios años en el desarrollo de biorreactores con soportes activos de una flora bacteriana mixta que degrada anaeróbicamente un amplio espectro de sustancias orgánicas y las convierte en dióxido de carbono y metano. El soporte con que más se ha experimentado es la esponja de poliuretano, en tabiques o planchas colocadas en columnas empacadas. Dicho reactor muestra una alta productividad de producción de biogás, como comúnmente se denomina a la mezcla gaseosa anterior, y puede aplicarse al tratamiento de fluentes líquidos agroindustriales. La experiencia de ICAITI ha llegado a la operación de unidades piloto de varios metros cúbicos de volumen efectivo para procesar residuos del beneficiado de café y vinazas.

El ICAITI ha empezado a desarrollar un proceso para producir mieles ricas en fructosa directamente de la sacarosa de la caña de azúcar. Primero, porque esto evitará en el futuro que se empiecen a importar a la región estos productos provenientes de los países

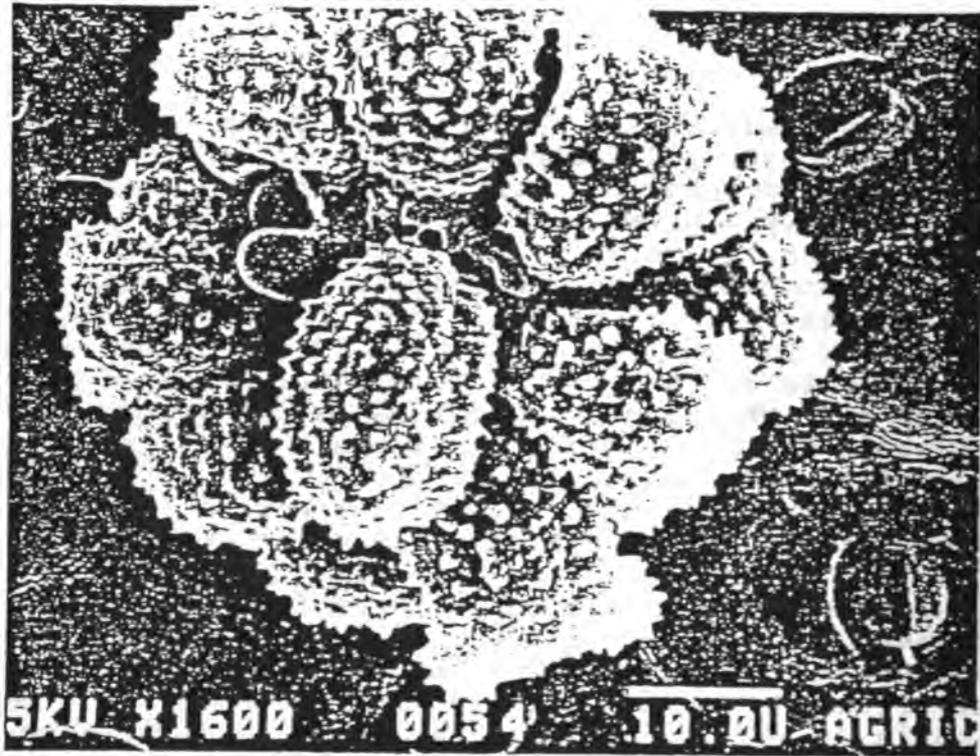
industrializados. Además, es posible que pueda competir en el mercado internacional, por ejemplo HFCS de maíz contra HFCS de caña de azúcar. Los conceptos básicos sobre éste se suman en el Cuadro 11. La materia prima más adecuada podría ser un "guarapo", o jugo de caña clarificado, el cual se hidrolizaría a glucosa y fructosa continuamente en un reactor de columna que opere a 50 grados centígrados por medio de un biocatalizador montado en un soporte sólido. La enzima que cataliza dicha reacción es la invertasa, presente en una amplia gama de microorganismos. Se ha propuesto emplear, en lugar de la enzima purificada, la biomasa de levadura pretratada, de manera que mantenga su enzima activa pero que haya disminuido su capacidad de reproducirse. Nótese que en el esquema propuesto únicamente se emplea una enzima, a diferencia del proceso del maíz, que utiliza tres enzimas en serie.

Hasta ahora se han ensayado dos pretratamientos en varias cepas de levaduras productoras de etanol, *Saccharomyces cerevisiae*; también en cuatro cepas de otras levaduras. La biomasa pretratada se ha inmovilizado en geles de alginato y se ha logrado hidrolizar guarapos hasta de 20% de sólidos iniciales. Como se esperaba, la velocidad de hidrólisis estuvo inhibida por altas concentraciones de substrato y fueron observados problemas de transferencia de masa en el biorreactor, pero los resultados iniciales fueron prometedores. Un resultado inesperado fue la producción de un mayor porcentaje de fructosa en la mezcla final. Esto indicó que, además de la invertasa, las levaduras también poseían una glucosa isomerasa activa que no se destruyó con el pretratamiento efectuado. Por lo tanto, el producto final fue exactamente igual al producido del maíz.

Procesos que emplean células animales y vegetales y operaciones unitarias de purificación de productos

En los países industrializados se han invertido cantidades apreciables de recursos para desarrollar procesos y productos por medio del cultivo controlado de células animales (vegetales en menor cantidad), en los cuales la purificación de los productos tiene una importancia fundamental. Los productos desarrollados han sido principalmente proteínas muy específicas, con alguna actividad fisiológica. Su precio unitario es necesariamente muy elevado ¿Podrán en Centroamérica producirse dichos productos? Para comenzar dicho sector industrial no hacen falta tanto recursos de capital como recursos humanos, es decir, científicos y tecnólogos entrenados a alto nivel en el área de la biotecnología. Definitivamente, se trata de un reto. Reto para el industrial, reto para el ingeniero y reto para el científico, tanto investigador como académico.

A



B

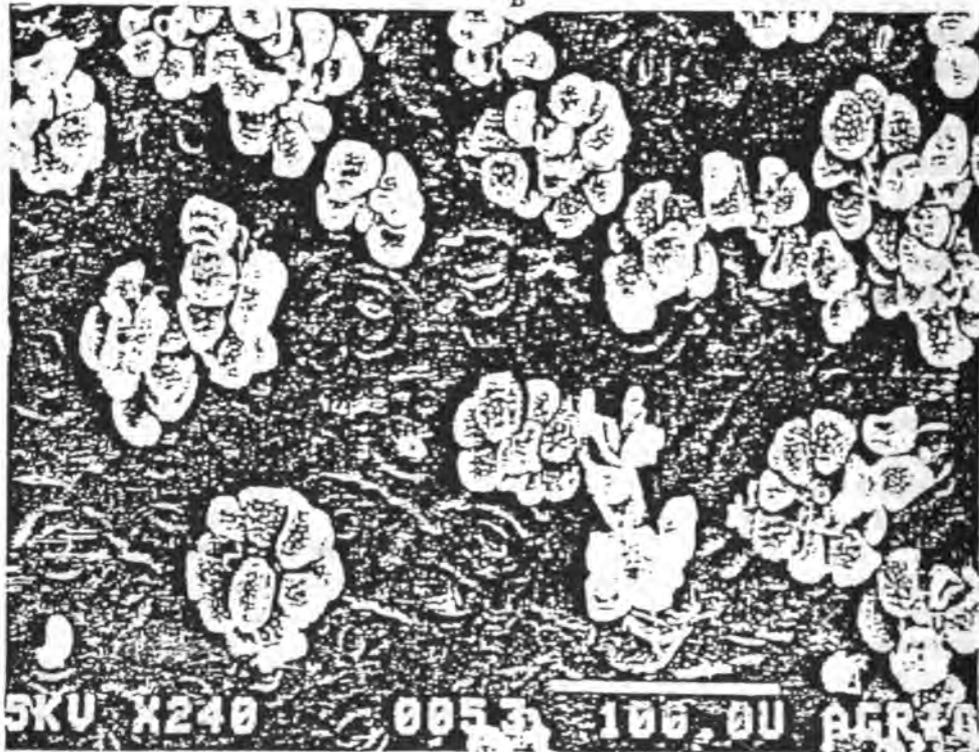
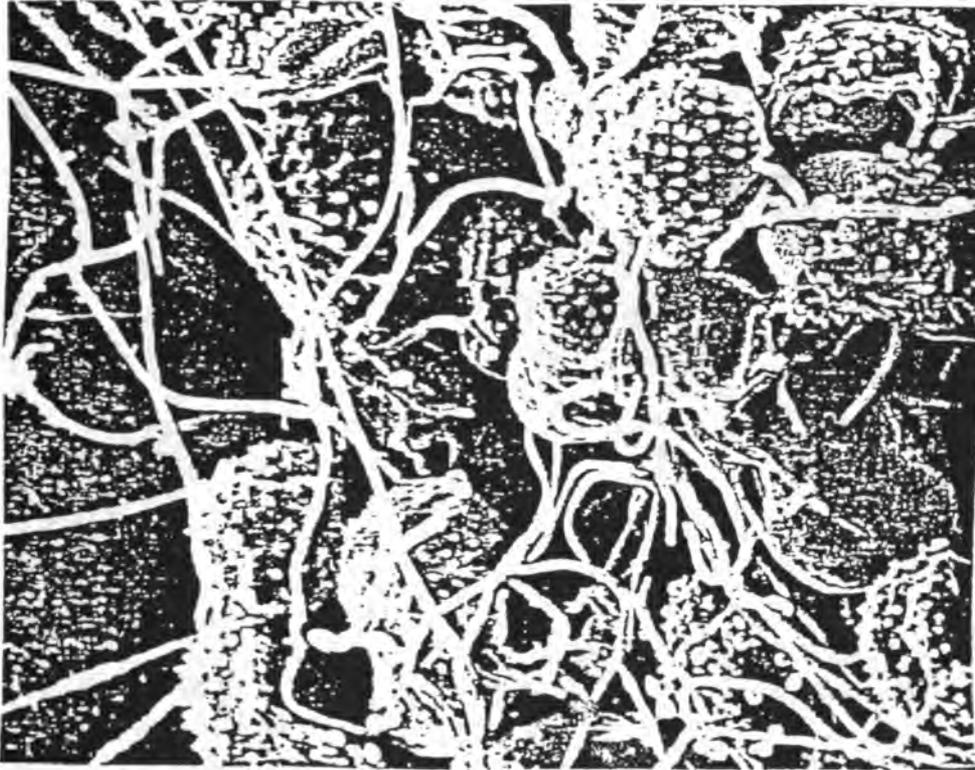


Fig. 1. MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO MOSTRANDO LAS UREDOSPORAS DE *Hermileia vastatrix* SOBRE LA SUPERFICIE DE UNA HOJA DE CAFE

A



B

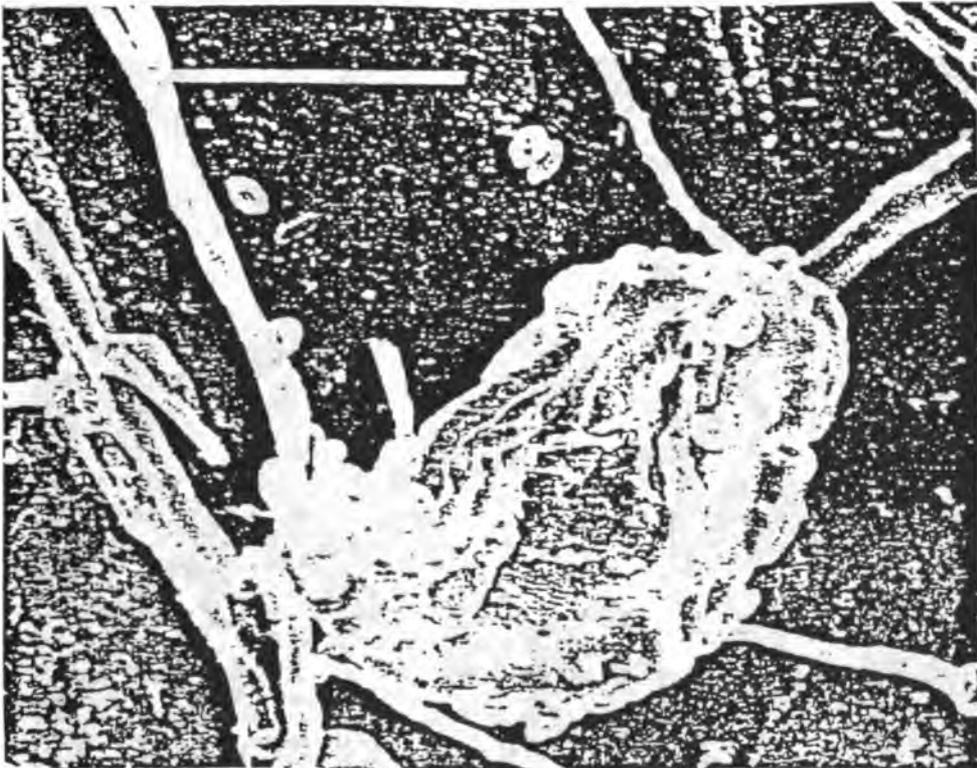
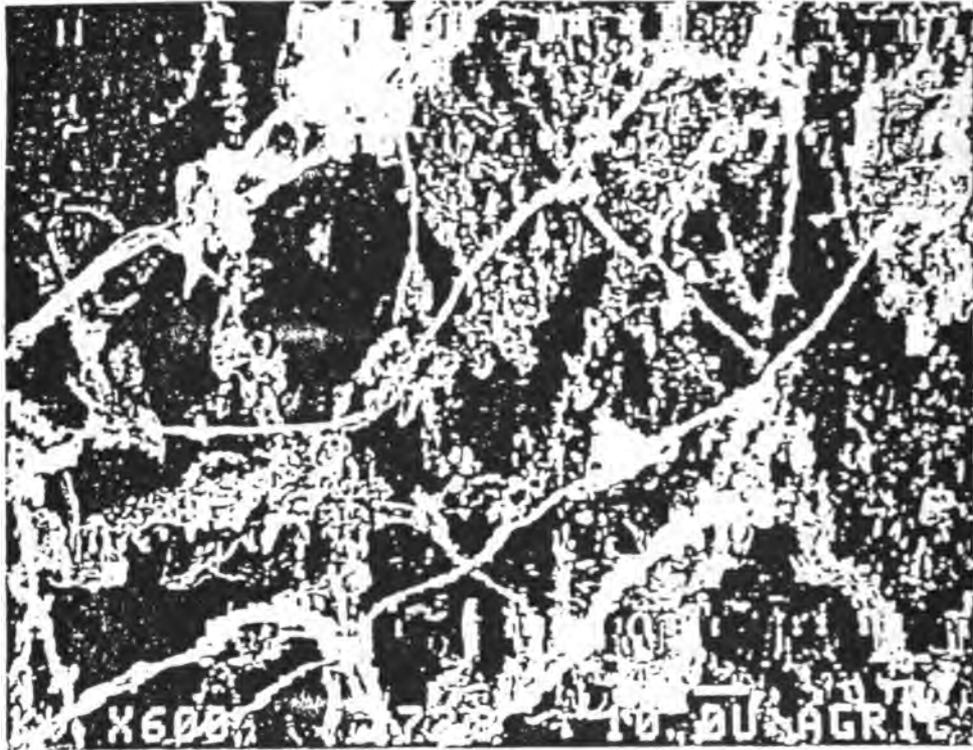


Fig. 2. MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO DEL CRECIMIENTO DEL HONGO HIPERPARASITO ATAGONISTA. A. HIFAS DEL MISMO RECUBRIENDO LAS UREDOSPORAS. B. INVASION Y PENETRACION DEL HIPERPARASITO ATAGONISTA. DESTRUCCION DE LA UREDOSPORA.

