

# Importancia de la Biotecnología en el desarrollo agrícola. Enfoque en América Latina

**Eva C. de Garcia**

Laboratorio de Biotecnología Vegetal  
Instituto de Biología Experimental  
Centro de Botánica Tropical  
Facultad de Ciencias  
Universidad Central de Venezuela

## Resumen

La aplicación de la Biotecnología en combinación con programas convencionales de mejoramiento vegetal, contribuyen en forma efectiva a incrementar la producción agrícola, ya que permiten obtener cultivos con características que los hacen más compatibles a su medio ambiente. Los métodos biotecnológicos permiten explorar más ampliamente la gran variabilidad genética, existente en las plantas, ya que aunque se han obtenido variedades mejoradas mediante la hibridación y selección continua, existen limitaciones en esta metodología como es la escasa fuente de genes accequibles al mejorador y otra es la variabilidad obtenida en la progenie y la baja frecuencia de aparición de individuos con características deseadas. Aplicando la Biotecnología podemos micropropagar en forma rápida un individuo "élite"; con características

deseables conocidas, y clonar los genes responsables de la herencia de dichas características, luego por métodos del DNA recombinante introducir dichos genes en plantas de diferentes especies, lo cual no se puede hacer por los métodos tradicionales.

Es así como la biotecnología nos ofrece una gran posibilidad de desarrollar nueva agricultura. De esta forma la Biotecnología nos amplía las posibilidades de desarrollar una nueva agricultura sustentada en el uso reducido de fertilizantes químicos, en el control de plagas y en el cultivo de plantas que expresan características de tolerancia, ya sea a factores de estrés bióticos y abióticos. Estos cambios a mediano plazo deben tener un impacto sobre el comercio nacional e internacional de los productos agrícolas; ya sea porque inciden en la reducción de precios de los productos; o por sustitución y desplazamiento de exportaciones convencionales.

## Palabras Claves:

Biotecnología, Agricultura, Cultivo de tejido, Propagación clonal, Mejoramiento genético.

### Introducción:

La Biotecnología se puede definir como una herramienta que hace posible la utilización de organismos vivos o parte de ellos con el fin de obtener aplicaciones prácticas. Desde su nacimiento las Biotecnologías fueron reconocidas como un grupo de tecnologías genéricas de carácter innovador, por su posibilidad de afectar fuertemente actividades productivas existentes, por el hecho de que permiten manipular procesos de la vida (IICA, 1991). En la actualidad, mediante su uso se han obtenido importantes resultados, como, el perfeccionamiento de la obtención de productos farmacéuticos, el desarrollo de nuevos procesos industriales, el mejoramiento de especies animales y vegetales, etc.

La idea básica es optimizar la obra de la naturaleza para satisfacer mas eficientemente las necesidades humanas.

Enfocando la aplicación de procesos biotecnológicos al ámbito agronómico se observa que la implementación de estas técnicas, en combinación con programas convencionales de mejoramiento, contribuyen en forma efectiva a incrementar la producción agrícola, ya que permiten obtener cultivos con características que los hacen más compatibles con su medio ambiente.

Como se ha dicho previamente en el resumen, los métodos biotecnológicos permiten: explorar mas ampliamente la gran variabilidad genética presente en el reino vegetal, obtener variantes somaclonales, clonar y propagar masivamente individuos "élite", clonar genes responsables de la herencia de caracteres de interés agronómico, usar técnicas de DNA recombinante para introducir genes.

Los países de América Latina al igual

que otros países en desarrollo tienden a adecuar el uso de la Biotecnología a sus prioridades en el desarrollo de la agricultura, se debe identificar el cultivo y el objetivo prioritario del programa antes de definir las técnicas de mejoramiento.

Es difícil definir una lista de prioridades para todos los países de América Latina y el Caribe debido a la diversidad de especies existentes, a las diferencias de factores limitantes bióticos y abióticos para el establecimiento de los cultivos agrícolas en cada país, a la diferencia de prioridades agrícolas en los distintos países y a la diferencia en el desarrollo de las Biotecnologías en dichos países.

Sin embargo el análisis de la lista de cultivos a los cuales se les aplica métodos biotecnológicos en América Latina y del Caribe, nos indica que aunque la gama de especies es amplia (cereales, legumbres, hortalizas, raíces y tubérculos, frutales, cultivos industriales, forrajes, árboles forestales y plantas ornamentales); se observa que hay prioridad por algunos cultivos, estas técnicas se aplican en un 29 % en especies de árboles frutales, en un 28 % en raíces y tubérculos, seguido en importancia por cultivos industriales en 10,2 % y hortalizas (8,9 %), cereales (8,8 %) y forestales (7,7 %); el resto de los cultivos varían entre 24 y 4,8 %. De esto podríamos concluir que hay prioridad para los cultivos básicos en la alimentación, y entre ellos, frutales, raíces y tubérculos son los de mayor demanda. (FAO, 1989 Y 1990).

Independientemente del tipo de cultivo en el cual se apliquen las técnicas biotecnológicas, se observa que el cultivo de tejidos es la más generalizada con 63,4 %, seguida por conservación de germoplasma (11,4 %), diagnóstico fitopatológico (10,1 %) e ingeniería

genética (8,6 %). (García, 1986; FAO, 1990; García, 1991; IICA, 1991).

Estos resultados coinciden con la opinión de algunos expertos, quienes recomiendan las técnicas de cultivo de tejido, micropropagación y transformación como actividades prioritarias en los programas de mejoramiento de cultivo en los países en desarrollo.

### **1.- Métodos de Biotecnología aplicados a la agricultura:**

En líneas generales los métodos de la Biotecnología aplicados comúnmente en la agricultura son:

- a) Cultivo de Meristemos para obtención de plantas libre de patógenos. Organogénesis y embriogénesis somática para propagación masiva de especies de utilidad económica.
- b) Inducción de variación somaclonal y mutagénesis en especies apropiadas.
- c) Cultivo de anteras y microsporas para obtención de líneas puras.
- d) Cruzamientos distantes por técnica de cultivo "in vitro" para cultivos vegetales seleccionados.
- e) Introducción de genes específicos en células de especies vegetales para su mejoramiento (Ing. Genética).
- f) Bioconversión de desechos agroindustriales.

La aplicación de estas Biotecnologías en forma apropiada redundará en:

- Permitir el uso de tierras no aptas (baja precipitación fluvial, suelos, ácidos), para la agricultura, extendiendo así la frontera agrícola.
- Obtención de variedades con mayor rendimiento por hectárea.
- Mejorar la calidad de los productos agrícolas tanto en lo referente a su composición de proteínas y aminoácidos, como sus propiedades organolépticas.

-La industria de insumos agrícolas (fertilizantes, herbicidas, plaguicidas) promotores de crecimiento de origen biológico.

-Producción de metabolitos secundarios de gran valor económico (colorantes, saborizantes, principios activos farmacéuticos).

Entre los productos agrícolas que se esperan obtener mediante estas técnicas podemos mencionar:

- Granos básicos resistentes a sequía, plagas, etc.
- Granos básicos capaces de crecer en suelos salinos, alcalinos.
- Micropropagación de especies selectas (élites) de hortalizas, ornamentales, frutales, etc.
- Mayor rendimiento en gramíneas fijadoras de nitrógeno.
- Propagación de especies que en condiciones naturales poseen anomalías reproductivas.
- Obtención de plantas con características mejoradas, por medio de la introducción de genes usando la ingeniería genética.
- Híbridos obtenidos por hibridación de protoplastos, lo que permite cruces interespecíficos e intergenéricos.

### **2.- Biotecnologías apropiadas al mediano y pequeño agricultor de Latinoamérica y el Caribe**

En relación a Latinoamérica existen dos corrientes principales en el desarrollo de la agronomía: 1) la agroecológica que promueve una agricultura en equilibrio con la naturaleza que toma muy en cuenta el pequeño agricultor y donde la política e investigaciones benéficas están destinadas a los pequeños agricultores y los mercados que dependen de ellos y 2) la tecnocrática que favorece a la

tecnificación del agro, el amplio uso de insumo en cultivos de exportación, donde el agricultor es productor-empresario que se dedica a dicha actividad; y las políticas agrarias e investigaciones de alta tecnificación están destinadas a este tipo de productor (Radulovich, 1991). La línea tecnicista resulta en un alto rendimiento, al menos a corto plazo pero no toma en cuenta los criterios de una agricultura sustentable que tiene como doctrina la minimización de insumos en la producción agrícola.

Para el establecimiento de una agricultura sustentable, pareciera recomendable seguir más bien una tendencia agroecológica y su concepto del equilibrio entre el agricultor y el ambiente que maneja, ya que la misma sólo puede lograrse mediante el control de la contaminación, degradación ambiental y mediante el uso adecuado de los agroquímicos y el uso racional del suelo; en líneas generales en un aprovechamiento razonado y eficiente de los flujos de energía y materia de un ecosistema.