A



B



Fig. 3. MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO DE LA FASE FINAL DE LA ACCION MICROPASITARIA. ELIMINACION DE LAS UREDOSPORAS DE LA HOJA DEL CAFETO.

CUADRO 1
PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE LA CAÑA DE AZUCAR POR CADA 100 t DE
CAÑA LIMPIA EN INGENIO

	t
Azúcar	12.0
Bagazo (50% humedad)	26.0
Miel final (54% azúcares)	3.4
Cachaza (77% humedad)	3.3
Hojas verdes húmedas	8.9
Hojas secas	8.9
Cogollo húmedo	8.9

CUADRO 2
APRECIACIONES DEL EFECTO DE ALGUNOS PARAMETROS SOBRE LAS
BIOTRANSFORMACIONES DE LAS MIELES FINALES

Producto	Precio (\$CA/t) (1)	Rendimiento (t/t azúcar)	Concentra- ción final Biorreactor (g/L)	Costo equiva- lente por materia prima (\$CA/t) (2)	(1)/(2)
Etanol	430	0.45	80-110	329	0.77
Acetona-butanol	640	0.30	20	494	0.77
Acido cítrico	1 940	0.70-0.90	80-110	185	0.10
Lisina	3 190	0.30-0.40	40	423	0.13
Goma xantano	11 000	0.50-0.70	20-30	247	0.02

CUADRO 3
CAMBIOS DE ALGUNOS AMINOACIDOS DE LA LEVADURA DE DESTILERIA AL
SUPLEMENTAR MIELES DE PURGA DE CAÑA CON NITROGENO INORGANICO

Aminoácido	Control	Más sulfato de amonio	Más urea
Alanina	1.88	3.79	4.50
Arginina	1.42	2.02	2.38
Aspartato	3.53	4.50	4.71
Fenilalanina	1.54	1.72	1.85
Glicina	1.44	1.91	2.07
Glutamato	3.83	6.89	8.52
Histidina	0.67	0.79	1.08
Isoleucina	1.41	1.93	2.16
Leucina	2.29	2.98	3.24
Lisina	2.45	3.36	3.60
Metionina	0.46	0.54	0.68
Prolina	1.18	1.50	1.64
Serina	1.76	2.16	2.45
Tirosina	1.30	2.62	1.70
Treonina	1.79	2.16	2.38
Valina	1.88	2.49	2.74

a Tomado de Magalhaes et al. (1979). Datos expresados como %

b Concentración de nitrógeno: 0.56 gl-

(cantidad original presente en las mieles)

c Adición de sulfato de amonio hasta llegar a 1.20 gl-

c Adición de urea hasta llegar a 1.20 gl-

CUADRO 4

FERMENTACION AL ESTADO SOLIDO DE PAJA DE TRIGO

.Basidiomiceto: *Pleurotus sajor-caju* I-1117

Temperatura de crecimiento: 10-26°C

Pérdida de peso seco de la paja después de 30 días de bioproceso: 31.2%

Peso seco de cuerpos fructificantes por 100 g de sustrato seco consumido: 16.9

.Análisis del residuo sólido (X)

Fibra detergente neutro:	74.6
Fibra detergente ácido:	54.9
Celulosa:	33.9
Lignina:	5.9
proteína Kjeldahl:	2.9

Evaluación biológica in vivo del residuo sólido
(período de 70 días)

	Paja original	Residuo sólido
Consumo promedio de materia seca (% de peso corpóreo/día)	2.46 (± 0.21)	2.71 (± 0.15)
Digestibilidad de materia seca (%)	52	55
Digestibilidad de la celulosa (X)	53	68
Digestibilidad de la hemicelulosa (X)	56	46

Fuente: Datos de Calzada et al. 1987a,b.

CUADRO 5
DETOXIFICACION DE RESIDUOS LIGNOCELULOSICOS TROPICALES

Basidiomiceto	A	B	A	B	A	B	A	B	C	D
	Begazo de Té de Limón	Begazo de citronela	Begazo de caña de azúcar	Begazo de caña de azúcar	Begazo de caña de azúcar	Begazo de caña de azúcar	Pulpa de café	Pulpa de café	Pulpa de café	Pulpa de café
F 1095 <i>Coriolus versicolor</i>	32.8	55.4	34.9	45.4	12.2	38.9	30.3	8.2	37.0	35.7
F 1113 <i>Sporotrichum pulverulentum</i>	35.8	56.2	34.9	44.8	16.3	47.8	20.0	26.1	47.4	41.5
F 1011 <i>Pleurotus flabellatus</i>	32.1	42.6	34.7	30.0	10.7	40.7	25.3	18.1	47.8	42.6

Números de identificación de los basidiomicetos corresponden a número del cepario de ICAITI

A: pérdida de peso seco en % del original

B: pérdida de lignina en % del original

C: pérdida de polifenoles en % del original

Período de crecimiento de 35-42 días para los begazos de té de limón, citronela y caña de azúcar

Período de crecimiento de 29-49 días para la pulpa de café

Fuente: Datos de Rolz et al. 1987a, 1988a, 1988b.

CUADRO 6

EFECTO DE LA VELOCIDAD DE CRECIMIENTO SOBRE LA NODULACION

Y LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO EN LA SIMBIOSIS

RHIZOBIUM PHASEOLI - PHASEOLUS VULGARIS

Velocidad de crecimiento $h^{-\frac{1}{2}}$	Nódulo por planta	Peso húmedo en granos de de todos los nódulos por planta	Peso seco en granos de la parte aérea de la planta
Biomasa obtenida del biorreactor			
(por tandas) =			
0.13 (máxima)	120-127	0.723-0.803	0.98-1.10
0.04	122-126	0.595-0.683	1.10-1.35
0.90	145-166	0.948-0.972	1.20-1.40
0.10	93-95	0.601-1.166	0.90-1,45
0.12	142-170	1.283-1.230	1.50-1.65
Biomasa almacenada en agua destilada por un mes a 11°C			
(por tandas) =			
0.13 (máxima)	128	0.678	1.20
0.40	125	0.751	1.05
0.09	143	0.746	1.20
0.10	158	0.715	1.00
0.12	122	0.570	0.80

Fuente: Datos de de León et al, 1987, 1988.

**CUADRO 7
SINOPSIS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO EX-FERM**

1977-1978

Concepto EX-FERM concebido
Solicitud patente EE.UU, 11 marzo 1979
Rolz et al. Biotechnol. Bioeng. 21: 2347-49 (1979)

1979

Ensayo de 37 cepas de levaduras en trozos o caña pulverizada, fresca o previamente deshidratada en dos ciclos consecutivos a nivel de laboratorio
Publicación:
Rolz y de Cabrera. Appl. Environ. Microbiol. 40: 466-71 (1980)

1980-1981

Operación de biorreactores de columna de lecho fijo tanto horizontales como verticales, con un flujo externo de reciclaje de fase fluida, una operación de dos y tres ciclo consecutivos
Publicaciones:
de Cabrera et al. Europ. J Appl. Microbiol. Biotechnol. 14: 21-8 (1982)
de Cabrera et al. Biotechnol. Lett. 3: 497-502 (1981)
de Cabrera et al. J Ferment. Technol. 60: 77-86 (1982)

1982-1984

Aumento de escala a un biorreactor vertical de 30L de lecho fijo. Productividades de etanol alcanzadas entre 3.1-4.8 g etanol/L.h; concentración de etanol al finalizar segundo ciclo 6.0% en peso; consumo de azúcares entre 97-98% del valor original

1985-1986

Estudio sobre el efecto del tamaño de partículas, su almacenamiento, su deshidratación y su ensilaje sobre la cinética de la fermentación
Publicaciones:
de Cabrera et al. Enzyme. Microb. Technol. 8: 491-97 (1986)
Rolz et al. Chem. Eng. Commun. 45: 111-118 (1986)

1981-1983

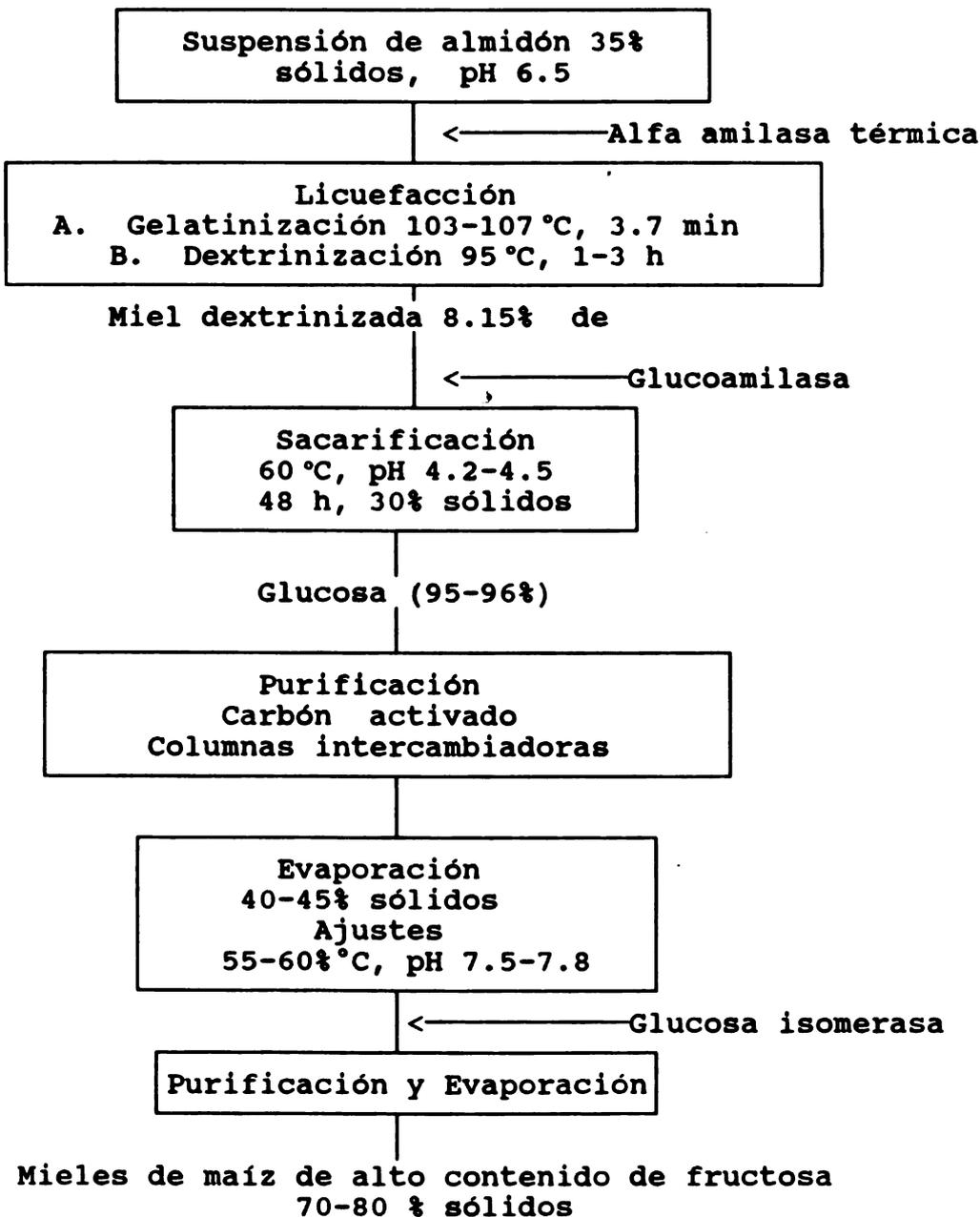
Estudios de prefactibilidad económica contratados por UNFSSTD en Nueva York y ONUDI en Viena, ambas agencias de Naciones Unidas

CUADRO 8
DIGESTION ANAEROBICA DE JUGOS ACIDIFICADOS DE PULPA DE CAFE

Tiempo de retención hidráulica días	Temperatura C	Carga en la alimentación Kg SV/m d	Producción de gas m ³ /m ³ d	Metano %
Biorreactor de 0.15 L				
	35			
5		7.0	1.9	90
4		8.8	2.5	94
3		11.7	2.7	88
2		17.5	3.2	90
Biorreactor de 11 L				
	35			
3		8.5	2.1	81
2		15.2	2.7	82
1		16.1	1.9	1/2

Fuente: Datos de Calzado et al. 1986.