En Latinoamérica y El Caribe, la agricultura tradicional está dada entonces por dos sectores:

a) el explotador tecnificado y que hace una buena inversión y b) el alimentario, especializado en alimentos básicos y fuentes de almidón y que se caracteriza en general por bajos insumos y baja productividad exceptuando lo que se realiza a mediana y gran escala. El sector alimentario tiene a su vez dos vertientes, el que se realiza a mediana y gran escala, que son tecnificadas y las numerosas miniexplotaciones del pequeño agricultor (Radulovich, 1991).

De acuerdo con este autor, es difícil que el desarrollo agrícola de un país pueda basarse en la explotación de los pequeños y medianos productores

agrícolas, ya que ese desarrollo debe provenir de un agricultor tecnificado, quien además de la agricultura tradicional incorpora conocimientos de cultura agrícola moderna y sostenible, y esté en condiciones de establecer cambios en sus técnicas a medida que se le demande. Forjar un pequeño y mediano agricultor tecnificado, con cierto grado de educación y entrenamiento no es fácil, al mismo tiempo crear un sistema de extensión, crédito e investigación para ayudar a ese tipo de agricultor, representa un costo social elevado, pero obligatoriamente necesario. La Biotecnología tiene una serie de técnicas modernas cuya aplicación en la solidificación de políticas agrícolas ofrecen oportunidades interesantes para minimizar muchos problemas en la producción agrícola del pequeño y mediano agricultor Latinoamericano y del Caribe.

La aplicación de técnicas biotecnológicas apropiadas en un programa agrícola integrado puede contribuir al aumento de la productividad e intensidad de cultivo, al mejorar la disponibilidad de los nutrientes y facilitar el control de malezas, plagas y enfermedades; por otra parte al minimizar las fuentes de estrés biótico y abiótico se permite una producción agrícola estable. La obtención de plantas de cultivos con mayor adaptación a suelo no aptos para la agricultura (baja disposición de agua por falta de precipitación pluvial, suelos ácidos, pobres en nutrientes) permiten extender la frontera agrícola y ayuda al desarrollo de una agricultura sustentable. La Biotecnología nos provee de métodos para usar fuentes de energía alternas a las no renovables, lo que permite aumentar considerablemente la productividad en relación a los niveles en insumos utilizados. Estas mismas tecnologías nos permiten conservar y

explotar la diversidad vegetal, mejorando por ende los productos naturales que se obtienen de los nuevos cultivos.

**3.-Casos concretos de desarrollo y aplicación de biotecnología en cultivos agrícolas en los que se ha logrado el incremento de productividad, aumento de la intensificación del cultivo y diversificación del mismo en América Latina y El Caribe**

Este objetivo se ha alcanzado a través de técnicas de cultivo de tejidos vegetales y entre ellas específicamente: a) cultivo de meristemas para obtener y micropropagar plantas libres de virus b) multiplicación a través de callo, mediante producción de embrioides (embriogénesis somática), multiplicación de vástagos y raíces que pueden desarrollar plantas completas, c) cultivo de callos en medios especiales para seleccionar plantas tolerantes a sales, herbicidas, suelos ácidos o alcalinos, d) obtención de haploides para producir plantas homocigotas, que pueden expresar genes recesivos, e) el rescate de embriones en caso de embriones que no son capaces de crecer en el medio natural y f) variación somaclonal, variación en el genoma que ocurren espontáneamente al cultivar células del callo y son causadas por rearrreglos cromosómicos. Estos cambios pueden ser fuentes para el desarrollo de nuevas variedades con características deseables.

**3.-1 Producción de Raíces y Tubérculos**

Existen en América Latina y en el Caribe programas establecidos por largo tiempo en unidades de Biotecnología, en los cuales se hacen estudios de propagación y mejoramiento de plantas

de cultivos. Ejemplo: los establecidos por el Centro Internacional de la Papa de Perú (CIP), cuya función básica es incrementar la producción de papa y batata en los países de desarrollo (Dodds, 1988, Dodds y Horton, 1989, Dodds y Horton, 1990). Los resultados obtenidos a través de la investigación básica y aplicada derivan de dos palabras claves "transferencia de tecnología", acción necesaria que debe realizar para cumplir con su función. Su objetivo lo logra mediante investigaciones colaborativas y entrenamientos que sirvan para capacitar a científicos de los países del convenio del grupo Andino (CAF, 1987).