CUADRO 9
DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO PARA
PRODUCIR MIELES DE MAIZ DE ALTO CONTENIDO DE FRUCTOSA



CUADRO 10
CONSUMO PER CAPITA DE EDULCORANTES (EE.UU.)
(KG/AÑO)

Año	Sacarosa refinada	Glucosa Jarabes maíz	Mieles maíz ricas en fructosa
1971	46.4	9.5	0.0
1981	38.6	9.7	11.3
1985	30.4	9.8	19.4

CUADRO 11
ESQUEMA PROPUESTO POR ICAITI PARA PRODUCIR MIELES RICAS EN
FRUCTOSA A PARTIR DE SACAROSA DE CAÑA

Reacción:



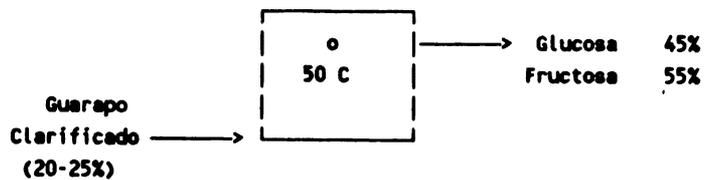
Biocatalítico: Invertasa

PROCESO ICAITI

**Levaduras
Pretratadas**

=

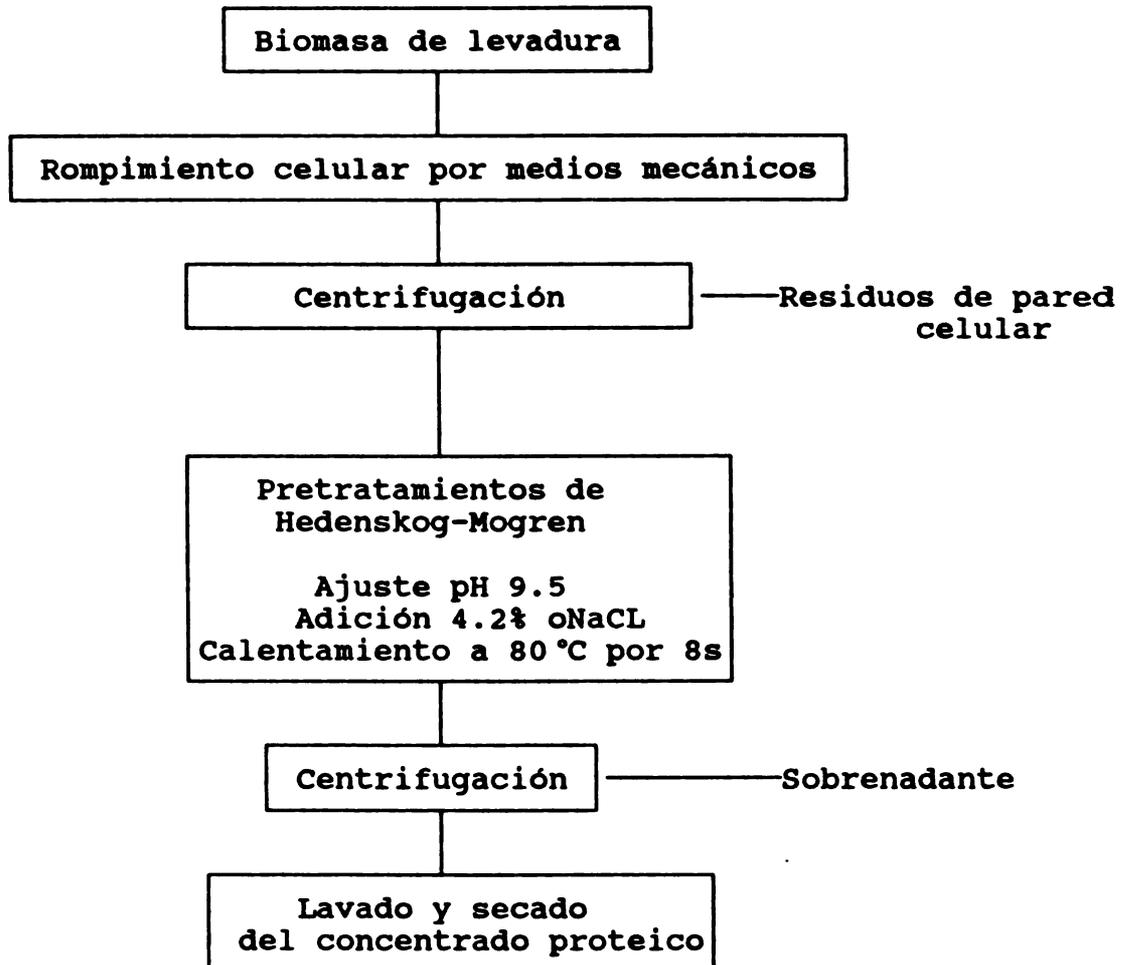
**No crecen
Invertasa activa**



Biorreactor
Levaduras inmóviles

CUADRO 12

PROCESAMIENTO DE BIOMASA DE LEVADURA PARA CONCENTRAR PROTEINA^a
Y ELIMINAR ACIDOS NUCLEICOS



Recuperación proteica : 64%

Aumento de Proteína en el concentrado : 55% del original
reducción de ácidos nucleicos en el concentrado: 91% del original

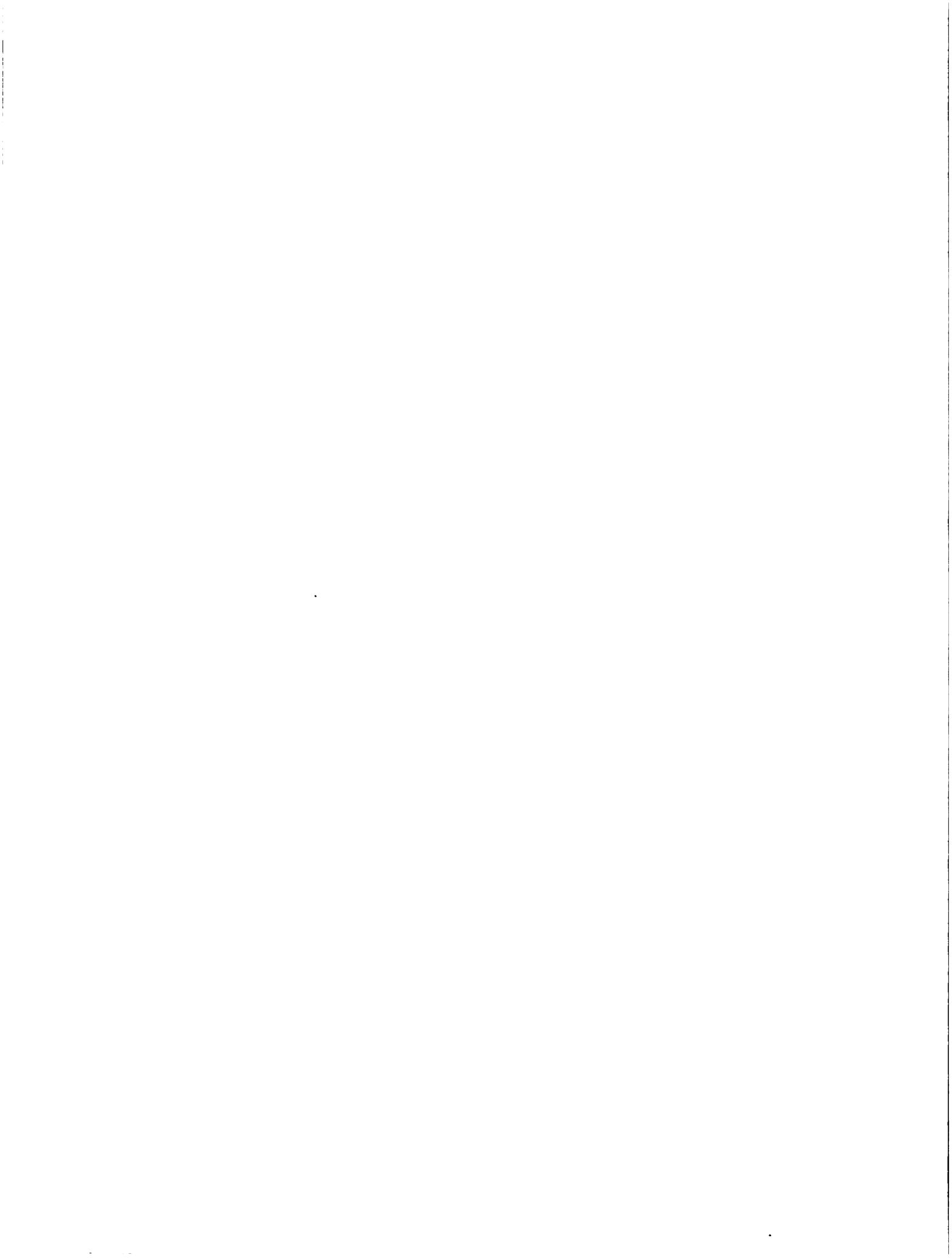
^a Tomado de de Arriola et al. (1988)

REFERENCIAS

- ANGSUTHANASOMBAT, CH et al. 1987. Cloning and expression of 130 kD mosquito-larvicidal delta endotoxin gene of *Bacillus thuringiensis* var *israelensis* in *Escherichia coli*. *Mol Gen Genet*, 208: 384-389.
- BRESSANI R. 1979. Antiphysiological factors in coffee pulp. In: *Coffee pulp: composition, tecnology and utilizations*. Braham JE. Bressani R (eds) IDRC Publ. 108e. International Development Research Centre, Ottawa, Chapter 10. p. 83-88.
- CALZADA F. et al. 1986. Biogas production from coffee pulp juice using packed reactors: scale up experiments. *Mircen Journal*, 2: 489-492.
- CALZADA JF et al. 1987. Accepatability, body weight changes and digestibility of spent wheat straw after harvesting of *Pleurotus sajor-caju*. *Biol. Wastes*. 22: 303-309.
- DAZZO FB.; NAPOLI CH.; HUBBELL DH. 1976. Adsorption of bacteria to roots as related to host specificity in the *Rhizobium* clover symbiosis. *Appl Environ Microbial*, 32: 166-171.
- DE ARRIOLA M. C.; DE ZEPEDA M.; ROLZ C. 1988 A protein concentrate from distillery yeast and its application to supplement corn tortillas. Sometido a: *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*.
- DEETH H.C.; TAMINE A. Y. 1981 Yogurt: nutritive and therapeutic aspects. *J Food Protection*. 44: 78-86.
- DE LEON R.; CASTELLANOS M.; ROLZ C. 1988. Storage in water of *Rhizobium phaseoli* cells harvested from continuous culture and its effect on biological nitrogen fixation. *Biotechnol. Lett*. 10: 509-512.
- DE LEON R. et al. 1987. Effect of dilution rate on the biological nitrogen fixation in the *Phaseolus vulgaris*-*Rhizobium phaseoli* symbiosis. *Biotechnol Lett*. 9: 665-670.
- DE PORRES E. et al. 1985. Lactic acid fermentation of banana puree. *Lebensm Wiss u Technol*. 18: 379-382.
- FISCHHOFF D.A et al. 1987. Insect tolerant transgenic tomato plants. *Bio/Technol*. 5: 807-813.
- GOLDBERG I. 1985. *Single Cell Protein*. Springer Verlag, Berlin
- HAARS A.; HUTTERMANN A. 1980. Macromoleculuar mechanism of lignin degradation by *Fomes annosus*. *Naturwissenschaften*. 67: 39-40.

- HOFTE H. et al. 1986. Structural and functional analysis of a cloned delta endotoxin of *Bacillus thuringiensis berliner* 1715. *Eur J. Biochem.* 161: 273-280.
- HUBBELL D. H.; MORALES V. M.; UMALI M. 1978. Pectolytic enzymes in *Rhizobium*. *Appl Environ Microbiol.* 35: 210-212.
- KIHLBERG R. 1972. The microbe as a source of food. *Ann Rev Microbiol.* 26: 427-466.
- MAFWILA M.; DIMBANI B. 1977. Essai sur l'incorporation de levure de brasserie sechée dans la ration de poulet d'engrais. *Rev Elev Med Vet Pays Trop.* 30> 303-308.
- MAGALHAES M. M. dos A.; VARIO M.L.R.; BORZANI W. 1979. Ethanol fermentation of blackstrap molasses: influence of nitrogen source addition on the aminoacids content of the residual yeast. *J. Ferment Technol.* 57: 534-538.
- MORT A. J.; BAUER W. D. 1980. Composition of the capsular and extracellular polysaccharide of *R japonicum* changes with culture age and correlations with binding of soybean seed lectin to the bacteria. *Plant Physiol.* 66: 158-163.
- MUDGETT R. E. 1986. Solid state fermentations. In: *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology.* Demain AL, Solomon NA. (eds) AM Microbiol Soc. Washington. Chapter 7. p. 66.83.
- ROLZ C. 1980 A new technology to ferment sugar cane directly: the EX-FERM process. *Process Biochem.* 15: (6) 2.6.
- _____. 1984. Microbial biomass from renewables: a second review of alternatives. *Ann Reports Ferm Process* 7: 213-356.
- _____. 1988. Process strategies for high density solid systems in bioengineering. In Paper presented at the VIII Global Impacts of Applied Microbiology Congress. Hong Kong.
- _____; DE LEON R. 1988. Stress inducing factors of strains of *Rhizobium phaseoli* as related to inoculant-carrier preparations. *Biotech Adv.* 6: 9-27.
- _____; DE LEON R.; DE ARRIOLA M. C. 1988b. Biological pretreatment of coffee pulp. *Biol Wastes.* 26: 97-114.
- _____; DE LEON R.; DE ARRIOLA M.C. 1988a. Solid substrate growth of white rot fungi on coffee pulp. *Acta Biotechnol.* 8: 211.223.
- _____; HUMPHREY A.E. 1982 Microbial biomass from renewables: review of alternatives. *Adv Biochem Eng.* 21: 1-53.

- ROLZ C. **et al.** 1983. Concepts on the biotransformation of carbohydrates into fuel ethanol. **Adv Biotechnol Processes.** 1: 97-142.
- _____. **et al.** 1986 b. Biodelignification of lemon grass and citronella bagasse by white-rot fungi. **Appl Environ Microbiol.** 52: 607-611.
- _____. **et al.** 1986A. Solid state fermentation (Letters to the Editor). **Interciencia.** 11: (4) 161.
- _____. **et al.** 1987a. Effects of some physical and chemical pretreatments on the composition, enzymatic hydrolysis and digestibility of lignocellulosic sugarcane residue. **Process Biochem.** 22: (1) 17-23.
- _____. **et al.** 1987b. White-rot fungal growth on sugarcane lignocellulosic residue. **Appl Microbiol Biotechnol.** 25: 535-541.
- VANANUVAT P.; CHIVARATANON R. 1977. The use of brewery yeast in commercial type ration for poultry. **World's Poultry Sci J.** 33> 88-99.
- ZADRAZIL F. 1984. Microbial conversion of lignocellulose into feed. In: **Straw and Other Fibrous By-products as Feed.** Sundstol F; Owen E. (eds), Elsevier, Amsterdam, Chapter 9. p. 276-292.



EL PROGRAMA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE COSTA RICA**(1986-1990)**

*

Rodrigo Zeledón

El Programa Nacional de Ciencia y Tecnología nace como un esfuerzo concertado, en el gobierno del presidente Oscar Arias Sánchez, y como una consecuencia de la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología durante esa misma Administración. El Programa fue elaborado por unos 180 especialistas (divididos en comisiones), representantes de cerca de 60 instituciones o entidades del Estado, el sector privado y las universidades, bajo la coordinación del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

El Programa está inscrito en los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo y es parte integrante de la propuesta del Programa de Ajuste Estructural presentado por el gobierno de la República ante el Banco Mundial. Su gran objetivo es estructurar y consolidar un sistema científico y tecnológico en el país que constituya la base de un desarrollo económico sostenido, y que repercuta directamente en nuestros mecanismos de producción y en nuestras exportaciones. Es decir, la estrategia planteada se centra en construir, además de una base científica sólida, una estructura productiva flexible, basada en el cambio tecnológico, con componentes autóctonos cada vez más marcados, capaz de enfrentar los rumbos variables de la economía internacional.

Los postulados del Programa, que mira hacia el año 2000, se basan en las premisas de que asistimos a un período de transición de un economía de productos a otra de conocimientos, y de que la innovación tecnológica, basada en el conocimiento científico, es hoy el factor de producción por excelencia. Por otra parte, la base del modelo guarda una relación de articulación adecuada entre el Estado, el sector productivo público y privado y la infraestructura científica y tecnológica, como actores del proceso de cambio tecnológico.

El Estado debe cumplir un papel promotor, como ejecutor de las políticas científico-tecnológica, económica e industrial; orienta, asimismo, el proceso de establecimiento del marco de incentivos y de legitimación de reglas de juego en favor de las empresas y de la democratización de los recursos. El sector productivo, como protagonista principal de ese esfuerzo, encontraría sus líderes en las empresas dispuestas a insertarse en la economía internacional y enfrentar el reto de la innovación tecnológica. La infraestructura científica y tecnológica debe apoyar a las empresas en los

* Ministro de Ciencia y Tecnología. Costa Rica.

procesos de transferencia, adaptación y creación de tecnología, por medio de la investigación necesaria y, asimismo, en la capacitación de recursos humanos.

Para satisfacer las funciones que se acaban de mencionar, el Programa se basa en cuatro objetivos específicos fundamentales:

1. Dotar al sistema de los instrumentos, recursos y mecanismos, tanto jurídicos como financieros, humanos y físicos, que sean necesarios.
2. Lograr una reconversión industrial o transformación tecnológica de la estructura productiva, especialmente en los sectores dedicados a la exportación.
3. Impulsar el desarrollo de tecnologías de avanzada, o de alto contenido de conocimiento y valor agregado, en las cuales Costa Rica pueda tener ventajas.
4. Popularizar la ciencia y la tecnología y crear conciencia sobre su importancia a todos los niveles de la población.

Entre los instrumentos básicos de esta política, y con el propósito de cumplir con los postulados del primer objetivo, se procedió a crear, por decreto ejecutivo del 14 de octubre de 1987, el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología. Cuenta con un Consejo en el cual participan los siguientes ministros de Estado: de Ciencia y Tecnología (Rector del Sistema); Planificación Nacional y Política Económica; Educación; Economía, Industria y Comercio; Agricultura y Ganadería; Comercio Exterior; Recursos Naturales, Energía y Minas, y de Salud. Además, forman parte del Consejo el Secretario Ejecutivo del CONICIT; dos rectores de universidades, nombrados por el Consejo Nacional de Rectores; el presidente de la Comisión Nacional de Energía Atómica; el presidente del Instituto de Normas Técnicas, y los presidentes de los siguientes organismos de la empresa privada: Cámara de Industrias, Cámara de Agricultura y Agroindustria y Cámara de Exportadores.

El Sistema cuenta también con una Secretaría Ejecutiva, que opera en el Ministerio de Ciencia y Tecnología, asistida por un Comité Técnico. Entre los mandatos importantes que el Consejo del Sistema ha tomado se cuentan los siguientes:

- a. Incrementar el gasto en ciencia y tecnología hasta un 1% del PIB para 1990 y buscar los mecanismos para un mejor aprovechamiento de la cooperación internacional.
- b. Poner en práctica, por medio de su divulgación adecuada en las empresas, las ventajas de la ley promulgada en 1985 para la producción industrial.

- c. Utilizar el poder de compra del Estado para estimular la generación y consolidación de empresas nacionales, pequeñas y medianas, que se orienten paulatinamente hacia la exportación.
- d. Establecer las bases para la creación de un Parque Tecnológico.

Un segundo instrumento fundamental mencionado en el Programa es la creación de una ley de incentivos para el desarrollo científico y tecnológico, cuyo proyecto ha sido elaborado con la colaboración de representantes de los diversos sectores y la coordinación del Ministerio. Esta ley pretende consolidar la creación del Sistema, crear impuestos específicos para ciencia y tecnología, y formar una comisión permanente de incentivos científicos y tecnológicos. Establece, asimismo, mecanismos para fortalecer la gestión tecnológica, promueve la innovación tecnológica, crea incentivos fiscales y arancelarios a las empresas, la carrera de investigador científico y un registro de transferencia tecnológica, entre otras medidas.

Finalmente, dentro del primer objetivo se encuadra el reciente préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo, obtenido por el gobierno de la República, denominado Programa BID-CONICIT-CONARE de Ciencia y Tecnología. El préstamo, por 34 millones de dólares, de los cuales el BID pone el 65%, será ejecutado por el CONICIT (US\$21.6 millones) y por tres universidades (US\$12.4 millones), dentro de los lineamientos generales dictados por el Programa Nacional de Ciencia y Tecnología. El préstamo pretende financiar unos 100 proyectos de investigación, con énfasis en proyectos ligados a la producción nacional y con acceso abierto a la empresa privada (parte de los fondos se destinarán a préstamos blandos en fideicomiso con un Banco).

Pretende también financiar becas para doctorado (28), postdoctorado (8), maestrías (50), 132 cursos cortos de entrenamiento en el extranjero y 20 cursos cortos dictados en el país. Además, se espera construir una serie de centros o institutos, entre los cuales se cuentan los siguientes: Instituto de Normalización, Metrología y Control de Calidad (del Ministerio de Economía, Industria y Comercio); Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales; Laboratorio de Investigación y Servicios en Manejo Post-cosecha; Centro de Investigación en Biología Celular y Molecular; Centro de Electroquímica y Energía Química; Centro de Investigaciones y Ciencias del Mar y Limnología, y el Centro de Investigaciones en Productos Naturales, todos ellos en la Universidad de Costa Rica.

En la Universidad Nacional se construirán el Centro de Investigaciones Apícolas y el Instituto de Investigaciones y Servicios Forestales, y en el Instituto Tecnológico de Costa Rica,

el Centro de Industrialización de la Madera y el Centro de Investigaciones en Informática. Además, se remodelarán o completarán el Laboratorio de Investigaciones Marinas del CONICIT, la Unidad de Microscopía Electrónica de la Universidad de Costa Rica, la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional y el Centro de Extensión Tecnológica Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Finalmente, se creará un centro de informática en el CONICIT que pretende enlazar o conectar a los diversos centros de información tecnológica del país.

En lo que respecta al segundo objetivo, relacionado con la reconversión industrial, el Ministerio ha llevado a cabo desde hace varios meses un programa de gestión tecnológica financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que cuenta con la asesoría del Dr. Fernando Machado, especialista brasileño en ese campo. Por un lado, el Programa pretende mejorar la administración y la utilización de la tecnología en las empresas, así como su productividad, rendimiento y mecanismos de control de calidad. Se desea modernizar los procesos empresariales, con el propósito de lograr un aparato productivo articulado internacionalmente y competitivo en el exterior. Se trata de ofrecer a empresas seleccionadas del sector exportador una infraestructura propia, que les permita realizar una adecuada selección y administración de tecnología y colocar a la empresa en la posición de llevar a cabo innovaciones tecnológicas, con el fin de elevar su competitividad, sus utilidades, su crecimiento y su capacidad de supervivencia.

El proceso de innovación tecnológica es entendido como aquel que conjuga oportunidades técnicas con necesidades de las empresas, para que éstas logren introducir o modificar servicios, productos o procesos, con las consecuentes ventajas en la producción y comercialización. En este aspecto, el Programa ha logrado ya encuestar a 34 empresas con vocación de cambio tecnológico (metalmecánicas, quimicofarmacéuticas, electrónicas y de informática); negocia en este momento convenios con 10 de esas empresas para establecer en el seno de las mismas núcleos de gestión tecnológica. De igual manera, se espera firmar a corto plazo convenios semejantes con el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE). El Programa ha celebrado cuatro reuniones de consulta entre empresarios, sector académico y sector público, en temas variados y de gran actualidad, y ha impartido un curso de gestión tecnológica. Por otro lado, ha sentado las bases para crear un núcleo básico o centro de gestión tecnológica para coadyuvar en la vinculación universidad-industria, promover la creación y desarrollo de nuevas empresas de base tecnológica e insertar la informática en las operaciones industriales de las empresas nacionales, mediante programas de capacitación y proyectos de investigación y de asesoría técnica.

Al preverse la necesidad de tornar más competitivos nuestros productos, especialmente en nuevos mercados, y aprovechando en parte las ventajas de la iniciativa de la Cuenca del Caribe, se han sentado las bases, junto con la Cámara de Industrias, la Asociación de Fabricantes Metalúrgicos y Metalmeccánicos, el Ministerio de Economía, Industria y Comercio y el CONICIT, para crear y fortalecer todo un sistema articulado de metrología, normalización y control de calidad (FIM-productividad, INTECO, Oficina Nacional de Normas y Unidades de Medidas, Instituto de Normalización, Metrología y Control de Calidad y un posible Instituto Costarricense de Investigaciones Industriales).

Recientemente ha sido creada la Agencia de Reconversión Industrial, también como un esfuerzo conjunto entre el gobierno y el sector privado, que tendrá como ente financiador a la Corporación Nacional de Desarrollo (CODESA), que se enfilaría así como una corporación de fomento a los cambios tecnológicos y organizacionales requeridos para este proyecto de reconversión.

En cuanto al tercer objetivo del Programa, referente al impulso de tecnologías de avanzada, se trata de fortalecer a algunas empresas que utilizan un alto contenido de conocimientos y un alto valor agregado en su producción, y estimular la formulación de otras similares que se reunirían, de preferencia, dentro de un parque tecnológico, para lo cual se están creando en la ley antes mencionada los incentivos necesarios que permitan mantener la adecuada dinámica de estas empresas cambiantes y que garanticen la investigación (a través de incubadoras y de laboratorios permanentes) que el proceso requiere.

Algunos incentivos serían, además de los arancelarios y fiscales, la creación de fondos de riesgo compartido, préstamos blandos, coinversión, bolsa de capitales, capital social para innovación, etc. Hemos seleccionado los campos de la microelectrónica, informática y telecomunicaciones, biotecnología y química fina como aquellos en los cuales Costa Rica tiene o tendría alguna ventaja comparativa; ya existe en ellos personal formado y se han hecho algunas incursiones exitosas en aspectos puntuales (casos de CIBERTEC, de Agribiotecnología de Costa Rica, de Tecapro y proyecto de Alcoquímica).

Finalmente, hemos desplegado una serie de acciones de divulgación y popularización de la ciencia, destinadas a demostrar y recordar dos temas primordiales: 1) que la ciencia, madre de la tecnología moderna, es una inversión que produce retornos favorables y que sin su auxilio no hay desarrollo económico y social; 2) que los costarricenses tienen la destreza y la capacidad de adaptar y producir tecnología adecuadamente, razón por la cual tenemos que crear confianza en lo que se haga y produzca en el país. Esta campaña se inició con la ayuda directa de la empresa privada, la Cámara Nacional de Radio y la Cámara Nacional de

Televisión, en una primera fase. También hemos iniciado acciones para contribuir al mejoramiento de la enseñanza de las ciencias a todos los niveles, tanto dentro del sistema formal o curricular como del extracurricular. Algunas acciones dirigidas a ese objetivo han sido en los últimos tiempos nuestras ferias, festivales y concursos de ciencia y tecnología, y el proyecto de creación del Centro de la Ciencia y la Tecnología, un museo de participación activa para aprender los principios en que se basan los adelantos tecnológicos, en forma simple y con mucha interacción, dirigido especialmente a los niños y los jóvenes.

**LA BIOTECNOLOGIA EN UNA COMPAÑIA AGRICOLA MULTINACIONAL.
RJR NABISCO**

(esquema de la presentación)

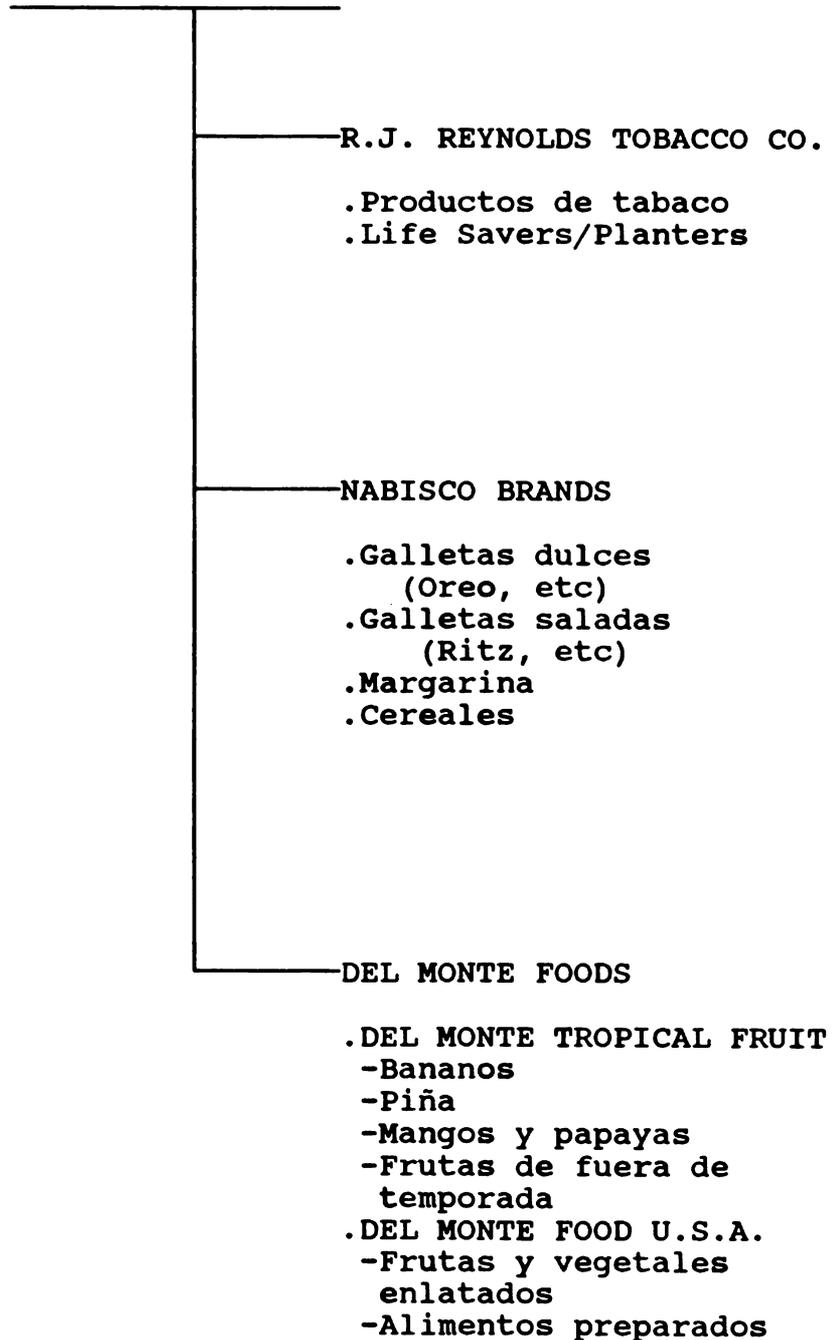
Robert Moser *

* Vicepresidente de Investigación y Desarrollo, Del Monte Tropical Fruit Company.

LA ESTRUCTURA DE LA CORPORACION

RJR NABISCO

Subsidiarias/Productos



**ESTRATEGIA GENERAL DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
DE RJR NABISCO**

Orientación de investigación y desarrollo tradicional

- . Mejoramiento de productos y procesos
- . Extensión de líneas
- . Reducción de costos
- . Mejoramiento de calidad
- . Tecnología e ingeniería de producción

Atención inadecuada a

- . Deseo del consumidor por nuevos productos
- . Preocupación del consumidor por la seguridad de los productos
- . Resolver problemas viejos y difíciles
- . Utilizar nuevas tecnologías

NUEVAS ESTRATEGIAS TECNICAS

- . Continuar con los procesos de mejoramiento de productos y procesos internos
- . Expandir los programas de investigación fundamentales
- . Financiar programas de investigación externos
- . Asociarse con pequeñas compañías ricas en tecnología

LA ESTRATEGIA DE INVESTIGACION DE NABISCO BRANDS**Investigación y desarrollo tradicional (East Hanover, New Jersey)**

- . Nuevas galletas y cereales
- . Nuevos empaques
- . Reducción de costos
- . Mejora de procesos

Programas nuevos

- . Química básica de proteínas, lípidos y carbohidratos
- . Química de sabores
- . Enzimología, fermentaciones y microbiología
- . Nutrición humana

Programas contratados y cooperativos

- . Apoyar investigación básica en ingredientes y sabores en:
 - Universidad de Kansas (trigo)
 - Universidad de Rutgers (texturas)
 - Universidad de Purdue (lípidos)
 - Instituto Monel (sabores)
 - Asociación Biotecnológica (Nabisco/Cetus)

LA ESTRATEGIA DE INVESTIGACION DE DEL MONTE FOODS

Investigación y desarrollo tradicional (San Francisco, California)

- . Enlatado de frutas y vegetales
- . Alimentos de conveniencia
- . Producción de semillas
- . Producción de cultivos
- Costa Rica: Bananos y piña
- Guatemala: Bananos
- Filipinas: Bananos y piña
- Kenya: Piña
- Camerún: Bananos
- Hawaii: Piña
- Estados Unidos: Frutas y vegetales de clima templado

Programas nuevos

- . Establecimiento de laboratorios de cultivo de tejidos en California y Filipinas
- . Énfasis creciente en frutas tropicales "nuevas"

Programas contratados y cooperativos

- . Mejoramiento genético de frutas tropicales
 - Florida; California (Davis)
- . Control biológico de plagas
 - Florida; California (Berkeley); Carolina del Norte
- . Asociación Biotecnológica RJRN-Nabisco/Biotechnica.

**LA ESTRATEGIA DE INVESTIGACION DE DEL MONTE TROPICAL
FRUIT COMPANY**

Ha:

- Expandido programas agrícolas básicos y personal en Costa Rica, Guatemala, Filipinas y Kenya.
- Colaborado en la producción exitosa de bananos por cultivo de tejidos.
- Iniciado proyectos de investigación internacionales en piña.
- Desarrollado programas colaborativos EE.UU.-Costa Rica en genética y agricultura de papaya y mangos.
- Colaborado en programas de cuarentena para la mosca de la fruta en Costa Rica y Guatemala.

No ha:

- Entrado en arreglos cooperativos o "joint ventures" fuera de los EE.UU.

LOS ACUERDOS COOPERATIVOS EN BIOTECNOLOGIA

ASOCIACION BIOTECNOLOGICA NABISCO/CETUS

FORTALEZAS

NABISCO: Mercadeo/distribución
 Extensión de líneas
 Ingredientes de alimentos
 Recursos financieros

CETUS Ingeniería genética
 Bioprocesos
 Enzimología
 Tecnología básica

DEBILIDADES

Nuevas tecnologías
 Nuevos productos
 Materias primas
 Recursos científicos

Mercadeo
 Tecnología de alimentos
 Operaciones de fermentaciones
 Finanzas

Asociación establecida: 1984

CETUS es dueña de la nueva tecnología

La Asociación es dueña de los inventos

Los socios obtienen licencias exclusivas

Logros

- Mejoramiento de levaduras
- Actividad mejorada de enzimas para el procesamiento de maíz
- Sabores naturales e ingredientes

ASOCIACION BIOTECNOLOGICA RJR NABISCO/BIOTECHNICA**FORTALEZAS**

RJRN/DMTF: Mercadeo/distribución
 Tecnología agrícola
 Tecnología postcosecha
 Asuntos regulatorios
 Recursos financieros

BIOTECNICA: ADN/cultivo de tejidos
 Bodiagnósticos

Granos y oleaginosas
 Facilidades de labora-
 torio

DEBILIDADES

Nuevas biotecnologías
 Biología/bioquímica
 Mejoramiento genético
 Dependencia de químicos
 Recursos científicos

Mercadeo
 Selección de plantas
 completas
 Frutas y vegetales
 Facilidades de pruebas de
 campo.

Asociación establecida: 1987

Biotechnica es dueña de la nueva tecnología

La Asociación es dueña de los inventos

Los socios obtienen licencias exclusivas o no exclusivas

Proyectos

- Mejoramiento genético de granos/oleaginosas
- Mejoramiento de calidad de vegetales seleccionados
- Calidad y almacenamiento de frutas frescas
- Dependencia decreciente de pesticidas químicos

**OPORTUNIDADES PARA LA BIOTECNOLOGIA DESDE LA PERSPECTIVA
DE DEL MONTE**

1. Colaboración técnica internacional

- . Programas cooperativos con universidades
- . Asociaciones para "joint ventures"

2. Solucionar viejos problemas

- . Utilización de micropropagación por cultivo de tejido
 - Siembra y resiembra de bananos
 - Acelerar siembra de piña
 - Propagar papaya seleccionada y sexualmente definida
 - Eliminar enfermedades en la siembra
- . Seleccionar variantes somaclonales
 - Resistencia a plagas
 - Resistencia a "stress"
 - Mejor rendimiento
 - Mejor conservación
- . Diagnósticos monoclonales y sondas ADN
 - "Bunchy top"
 - Phytophthora vs. nematodos
 - Residuos de pesticidas
- . Utilización de instrumentos biotecnológicos
 - Mapeo de genes para mejorar hibridización
 - Embriones somáticos como semillas

3. Solucionar nuevos problemas

- . Cuarentena de mosca de la fruta
 - Selección para resistencia
 - Control biológico
 - Resistencia por ADN recombinante
- . Residuos de pesticidas
 - Control biológico
 - Resistencia

- . **Mejoramiento de propiedades de almacenamiento**
 - **Control de la biosíntesis del etileno**
 - **Inhibición de enzimas por ARN antisentido**

- . **Nuevos productos**
 - **Características mejoradas agrícolas y de consumo**
 - **Variación somaclonal**
 - **Frutas logradas por ingeniería genética (dependerá de la política de la FDA/EPA).**

**EL CULTIVO DE TEJIDOS COMO METODO DE PROPAGACION
DE PLANTAS: UNA REVISION GENERAL**

Ramón Barba*

El cultivo de tejidos de plantas es una técnica por medio de la cual se obtienen y hacen crecer artificialmente partes de una planta.

Las partes que de ordinario se estudian con este método varían desde células individuales o grupos de células hasta órganos; ocasionalmente se utiliza también una planta completa, en especial durante sus etapas embrionarias de desarrollo.

El cultivo aséptico de pequeños trozos de tejido de callo, secciones de órganos y embriones, se ha utilizado en la investigación de la fisiología de plantas durante muchos años.

Los primeros intentos fallidos fueron realizados en Alemania, en 1902, por Haberlandt; otros investigadores obtuvieron mejores resultados con el uso de embriones extirpados; en consecuencia, este método se ha utilizado para propagar plantas cuyo embrión moriría si fuese dejado dentro de la fruta para su desarrollo. Knudson adoptó esta técnica para las orquídeas, y desde entonces se ha convertido en un procedimiento rutinario.

En 1934, White logró formar raíces de tomate en forma continua al suministrar extractos de levadura. Posteriormente, otros lograron hacer crecer en forma indefinida tejido de callo en un medio sintético; a partir de entonces, la técnica ha sido paulatinamente refinada, y se ha utilizado extensivamente. En la actualidad ya es posible aplicarla a ciertas plantas como método especializado de propagación.

El término "callo" en el cultivo de tejido se refiere a una masa independiente de células que crecen separadamente de la planta en un medio artificial. Está compuesta principalmente por parénquima, aunque algunas veces se pueden encontrar otros tipos de células.

Si se las hace crecer en un medio apropiado y si se transfieren periódicamente, pueden cultivarse casi indefinidamente.

Bajo ciertas condiciones de nutrición, las secciones de callo de estas células pueden ser estimuladas para formar plantillas y, por ende, el método se convierte en herramienta potencial de propagación.

*Director de Investigación. Plantek International Ltd. Singapur.

La propagación de plantas con cultivo de tejido es a menudo deseable en las siguientes situaciones:

1. Producir plantas libres de virus, como en muchas plantas de horticultura (Morel, 1964; Murashige, 1974).
2. Cuando el método convencional es lento, o cuando no hay posibilidad de utilizar otro método vegetativo de propagación, como en el caso de la papaya (Barba et al. , 1974), el coco, etc.
3. En el programa de reproducción. Permite el aumento oportuno y la disponibilidad de nuevas variedades.

El cultivo de tejido puede ser utilizado para mejorar la tasa de multiplicación por acodos, esquejes, etc., aun en cultivares fácilmente propagados.

Es pues realista hablar de un incremento millonario por año, en comparación con métodos convencionales, como en el caso del crisantemo. Se utiliza también para reducir al mínimo el espacio en el mantenimiento de plantas patrón (Murashige, 1974).

En otras publicaciones se describen diversas aplicaciones del cultivo del tejido en la investigación de plantas (Barba et al. , 1972; Nickell, 1969,1972).

Técnica del cultivo de tejido

Un cultivo de tejido puede iniciarse a partir de diversas partes de la planta, siempre que las células sean capaces de dividirse. Usualmente, el tejido próximo a las áreas vasculares del estambre y las raíces proliferan con mayor facilidad, pero también se han iniciado cultivos del endosperma de la fruta, embriones de polen, inflorescencias, etc.

En primer lugar, se esteriliza la superficie de la parte de la planta por usarse; luego se cortan las secciones o cuñas de los tejidos y se colocan en la superficie del medio de cultivo, sea éste agar o medio líquido que esté provisto de ventilación.

- a. Una raíz carnosa, tal como la zanahoria, se corta y se abre en forma aséptica después de la esterilización de la superficie. Se extraen trozos de tejido con un perforador de corcho. Se cortan transversalmente en forma de disco y se introducen en el agar.

- b. Los tallos de tabaco se cortan en trozos; se extraen cilindros de la médula interna con un perforador de corcho, se cortan en forma de discos y se plantan en el agar.
- c. Los brotes inmaduros de plantas leñosas pueden cortarse en secciones de 10-15 mm, remojar en soluciones de hipoclorito de sodio (clorox-agua 1:9) durante 15-20 minutos y luego lavarse con agua destilada estéril. Los dos extremos se cortan y se descartan; el resto se corta en pequeños segmentos y se planta en el medio.
- d. Las secciones de corteza y cambium pueden removerse en forma aséptica de las plantas leñosas, una vez que la capa áspera exterior sea retirada y que la parte bajo la superficie sea esterilizada con alcohol u otro material.
- e. También pueden utilizarse embriones en desarrollo, semillas en germinación o puntas de retoños como puntos de partida, según se ha descrito anteriormente.

Asepsia

Al cultivar tejido, es un prerequisite mantener condiciones completamente estériles. La planta normalmente es esterilizada en la superficie con desinfectantes como clorox, cloruro de mercurio, alcohol, etc.

El medio que contiene nutrientes se esteriliza cociéndolo en autoclave u olla de presión a 15 p.s.i. durante 15 minutos. Las condiciones del medio de cultivo, por lo general, son tan favorables para el desarrollo de microorganismos que la parte extirpada de la planta sería destruida rápidamente por la contaminación de éstos.

Cuarto de preparación

La micropropagación debe realizarse en un cuarto limpio, libre de polvo y corrientes de convección que pudieran acarrear esporas o microorganismos. Se obtienen mejores resultados al utilizar una caja cerrada, en la cual se introducen las manos del operario para realizar la operación de transferencia. Las mejores condiciones se obtienen con una cámara de mayor tamaño en la que se pueda ingresar, cerrada, totalmente esterilizada y ventilada adecuadamente. El interior de la cámara deber limpiarse con un desinfectante tal como el bicloruro de mercurio o clorox. Llenar la cámara con vapor (como el de la olla a presión) antes de su uso ayudará a eliminar partículas de polvo. También son útiles las lámparas germicidas.

Instrumentos, equipos y recipientes

Se necesitan pinzas, agujas y escalpelos, que se esterilizan sumergiéndolos en alcohol y quemándolos periódicamente, pero permitiéndoles enfriarse un poco antes de ser utilizados. Los recipientes de vidrio tapados y esterilizados, como los platillos de Petri, son útiles; deberán esterilizarse a 250 grados F (120 grados C) durante 30 minutos antes de su uso.

Los recipientes utilizados incluyen tubos de ensayo, vasijas Erlenmeyer y botellas de varios tipos. Se utilizan cierres con el propósito de prevenir la entrada de microorganismos, permitir la ventilación y reducir la deshidratación.

El algodón no absorbente, los tacos de esponja sintética y el polipropileno para las tapaderas se obtienen en casas distribuidoras de equipo científico. Los tacos de algodón son mejores para la ventilación; los tacos de hule producen emanaciones de etileno y, por lo tanto, no deben ser utilizados para los experimentos.

Medios

Los nutrientes necesarios en el medio de cultivo varían según el tipo de plantas y el propósito del cultivo. Las sustancias requeridas pueden agruparse en varias categorías:

a. Elementos inorgánicos. Una provisión de estos elementos es el mínimo requisito para cualquier tejido de planta cultivado *in vitro*. Los macroelementos que deben suministrarse son N, P, K, Ca y Mg. Para el uso general, existe una amplia gama de tipos y cantidades relativas de químicos que estos elementos pueden proporcionar.

El Cuadro 1 incluye es una lista de varias sales minerales para los medios que se han utilizado con éxito. Pueden prepararse en una solución-patrón altamente concentrada y conservarse más o menos indefinidamente.

CUADRO 1
CONTENIDO DE SALES MINERALES EN DISTINTOS MEDIOS DE
CULTIVOS (mg/1)

Químico	Knop	White	Heller	MS	Knudson	RCB
KNO_3	200	80	-	1900	-	250
$\text{CaNO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	800	200	-	-	1000	90
NaNO_3	-	-	600	-	-	-
$(\text{NH}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-	-	-	-	500	-
NH_4NO_3	-	-	-	1650	-	180
KH_2PO_4	200	-	-	170	250	-
Na_2SO_4	-	200	-	-	-	-
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200	360	250	370	250	100
KCl	-	65	750	65	-	-
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-	-	75	440	-	-
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	-	-	-	-	-	300

MS también contiene $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.22.3

H_3BO_3 , 6.2; ZnSO_4 , 8.6; K1 0.83

$\text{Na}_2\text{Moo}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.25; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.025;

y $\text{COCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.0.025; todos en s/l

Los microelementos pueden o no ser necesarios; se añaden normalmente como rutina. Un ml del siguiente patrón por litro suministrar los micronutrientes necesarios:

MnSO ⁴ .4H ² O	-	1.81 g
ZnSO ⁴		2.86 g
CuSO ⁴ .5H ² O		0.08 g
(Nh ⁴) ₂ M ³ O ₄		0.09 g

Agua para completar un litro

El hierro se suministra en una proporción aproximada de 2.5 mg/l de Fe SO₄ o en un compuesto de quelatos de hierro en proporción de 25 mg/l.

b. Azúcar. El segundo requisito mínimo para los tejidos y órganos de plantas (excepto embriones maduros que pueden no necesitarlo), es una fuente de energía. Normalmente se utiliza sucrosa en un 2 a 4%, pero también se obtienen buenos resultados con glucosa, y se prefiere en los cultivos de monocotiledóneas.

c. Vitaminas y otros minerales. Son necesarias la tiamina (.1 a 1 mg/l), niacina (5 mg/l) y piridoxina (.5 mg/l) para algunas plantas; pueden añadirse rutinariamente.

Algunos otros materiales requeridos ocasionalmente incluyen inositol (100 mg/l), ácido pantoténico (.1 mg/l) y biotina (.1 mg/l).

d. Reguladores del crecimiento. Las auxinas principales necesarias incluyen al IAA y Naa (.1 a 10 mg/l) 2,4-D (.1 a 5 mg/l). La fitokinina (.1-10 mg/l) es necesaria para algunas especies. El inicio de raíces y brotes se controla generalmente por medio de la interacción de auxinas y fitokininas.

e. Complejos orgánicos. El más útil es el agua de coco en un 10-15 %. Algunas veces son beneficiosos el extracto de levadura, el hidrolisato de caseína, los extractos de plantas, el banano y el jugo de tomate.

Es importante la selección del medio de cultivo, puesto que existe una considerable variación entre los requisitos para el crecimiento en distintas especies de plantas. En general, los requerimientos básicos incluyen materiales de los cuatro grupos (A, B, C y D).

Una auxina como el Naa o 2,4-D es casi siempre indispensable, y muchas plantas necesitan fitokininas.

Para el crecimiento del callo, los cultivos podrán mantenerse en la oscuridad, pero a menudo se necesita luz para la germinación. En la oscuridad las plantas palidecen y mueren.

Preparación del medio

La mayoría de los cultivos crecen en un medio semisólido, logrado al añadir agar en polvo (.5-1%) a la solución. Este material se disuelve al calentarse, pero se solidifica cuando es enfriado, hasta lograr un estado semisólido de gel, que puede utilizarse como una base de sustento eficaz para cultivos de órganos y tejidos.

Otro procedimiento alternativo consiste en desarrollar cultivos en un medio líquido, pero se necesita algún medio de ventilación, tal como agitarlo o hacerlo burbujear. La selección a menudo se realiza arbitrariamente, pero en algunas plantas el éxito o fracaso del cultivo de tejido depende del empleo de un nutriente líquido o de agar.

La preparación del medio requiere pipetas, frascos y recipientes volumétricos para medir con exactitud los materiales necesarios. Los productos químicos se añaden usualmente en soluciones-patrón, en concentraciones de 10 a 100 veces la cantidad requerida en la solución final. Los preparados orgánicos se guardan por un período no mayor de dos meses en un refrigerador; los materiales inorgánicos pueden guardarse indefinidamente. El azúcar se añadirá en el momento de la preparación; el agar puede hervirse por separado, aunque no es estrictamente necesario.

La solución caliente se combina con el resto del medio y se mezcla concienzudamente, para luego distribuirla en frascos de cultivo, tubos o botellas antes de que enfríe. Se utilizan de diez a 25 ml por frasco.

La gama usual del pH del medio para un crecimiento efectivo es de 5-6, que podrá ajustarse con 0.1 de NHCl o KOH. Los tubos de cultivo con el medio deberán ser esterilizados a 250 grados F (121 grados C) durante 15 minutos en una autoclave u olla de presión.

Etapas del método de cultivo de tejido para la propagación

Etapas 1. Establecimiento del cultivo de tejido para la propagación

El objetivo es simplemente lograr un cultivo aséptico de la planta en cuestión. Generalmente se emplea un punto meristemático o de crecimiento.

Es necesario que el cultivo esté libre de infecciones que, una proporción adecuada de la planta sobreviva y que se dé un rápido crecimiento entre los explantes.

Etapas 2. Multiplicación del propágulo

El objetivo es lograr otra estructura que en última instancia dé lugar a la planta. El aumento puede lograrse en la mayoría de los casos ya sea estimulando la formación de órganos adventicios o embriones, o estimulando la mutación de retoños axilares. El método de multiplicación con mayores posibilidades en la mayoría de las especies es la organogénesis adventicia, ya sea de brotes o de embriones asexuados. Las orquídeas han sido multiplicadas por medio de formación adventicia de protobulbos. La organogénesis adventicia es más rápida, pero puede producir un mayor porcentaje de plantas con aberraciones genéticas. En la Etapa 2 es necesario un medio que favorezca la diferenciación; este puede ser totalmente distinto del requerido en la Etapa 1.

En algunas plantas, sin embargo, ciertos medios pueden utilizarse en ambas etapas.

Etapas 3. Preparación para el establecimiento de la planta en el suelo

Esta etapa comprende la formación de raíces de las secciones de los brotes, el endurecimiento para impartir cierta tolerancia a la coacción de la humedad, la conversión de las plantas de la etapa heterotrófica a la autotrófica. Ha sido posible proceder a través de las Etapas 1 y 2 por medio de la utilización de medios nutrientes de idéntica composición y forma, y con un mismo abastecimiento de luz y temperatura. La Etapa 3 debe ser distinta de las dos anteriores, aunque la composición del medio puede ser simple, debido a que las plantas se encuentran ya funcionando independientemente; esto es, pueden llevar a cabo la fotosíntesis y producir alimento. A menudo una solución ordinaria de nutrientes (Knops o Hoagland) es adecuada.

La etapa de explante

Los factores por considerar en la selección del explante apropiado, incluyen, según Murashige (1974):

1. El órgano que servirá como fuente de tejidos
2. La estación
3. La edad fisiológica u ontogénica del órgano
4. El tamaño del explante.

La mayoría de las partes de la planta pueden ser utilizadas como fuente de explantes, pero el grado de éxito varía. De modo que, al desarrollar un procedimiento para uso comercial, la selección de la fuente de explantes deberá llevarse a cabo en forma deliberada y sistemática.

Las puntas de los retoños se han utilizado en mayor grado en las orquídeas, espárragos y margaritas africanas; las secciones de hojas en begonia, las nucelas en la Rutácea, los cotiledones en muchos retoños.

Algunas veces varían las respuestas de los órganos, tal como en la *Nicotiana glauca*, en la cual las secciones de los tallos no producen brotes o raíces ante el tratamiento con fotokinas y auxinas, aunque los cultivos de puntas de tallos produjeron órganos adventicios en forma profusa bajo las mismas condiciones, como en el caso de la petunia.

Con frecuencia, la edad fisiológica y el grado de diferenciación de las células afecta a las características en el cultivo de tejido, así como en la formación de raíces en secciones de tallos (Barba y Akorny, 1975) y en otras características de las plantas, tales como la formación de bulbos, etc. La supervivencia puede depender del tamaño del explante, así como de la salud y el vigor de la fuente de plantas.

Procedimientos específicos para cultivar órganos de tejido

Cultivo de embriones

Un cultivo de embrión se prepara extirpando el embrión de la semilla durante alguna etapa de su desarrollo y haciéndolo germinar en un medio especial.

Esta técnica tiene tres usos en la propagación:

1. Se utiliza para desarrollar embriones extirpados de la fruta en una etapa temprana de desarrollo, que hubieran abortado si se hubieran dejado desarrollar naturalmente dentro de la fruta. Esto se aplica a algunas especies como las Rosáceas, en las cuales los embriones de las variedades de fruta de maduración prematura no se encuentran lo suficientemente desarrollados como para producir buena semilla, o en las cuales embriones producidos por hibridación interespecífica se encuentran deficientemente nutridos por un endosperma defectuoso.

2. El cultivo de embriones se utiliza para evitar el letargo y producir la germinación inmediata de semillas que, de otra forma,

requerirían un prolongado tratamiento de pregerminación. Esta es la base para la prueba de germinación de embriones extirpados.

3. Asimismo, es utilizado para germinar semillas de orquídea (no es técnicamente un cultivo de tejido, aunque se utilicen los mismos procedimientos). La asepsia de la semilla o embrión puede lograrse de dos maneras. La fruta puede esterilizarse superficialmente con un desinfectante como fenol (15% por 5 minutos), alcohol, hipoclorito de sodio o de calcio, o puede ser simplemente lavada con esmero.

El embrión se extirpa del óvulo y se coloca en la superficie del medio de cultivo.

En el segundo método, las semillas se extraen de la fruta y se tratan con desinfectante. Las semillas de orquídea, por ejemplo, se colocan en una pequeña ampollita y se cubren con una solución de hipoclorito de sodio o de calcio, de 5-10 veces su volumen, más una gota o dos de un agente humedecedor.

Luego de 5-20 minutos y de ser agitadas periódicamente, las pequeñas semillas se implantan directamente de la solución con un aro de alambre o con un gotero medicinal.

Los frascos o tubos que contienen los embriones implantados deberán colocarse a temperatura ambiente con luz difusa, protegidos de la luz solar directa. Cuando se hayan desarrollado las raíces y los retoños, se transplantan a un medio esterilizado de crecimiento. Estos retoños son muy tiernos y deberán protegerse particularmente de la luz fuerte, la alta temperatura y la deshidratación cuando se transplanten del recipiente.

Cultivo de las puntas del retoño

En este procedimiento, el meristema apical y las primeras hojas que están directamente bajo éste se extirpan de la punta del retoño y se colocan en una condición tal que las raíces se formen de la base para producir una pequeña plántula. El meristema es incapaz de crecer independientemente, a menos que bajo él se conserve alguna hojita primordial.

Esta técnica es utilizada para producir una sección de tallo libre de patógenos, ya que la sección de la punta usualmente se encuentra libre de bacterias, hongos y virus.

De esta forma se han producido clones libres de virus en claveles, orquídeas, dalias, etc.

Esta técnica se ha utilizado como método de propagación de ciertas plantas cuya propagación vegetativa de otra forma sería difícil y lenta. Se aplica en particular a las orquídeas, pero puede usarse para otras plantas.

Cultivos de proliferación del clavel

Hackett y Anderson han desarrollado un procedimiento para multiplicar claveles, similar al descrito anteriormente para las orquídeas.

En idéntica forma se prepara un brote de la punta con cuatro hojitas primordiales. Se hacen incisiones en cada hoja para mutilarlas; la punta se coloca en un medio altamente salino en forma de callo, en 2mg/l NAA, que puede subcultivarse en algún medio con ppm NAA, cada seis semanas. Si se transfieren trozos de 50 mg a un medio de baja salinidad y NAA, se desarrollan pequeñas plantillas con raíz, tal como se forman en cultivos normales de retoños de las puntas.

Algunas veces se ha hallado un cierto grado de variación en cultivos de una sola clase. Esto podría crear un problema, pero a la vez puede proporcionar una base para usos importantes. Tales variaciones pueden surgir, en parte, de las diferencias existentes en la fuente de plantas utilizadas para desarrollar los cultivos; pueden surgir, asimismo, de cambios ocurridos en las células a medida que crecen los cultivos de callo. Algunas de estas modificaciones pueden ser resultado de cambios en los cromosomas, o pueden deberse en otros casos a senilidad. Murashige (1965) aisló células individuales de tabaco que resultaron ser tetraploides al convertirse en plantas maduras.

ESTADO ACTUAL DE LA PROPAGACION DE PLANTAS DE HORTICULTURA

La micropropagación, término popular para la propagación por medio del cultivo de tejido, ha sido utilizada exhaustivamente en la horticultura y la ingeniería forestal.

El número de universidades, institutos de investigación y compañías privadas involucrados en la propagación, ha aumentado paulatinamente en las dos últimas décadas; ya en 1985 existían alrededor de 350 laboratorios (Withwer, 1985), 200 de los cuales estaban dedicados a la micropropagación. Aproximadamente la mitad de ellos están localizados en los Estados Unidos y menos del 10% en el Sudeste de Asia.

Orquídeas

Tras el éxito obtenido por Morel al multiplicar los meristemas de *Cymbidium* en 1960, la orquídea se ha convertido en el clásico ejemplo del éxito en micropropagación. La orquídea responde bien a la propagación comercial por cultivo de tejido por las siguientes causas: a) para esta especie altamente heterocigota, que necesita uniformidad, la división es muy lenta; b) Es una de las especies más fáciles para el cultivo de tejido; c) existe suficiente demanda de orquídeas como para garantizar un interés prolongado en este método (de los 200 laboratorios que existen en el mundo, el 58% produce orquídeas). (Cuadro 2).

De hecho, la propagación por CT (cultivo de tejido) es un factor clave en el desarrollo de la industria de orquídeas en Europa, Estados Unidos, Tailandia, Singapur, Taiwán y Japón.

El resultado ha permitido que los productores comerciales produzcan grandes cantidades de flores uniformes y de alta calidad, prerrequisito indispensable para la industria de exportación de flores. El Cuadro 4 es una lista de algunas orquídeas propagadas por CT.

Plantas de follaje y flores

Después de las orquídeas, las plantas de follaje y las flores constituyen el mayor grupo de plantas propagado por cultivo de tejidos (Cuadros 2 y 5). De los laboratorios comerciales, el 52% se dedica a estas variedades. La propagación de estos tipos de plantas incluyen gerberas, claveles, bulbos y opérculos. El helecho de Boston fue la primera planta de follaje que se comercializó por medio del cultivo de tejidos. Durante los años setenta, el valor de la industria de follaje en Estados Unidos aumentó de US\$28 a US\$300 millones (Smith y Scarborough, 1981).

En Almeer, Holanda, el comercio de plantas de follaje y flores alcanzó los US\$700 millones (Gavinlertvatana, 1988).

En 1983-1984 la expansión de laboratorios comerciales en Estados Unidos fue impresionante; aumentó el rendimiento potencial de 25 millones a más de 100 millones de plantas por año (Hartmann y Zetter, 1985).

Simultáneamente, la expansión de laboratorios en el Sudeste de Asia ha duplicado su rendimiento de 10 a 20 millones por año. Plantek Internacional, en Singapur, cuenta con una capacidad actual de 5 millones de plántulas por año, con base para una mayor expansión.

Los principales productos del cultivo de tejido en Estados Unidos y el Sudeste de Asia son presentados en el Cuadro 3.

El total de plantas de follaje y flores producidas con cultivo de tejido en Estados Unidos se estimó en 60 a 65 millones de plantas en 1985, de las cuales el 50% eran plantas de follaje. Las plantas con flores constituyeron un 10% .

Una sola planta, el Syngonium, cubrió casi el 50% del total de las plantas de follaje, seguido por el Spathiphyllum (18.5%) y los helechos (15.4%). La Gerbera fue la planta con flor única con el mayor volumen de producción (52%), seguida por las violetas africanas (19%).

En el Sudeste de Asia las orquídeas dominaron la producción por cultivo de tejido, con cifras estimadas en 6 a 8 millones de plántulas en 1985. Corresponde a Tailandia el 90%.

Siembras de vegetales

El cultivo de tejido en vegetales no es algo nuevo. Al inicio de los años veinte, Robbins (1922) intentó cultivar raíces de tomate. De hecho, el primer cultivo de tejido exitoso lo constituyeron las raíces de tomate, que continuaron creciendo en un experimento realizado por White (1943) al comienzo de los años cuarenta.

El cultivo de tejido de la zanahoria fue estudiado en profundidad en los años cincuenta y constituyó un modelo favorito en esa clase de investigaciones.

No pareciera que la propagación por cultivo de tejido para la producción de vegetales en el campo pueda reemplazar a las semillas (Ng, 1985), ya que la mayoría de los vegetales son propagados por medio de semillas de producción muy barata, fáciles de manejar y almacenar. No obstante, la propagación por cultivo de tejido juega un papel significativo en la producción comercial de semillas de vegetales y en programas de reproducción, como puede verse a continuación:

- a. Propagación de progenitores para producción de semillas híbridas.
- b. Mantenimiento de características específicas deseadas, tales como:
 - espárragos machos
 - cucurbitáceas con pistilo
 - brócoli autocompatible
 - tomate macho estéril, etc.
- c. Inducción de poliploides y multiplicación de plantas poliploides.

- d. Producción de haploides para reproducción.
- e. Rescate de embriones para cruzamientos de amplio espectro.
- f. Eliminación de virus.

Muchos de los interesantes desarrollos de la biotecnología han surgido al utilizar vegetales, por ejemplo en el caso de sistemas de transferencia de genes para introducir genes beneficiosos de las bacterias u otras plantas, con el objeto de lograr resistencia a los herbicidas; a los virus; a los insectos (como el gen de *Bacillus thuringensis*); tolerancia a la sal, etc.

Algunos vegetales propagados por el CT se incluyen en el Cuadro 6.

Cosechas frutales

La propagación comercial ha estado limitada a pequeñas cosechas frutales que poseen una estación de crecimiento menor que la de los arbustos de las plantaciones. Pueden mencionarse las uvas, las fresas y las frambuesas.

Las razones de lenta adaptación son:

1. Dificultad para establecer el procedimiento. En la mayoría de las especies leñosas, los CT no han sido desarrollados a cabalidad. Las plantas deseadas de la elite generalmente han pasado la etapa juvenil y han perdido la capacidad de regenerar retoños y raíces. Usualmente el problema radica en la formación de raíces.

2. No existen datos suficientes para apoyar los beneficios de las plantas micropropagadas en el campo, ni certeza acerca de las variaciones (Hammerschlag, 1985).

Han aparecido variaciones extremas de plantas producidas por CT, tales como la reconversión en plantas femeninas de explantes hermafroditas de papaya, y aproximadamente un 30% de variación en el banano y la piña.

3. A menudo el costo de la micropropagación es incapaz de eliminar las ventajas. Normalmente, las plantas leñosas de crecimiento lento son, no sólo difíciles para el cultivo de tejido, sino también caras, debido al tiempo requerido para su cultivo. Otros métodos son más fáciles y más baratos: gemación, injertos,

acodos, injertos por aproximación o formación de raíces de las secciones.

Las excepciones las constituyen las plantas de rápido crecimiento, en las cuales la propagación por CT es rápida; en ellas se necesitan grandes cantidades de materiales para plantar, como en el caso de la piña, el banano y la fresa. De otra manera, se prefieren los métodos simples de separación por división de bulbos, sarmientos, unión de tallo con raíz o retoños.

En las uvas, la propagación por CT no puede, salvo que existan razones específicas, competir con las estacas a causa de su costo.

El CT en frutas es útil para eliminar virus en viejos o nuevos cultivares que han sido infectados invariablemente por virus, debido a la propagación vegetativa continua que acarrea la enfermedad a través de los materiales de propagación.

Cultivos de plantaciones

El coco y el aceite de palma ocupan un segundo lugar con respecto al frijol de soya como fuentes de aceite vegetal; constituyen los cultivos de más alto rendimiento en términos de producción de aceite por hectárea por año.

En la actualidad se utilizan únicamente semillas para plantar. Debido a su comportamiento exogámico, se presenta una amplia variación dentro de una progenie dada, y los individuos superiores pueden ofrecer un rendimiento mayor al doble del promedio de la progenie. Una parte importante de este fenómeno es heredada; los reproductores se han concentrado en este componente genético a través de los años, para mejorar los rendimientos en un diez por ciento cada década, de acuerdo con Euwens (1988). No hay duda de que podría obtenerse un progreso más rápido si se duplicaran por "cloning" los progenitores seleccionados e individuos superiores, ya fuera como fuente de materiales de plantas o como progenitores seleccionados para la producción de semillas "clonadas".

Muchos laboratorios han reconocido estas ventajas y se han dedicado activamente a la micropropagación durante los últimos veinte años.

Aunque se han reportado resultados exitosos, al menos en la proliferación de callo (Blake et al., 1977; Guzmán et al., 1979) e incluso en la regeneración de plantas (Euwens, 1983), aún no se ha presentado un avance importante que sugiera la posibilidad de una propagación masiva.

El CT en la palma datilera se inició utilizando retoños (Reuveni, al comienzo de los años setenta). Entre 1972-1979 varios investigadores, incluidos Smith (1975) y Brochard (1978), reportaron el cultivo exitoso del tejido de la palma datilera hasta el estado de callo. El callo y el embrioides fueron obtenidos por Reynolds y Murashige (1979); asimismo, se obtuvieron plantas de cultivo de palmeras maduras (Tisserat, 1981).

El CT de la palma africana ha pasado por etapas importantes de desarrollo. La evaluación en el campo también se ha efectuado (Corley et al., 1986) en varios laboratorios. Uniliver, IRHO, PORIM y Plantek han logrado producir con éxito cantidades comerciales de palmas aceiteras. El proceso es largo, lento y muy caro si se compara con el método de desarrollo de plantas por semillas.

Se ha puesto en tela de juicio la estabilidad genética del CT de palma. Corley et al. (1986) reportaron un desarrollo anormal en las flores (Cuadro 8).

El cacao, café y té son los principales cultivos económicos para bebida. El cacao y el café generalmente se propagan por semillas y el té por estacas.

El interés por el cultivo de tejido en estas cosechas radica en que brindan asistencia en el programa de reproducción y variedades superiores.

El cultivo de tejido del café comenzó en 1970 con Staritsky. Se reportaron trabajos posteriores por Sondahl (1984) y Dublin (1980).

La investigación sobre el cultivo de tejido en el cacao se remonta a 1954 (Archibald); en ese experimento se obtuvo un callo pálido y desorganizado. Orchard et al. (1979) y Meller (1984) consiguieron un crecimiento limitado en el cultivo de yemas apicales. Se obtuvieron embrioides somáticos de tejidos de hipocotíleos y cotiledóneas (Essan, 1975; Pencs et al., 1979).

La propagación del cacao por cultivo de tejido se encuentra todavía en la etapa de desarrollo e investigación; aún existe mucha labor por realizar antes que pueda ser aplicada comercialmente.

Los informes sobre el cultivo de tejido de Camelia se especializan en las variedades ornamentales y japónica.

Plantek ha cultivado con éxito *C. sinensis*, el té utilizado en el comercio.

El interés mayor en la propagación por CT de la papaya es producir una verdadera hermafrodita de la variedad Solo. Incluso las hermafroditas obtenidas de retoños muestran variabilidad en las características de la fruta y de la producción.

Plantek propaga rutinariamente líneas elite de Solo, y hace fructificar las plantas en Filipinas y Malaya. Debido a las reconversiones de sexo y al costo inherente de la micropropagación, Plantek se encuentra en proceso de evaluación de la lógica que apoya la producción por CT en la papaya.

El Cuadro 9 muestra algunos cultivos de plantaciones propagadas por cultivo de tejido.

CUADRO 2

NUMERO DE LABORATORIOS EN PRODUCCION DE PLANTAS HORTICOLAS Y
DISTRIBUCION DE PORCENTAJES

PLANTAS	USA (90)	MUNDIALES EXCLUYENDO USA (115)	MUNDIALES INCLUYENDO USA (205)
DISTRIBUCION DE PORCENTAJES			
Orquídeas	60	56	58
Helechos	15	21	19
Follaje/ flores	28	37	33
Plantas leñosas	15	17	16
Cultivo de plantación tropical	3	9	6
Vegetales	5	13	10
Frutas	4	23	15

CUADRO 3

PRINCIPALES PRODUCTOS DE CULTIVO DE TEJIDOS EN ESTADOS UNIDOS Y EL
SUDESTE DE ASIA

Cultivo	Producción de 1985 (millones de unidades)	%
Plantas de follaje	(32.5)	100.0
Syngonium	15	46.2
Spathiphyllum	6+	18.5
Helecho	5	15.4
Dieffenbachia	3	39.2
Philodendron	2+	6.2+
Ficus	1	3.0
Follaje misceláneo	0.5	1.5
Plantas florales	(7.7)	100.0
Gerbera(en maceta, paisajismo, flores cortadas)	4	52.0
Violeta africana	1.5	19.6
Rosas (maceta, jardinería, flores cortadas)	0.18	2.4
Lirios y otros bulbos	2	26.0
Ornamentales leñosas y cultivos frutales	(20.5-25.5)	
Azalea	2.3	
Bhododendrum	8	
Cultivos frutales	10-15	
Total	(60.7-65.7)	
Sudeste de Asia 2/		
Orquídeas	6-8	
Follaje-Plantas florales	NA	
Cultivos frutales/ Cultivos de plantación	NA	

1: Jones, J.B. 1985

2: Estimación/ Entrevistas, 1985.

CUADRO 4
CULTIVO DE TEJIDO EN ORQUIDEAS

Especie	Referencias
Aeridachnis	Lim Ho. 82
Arachnis	Lim Ho. 82
Aranda	Goh 73, 81, Lim Ho 82
Aranthera	Inawati et al. 77 Cheah y Sagawa 78
Ascocenda	Lim Ho 82
Cattleya	Morel 64,65 Scully 67, Gregorine 73, otros
Cymbidium	Morel 60,65, Wimber 63,65 Wilfret 66, Stewart y Maper 71. Muchos otros
Dendrobium	Morel 64,65; Sagawa y Shoji 67, Singh + Sagawa 72, Intuwong + Sagawa 75, Sagawa y Kunisaki 82, Muchos otros
Epidendrum	Churchill et al. 70, Stewart y Button 76
Miltonia	Morel 64, 65
Oncidium	Fast 73
Phalaenopsis	Intuwong y Sagawa 74, Tanaka et al. 76, Tanaka y Sakanishi 77,78 muchos otros
Rhyncostylis	Vajrabhaya y Vajrabjaya 70
Vanda	Kunisaki et al. 73, Tanaka et al. 75; Mathews y Rao 80, Bose + Mukerjee 74

CUADRO 5

CULTIVO DE TEJIDO DE PLANTAS FLORALES Y DE FOLLAJE

Especies	Método	Referencias
Anthurium	Raíces advent.de retoños Yemas advent. de retoños	Pierik et al.74 Kunisaki 80
Bromelia	Raíces adventicias	Murashige (1974)
Begonia	Raíces advent.de semi- llas	Wirth 60, Harris Hart 64
Chrysantemum	Formación de retoños del tallo Retoños del callo de la punta del retoño	Hill 1968 Sagawa y Harada 1977 Takayama y Misawa
Croton	Retoños del callo del endospermo	Chikkanaiah y Gayatri. 74
Ti	Retoños de la punta del retoño	Kunisaki (1975) Miller y Murashige 76
Clavel	Retoños de la punta del retoño	Baker y Hackett y Anderson 67, muchos otros
Dahlia	Retoños del meristemo	Meri y Hosakawa,77
Dracaena	Retoños de las yemas	Chua, 81
Ficus	Retoños de las yemas	Makino et al. 77 Debery y Woel,77
Margarita africana	Retoños de las yemas	Murashige, 74 Wozniak et al. 82
Gladiolus	Retoños de las yemas	Bajaj et al. 83 Ziv et al. 70
Girasol	Retoños del callo del hipocotíleo	Mahaswari et al.
Guzmania	Raíces adventicias de las yemas	Mapes, 73; Muker, 77

Continuación CUADRO 5

Especies	Métodos	Referencias
Helecho de Boston	Retoños de los rizomas	Murashige, 74 Beck y Caponetti, 83
Violeta africana	Retoños de yemas y hojas	Cooke, 77 Greenewolt, 77 Otros
Geranium	Retoños del callo del tallo	Hammerschlag y Botino, 81
Philodendron	Retoños de las puntas de retoños	Murashige, 74

CUADRO 6
CULTIVO DE TEJIDO DE VEGETALES

Especie	Métodos	Referencias
Cebolla	Embrioides de los retoños de callo del hipocotíleo del meristemo	Reynolds et al. 81 Danstan y Shoart, 77
Ajo	Retoños del callo de los meristemos, diente	Javranek y Novak, 73. Bjowani 80 Novak 80
Espárrago	Retoños del callo de las puntas de los retoños, yemas laterales	Murashige 72 Hasegawa 73 Harada 73 Matsubara y Glore 74. Reuthee 77 Otros.
Repollo chino	Retoños y yemas, anteras	Kuo, Tsay 77. Otros
Brócoli	Retoños del callo de hojas, flores	Anderson 76 Anderson et al. 77 Johnson y Mitchell 78
Coliflor	Retoños del callo de las hojas, entrenudo, hipocotíleo	Lustinec y Horok 70. Baroncelli et al. 73. Walkey y Wolfitt 70. Pareek y Chandra 78. Dieter et al. 82
Col de Bruselas	Raíces adventicias de retoños, disco de hoja yemas	Dunwell 75, 81 Clare y Collin 75 Dunwell y Davis 75
Repollo	Retoños del callo del retoño, hoja, yema	Baja y Nitsch 75 Uchimiya et al. 79. Walkey et al. 80
Sandía	Retoños de puntas de y retoños, yemas, cotiledones	Barnes 1979 Blackmon Reynolds 82 Barnes 78

Continuación CUADRO 6

Especies	Métodos	Referencias
Taro	Proliferación del retoño de la punta del retoño,	Mapes y Cable 72 Hartman 74 yemas Abo El Nil y Zeller 76 Jackson y Arditti 82 Nyman et al.1983
Papa	Brotos de retoños del callo del tubérculo, Minitubérculos	Felleberg, 63 Goodnemm, 66 brotes de las yemas, Susuki 79 Muchos otros.
Zanahorias	Embrioides del callo de la raíz	Kato y Takeuche la raíz 63 Halperin et al. 65 Smith y Murashige 70 Amirato y Stewart 71. Muchos otros
Batata	Retoños de callos, nudos, tubérculos	Mantell et al.78 Ammirato 82 Hwang et al.80
Camote	Retoños del callo de los meristemos, tubérculos	Nielsen 60, Elloit Gunckel 72, Meri y Hosakawa 77, Hwang et al.81 Muchos otros
Tomate	Retoños del callo del entrenudo, yemas	Sri Ramulu et al. 76. Kartha et al. 77. Cassells 79 Novak y Naskova, 79. Otros.
Cúrcuma	Regeneración de retoños	Rute et al.78
Batata de cocos	Retoños de la proliferación de retoño del callo	Straus y Arditti 80. Mapes y Gable 72.
Jengibre	Raíz adventicia de rizomas.Reproducción de retoños de las yemas.	Hosaki, Sagawa 77 Wang y Hu 80

CUADRO 7
CULTIVO DE TEJIDO DE FRUTAS Y NUECES

Especies	Métodos	Referencias
Kiwi	Retoños del callo	Harada 75, Gui 79 Mapes
Piña	Raíces adventicias del callo de la yema	Mapes, 73, Murashige 74 Mathews et al. 76 Apte et al. 79. Otros
Carambola	Callo, pero sin retoño	Litz y Conover, 80
Papaya	Retoño de semillas, yemas retoñadas	Jordan et al. 83 Cohen y Cooper 82 Al-Mehdi y Hogan 76 Plantek 86. Otros
Lima	Retoños del callo del óvulo	Mitra y Chatuverdi, 72
Limón	Raíces adventicias del óvulo	Rangan et al. 68, Essan 68
Calamansi	Retoños del callo	Patena et al. 78
Pomelo	Embrioides del óvulo	Rangan et al. 68 Patena et al. 78
Mandarina	Retoños de los internudos	Starantino y Russo 1980
Higo	Retoños de las puntas de los retoños	Mariithi et al. 82 Waithaka 82
Fresa	Retoños de las yemas	Damiano 77, Zimmerman 78. Otros
Banano	Raíces adventicias de las puntas de los espárragos	Dore y Swanny 83 Krikorian y Cronover 84 Damasco y Barba 84, 85 Damasco et al. 86. Y otros
Aguacate	Cultivo del meristemo	Shroeder 73 Cooke y Shroeder 78
Uva	Raíces adventicias	Scorza et al. 1982 Srinivasan y Mullins 80. Muchos otros

CUADRO 8

INCIDENCIA DE INFLORESCENCIAS ANDROGINAS Y FRUTAS CUBIERTAS EN PLANTACIONES DE CLONES DE DIFERENTES EDADES EN KLUANG, JOHOR.

Clones	Año en que se plantó	Normal	Andrógino	Femenino normal	Inflorescencia normal
31 A	1981	85	15	100	0
	1983	69	31	5	95
90 a	1981	100	0	100	0
	1982	81	19	75	25
	1983	100	0	8	92
115 E	1982	97	3	100	0
	1982	90	5	74	26
	1983	89	11	12	88

Nota: Las palmeras se clasificaron separadamente para las inflorescencias masculinas y femeninas en: a) normales por completo o b) parcialmente anormales por completo. El porcentaje de palmas está dado en cada categoría (Corley, 1987).

CUADRO 9

CULTIVO DE TEJIDOS EN CULTIVOS DE PLANTACIONES.

Especie	Método	Referencias
Té	Retoños de las yemas	Nathan 87
Coco	Retoños de las inflorescencia de "rachillae", no así raíces.	Euwens y Blake 77
Café	Embriogénesis del callo	Staritski 70 Sondahl + Sharp 79, 77
Raíces y hojas	Embriogénesis del callo de palma aceitera	Staritzki 70, Rabechault 70 Jones 74, Paranjothy + Othman 82, Nwanko y Krikorian 83
Hule	Plántulas de la proliferación de retoños del callo	Paranjothy 76, Carron y Enjalric 82. Mascarenhas et al. 82
Tabaco	Embriogénesis del callo	Murashige 62 Vasil y Hildebrandt 67, Maheshwari et al. 85. Otros.
Caña de azúcar	Retoños del callo de las hojas, raíces, inflorescencia Raíces adventicias del meristema	Barba y Nickell, 69 Barba y Nickell, 69 meristema Heinz y Mee 69 Liew y Chen 76,78 Larkin 82 Larkin y Scowcraft 82
Palma datilera	Callo de retoños del cotiledon y embriones	Reuveni et al.74 cotiledón, embriones Euwens y Blake 77 Reynolds 79 Reynolds y Murashige 79, Tisserat 79

Continuación CUADRO 9

Especies	Métodos	Referencias
Jojoba	Retoños de las yemas	Arago + Hogan 76 Birbaum 78 Rost y Hinchee 80
Cacao	Retoños de las yemas, embriones	Orchard et al. 79 embriones Wang et al. 81
Aceite de castor	Retoños de callo del endospermo	Satsangi y Mohan Ram 65
Ramio	Retoños del callo	Yan et al. 82 Siew Tin 87
Henequén	Retoños de las yemas	Nante y Tepper 1983 de Guzmán et al.
Yuca	Retoños del meristemo	Bajaj, 78

REFERENCIAS SELECCIONADAS

- BARBA, R; L. G. NICKELL, 1969. Nutrition and organ differentiation in tissue culture of sugarcane, a monocotyledon. *Planta (Berl)* 89: 299-302.
- BROERTJES, C.; HACCIUS E.; WEIDLICK. S. 1968. Adventitious but formation on isolated leaves and its significance for mutation breeding. *Euphytica* 17: 321-344.
- GAUTHERET, R. J. 1939. Sur la possibilité de réaliser la culture indefinies de tissue de tubercule de carotte. *Comp. Red acad. Sci.* 208-218.
- HEINZ, D. J.; GRACE, W.P. MEE. 1969. Plant differentiation from callus tissue of *Saccharum* species. *Crop. Sci.* 9: 346-348.
- HELLER, R. 1965. Some aspects of the inorganic nutrition of plant cultures in Proc. Intl. Conf. in Plant Tissue Culture. Mc Cutchan Publishing Corp.
- KNUDSON, L. 1922. Non symbiotic germination of orchid seeds. *Bot. Gaz* 73 (1) : 1-25.
- MOREL, G. M. 1960. Producing virus free cymbidiums. *Amer. Orchid Soc. Bull.* 29: 495- 297.
- _____. 1964. Tissue culture, a new means of clonal propagation of orchids. *Amer. Orchi.Soc. Bull.* 33: 473-478.
- MURASHIGE, T.; F. SKOOG. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tabacco tissue culture.
- _____; and R. NAKANO. 1966. Tissue culture as a potential tool in obtaining polyploid plants. *Jour. Heredity.* 57: (4): 114-118.
- _____. 1974. Plant Propagation through tissue culture. *An. Rev. Plant Physiol.* 25:135- 166.
- NGUYEN THAI VAN. 1975. Influence of selected growth regulators and organic additives on culture in vitro on papaya (*Carica papaya* L.) ovary tissue. Tesis M.S. UPLBCA.
- NICKELL, L. G. 1969. Tissue and cell culture of sugarcane another research toll. *Hawaiian Planters Record* (57 (2) 223: 229.
- _____. 1972. Development and biochemical studies with culture sugarcane cell suspension. Trabajo presentado en Japon.

- NORTHEN, R. T. 1962. Home Orchid growing. Van Nostrand.
- RADAN, R. R. 1974. Test-tube sugarcane. Greenfields 4 (1): 30-31.
- VACIN, E.; WENT. F. 1949. Culture solution for orchid seedlings. Bot. Caz. 110 : 605-613.
- WHITE, R. P. 1934. Potentially unlimited growth of excised tomato root tips in a liquid medium. Plant Physiol. 9: 585-600.

ANEXO 1**PROGRAMA Y ORGANIZACION DEL SEMINARIO****Lunes 21**

- 10:00 Llegada de los participantes e inscripción.
- 10:30-11:00 Sesión de Apertura.
- 11:00-12:30 Ponencia y discusión: Centroamérica y las biotecnología: Oportunidades o amenaza.
Expositor: Ennio Rodríguez (coautor del trabajo con el Saúl Weisleder).
- 14:00-14:30 Ponencia: Diagnóstico de las agrobiotecnologías en América Central.
Expositor: Walter Jaffé.
- 14:30-15:30 Discusión
- 15:45-16:30 Ponencia: Perspectivas de la biotecnología para el mejoramiento genético y la propagación vegetal en América Central.
Expositor: Víctor Villalobos.
- 16:30-17:15 Ponencia: Biotecnología para el diagnóstico y protección de patógenos de plantas en América Central.
Expositora: Carmen Rivera H.
- 17:15-18:00 Ponencia: Oportunidades de las biotecnologías para la producción animal en América Central
Expositor: Luis Leandro Rodríguez.
- 17:45-18:30 Discusión

Martes 22

- 08:30-10:30 Ponencia y discusión. El Programa Nacional de Ciencia y Tecnología en Costa Rica (1986-1990).
Expositor: Rodrigo Zeledón
- 10:45-11:30 Ponencia: Perspectivas de las biotecnologías enzimáticas y de fermentación en América Central.
Expositor: Carlos Rolz.
- 14:00-15:30 Ponencia y discusión: La biotecnología en una compañía agrícola multinacional. El caso RJR

NABISCO.

Expositor: Robert Moser.

**15:45-17:00 Ponencia y discusión: El cultivo de tejidos como método de propagación de plantas: una revisión general.
Expositor: Ramón Barba.**

17:00-18:00 Conclusiones y recomendaciones.

Miércoles 23

08:30-12:30 Visita de campo a la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.

12:30 Clausura

13:00 Almuerzo ofrecido por FEDEPRICAP.

Sede del Seminario

Hotel Copantl-Salón Roatán

Coordinación General del Seminario

**Carlos Manuel Echeverría
Director Ejecutivo
FEDEPRICAP**

Coordinación Técnica

**Walter Jaffé
Programa de Generación y Transferencia de Tecnología
IICA**

Coordinador Administrativo

**Eugenio Herrera
Coordinador de Proyectos
FEDEPRICAP**

ANEXO 2

LISTA DE PARTICIPANTES

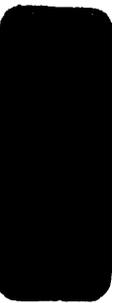
Nombre	Institución	Dirección	País
Rodrigo Zeledón	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Apartado #5589 Fax (506) 248295	Costa Rica
Phillip Rowe	Federación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)	Apartado #2067	Honduras
Ramón C. Barba	Plantek International	#04-01A Block 14 The Maxwell Science Park Drive	Singapore 0511
Víctor M. Villalobos	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)	Turrialba	Costa Rica
Danilo Bueso	Recursos Naturales	Tegucigalpa, D.C	Honduras
Mario Moran	Asociación Graduados EAP	La Almendra #181 Tegucigalpa, D.C.	Honduras
Héctor López	SECPLAN	2a Ave. 9-10 Comayaguela	Honduras
Sergio Caballero M.	Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)	Col. 15 de Septiembre #1702 Comayaguela	Honduras
Carlos M. Zacarías	Federación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)	Apartado #2067 San Pedro Sula	Honduras
Gerardo Lucas	FUNDA INDUSTRIA	Apartado #1664	Venezuela Caracas 101
Eva de García	Universidad Central de Venezuela	Apdo. 21201 San Martín. Univer- sidad C. Venezuela	Venezuela
Ronald Vega	Cámara Nacional de Productores de Leche	Apdo. #2992- 1000	San José, Costa Rica

Carlos González	AGROINDUSTRIA	Apdo. #10283	San José, Costa Rica 1000
Carmen Rivera	Universidad de Costa Rica	Centro Biolo- gía Celular y Molecular	San José, Costa Rica
Luis A. Noboa	CINDE/CAAP	Apdo. #211-212	San José, Costa Rica
Oscar Maldonado	Gremial Exporta- dores Productos no Tradicionales	Of. No. 206 Edi- ficio Rivera Quezaltenago	Guatemala
Rogelio Gómez	Ingenio Pantaleón	Siguinala, Escuintla	Guatemala
Yolanda de Arévalo	Funcionaria, Dept. Agr.	4 Ave. 10-25, Zona 14	Guatemala
Claudia Marroquín	Laboratorios Agrí- colas	3 Ave. 13-09, Zona 10	Guatemala
J. Rodolfo Pérez	Asoc. Gral. Agri- cultores	UNAGRO 9 Calle #3043 Zona 1	Guatemala
Roberto Casta- ñeda	Cámara del Agro	UNAGRO 10 Ave. 16-25, Zona 10	Guatemala
Eugenio Herrera	Federación de Enti- dades Privadas de Centroamérica y Panamá (FEDEPRICAP)	FEDEPRICAP	San José, Costa Rica
Carlos Echeve- rria	Federación de Enti- dades Privadas de Centroamérica y Panamá (FEDEPRICAP)	FEDEPRICAP	San José,
José Luis Arciniega	COSEP	De Club Terraza una cuadra al Lago M.	Nicaragua
Vicente Canales	Cooperativa Ganade- ra de Sonsonante	Sonsonate	San José, Costa Rica
Jaime A. Maida	Asociación de Produc- tores	Oficina Palermo Km 6 Santa Tecla atrás Canal 6 TV.	El Salvador

Juan Carlos Moncada	BANFFAA	Los Cataños, Tegucigalpa, D.C.	Honduras
Orlando Ortiz	BANFFAA	San Pedro Sula	Honduras
José M. Alvarado	CADELGA, S.A.	Apdo. 343, S.P.S.	Honduras
Edgar López Lindo	ANEP	Ave. Roosefelt #2827 2da. Planta	El Salvador
Carlos Borja	Cooperativa Ganadera de	Oficina Palermo, Atrás canal 6 TV.	El Salvador
Mauricio A. Quezada	Tenería El Búfalo, S. A.	Final 5a Ave. Nte. Sta. Ana	El Salvador
Ana C. Mirón de Mojica	Mirón Hnos	Ahuachapán	El Salvador
Fabián Salas Bolaños	Federación de Cámaras	Ave. Central y 3er. Piso Edificio Jiménez. San José	Costa Rica
Ennio Rodríguez	Oikos Asesores	Apdo. 281-1250 Escazú	Costa Rica
Luis Rodríguez	Universidad Nacional	Apdo. 86, Heredia	Costa Rica
Roberto E. Moser	Del Monte Tropical F.	P.O. Box 149222 Coral Gables, FL 33114	EE. UU.
Walter Jaffé	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)	Apdo. 55-2200	Costa Rica
Fernando Fernández	Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)	Apdo. 2067, S.P.S.	Honduras
Rolando Mejía Macías	FEPROEXAAH	3er. Piso Edificio Bendeck	Honduras
Carlos Schroeder	Banco Interamericano de Desarrollo	Edificio Los Castaños Tegucigalpa, D.C.	Honduras
Alberto José	Federación de Cáma-	6964-1.000 San	Costa Rica

Amador	ras de Ganaderos de Costa Rica	José	
Asdrúbal Carba- llo	Cámara de Bananeros de Costa Rica	San José	Costa Rica
John Lamb	PROEXAG/ROCAP	16 Calle 4-53, Zona 14 Guatemala	Guatemala
Tulio del Cid	Consejo Hondureño de la Empresa Pri- vada (COHEP)	Apartado #133-C Tegucigalpa, D.C.	Honduras
Patricia Arias	Consejo Hondureño de la Empresa Pri- vada (COHEP)	Apdo. #133-C Tegucigalpa, D.C.	Honduras





INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

Apdo. 55-2200 Coronado, Costa Rica - Tel.: 29-02-22 - Cable: IICASANJOSE - Telex: 2144IICA,
Correo Electrónico EIES: 1332 IICA SC, FACSIMIL (506)294741 IICA COSTA RICA