A través de la investigación básica y aplicada el CIP también trabaja en el mejoramiento de papa y batata, buscando establecer germoplasma con mayor adaptación a condiciones de estrés y por ende con una mayor productividad; por otra parte distribuye material genético sano a otros países. Esta institución desarrolla varias técnicas biotecnológicas para mejorar la calidad del producto: 1) conservación del germoplasma "in vitro", mantiene una colección de más de 3500 accesiones de papa y más de 3000 de batata, 2) micropropagación: para a) producción de tubérculos-semillas, las plantas "in vitro" se remueven y se siembran en almacigos estériles, en invernadero o en ambiente cubierto abrigado, la densidad de transplante depende del genotipo y varía de 50 a 150 plantas/metros cuadrados, se cosechan los tubérculos a los 90 días, los tubérculos de cinco gramos y los más pesados, se siembran en el campo para mayor multiplicación, las de menos de cinco se siembran en almacigo para obtener semilla prebásica. b) producción de plantas madres, se siembran individualmente y se utilizan en los métodos convencionales de propagación

rápida: esquejes de ramas laterales, esquejes de tallo juvenil y esquejes de tallo adulto. c) producción de tubérculos "in vitro". d) conservación de germoplasma, las plántulas se colocan en medio en presencia de osmotantes que limitan el crecimiento y la transferencia a medio fresco se realiza cada 2 o 3 años. 3) Pruebas de virus por Elisa y prueba Nash. 4) Ingeniería genética y Biología molecular. (Dodds, 1988; Sigueñas, 1990).

Otro ejemplo de unidades de Biotecnología, es una establecida en el IDEA (Venezuela) para el mejoramiento de la productividad de la yuca, usando material genético a partir de plantas producidas "in vitro" y la producción de semillas certificables de papa a partir de microtubérculos producidos en el laboratorio y multiplicados bajo condiciones controladas. En la producción mejorada de yuca se analiza el costo de producción de una planta "in vitro" utilizando el método de propagación por microesquejes en tubos de ensayo. Se trabaja a partir de plantas sanas obtenidas en el laboratorio por meristemas de estacas sometidas a quimo y termoterapia. Cada planta desarrollada por un período de 4 a 5 semanas produce además de la yema apical unos 4-5 esquejes, los cuales sembrados en medio adecuado producen plantas capaces de crecer en invernadero. Se puede alcanzar una producción de 234.192 plantas por año. Estas 234.192 plantas en condiciones ideales podría alcanzar a cubrir una producción de material de siembra de 26.765 hectáreas. (Villegas y col., 1990).

Se puede también, producir material de siembra convencional a partir de plantas "in vitro", utilizando una etapa de multiplicación acelerada en semillas. Este proceso toma un período de 18 meses y la eficiencia para alcanzar las

metas es de un 71,4 %. Villegas y col. (1990) concluyen que las facilidades que se requieren en una unidad de cultivo de tejidos para un programa de yuca son pocas, debido al bajo número de plantas "in vitro" requeridas por área de siembra, y que se requiere por lo menos de una generación de multiplicación acelerada en vivero para reducir los costos del material de siembra.

Otro producto que se genera en esta unidad de cultivo de tejidos es la papa; la producción de semillas certificable y la multiplicación se hace a partir de microtubérculos, obtenidos "in vitro". La microtuberización se induce en plantas obtenidas de tallo con 4 nudos, las plantas se cultivan en un medio nutritivo con cloruro de colina. Los microtubérculos se siembran en semilleros, (62 microtubérculos / m<sup>2</sup>), se le hace detección de virus y luego los tubérculos obtenidos se siembran en campo 500.000 tubérculos/hectárea, y se producen semillas prebásica, el costo de producción de microtubérculos que es alto, se recupera después de la segunda generación en el campo. El costo de producción del material élite II es menor al de la semilla certificada importada en el país (Venezuela) para la siembra.

### 3.2 Producción de frutas

Hasta ahora los ejemplos mencionados se refieren a producción en escala de raíces, tubérculos principalmente, ahora nos referiremos al caso de frutas. En el caso de las frutas nos referiremos primero a la producción "in vitro" de fresa, ese cultivo se ha desarrollado en varios laboratorios de la Latinoamérica específicamente hacia los países de Sur América (Chile, Argentina), el ejemplo específico que citaremos corresponde al de un laboratorio en Venezuela. En Venezuela el material de propagación de

la fresa, "los estolones", ha sido siempre importado de USA y Europa. En el período comprendido entre el 80-85, se sembraron de 99 a 244 hectáreas haciendo el promedio de producción 5038,2 ton/año, con un rendimiento promedio de 50.28 ton/ha/año y de 0.673 Kg/planta/año, para una densidad de siembra de 45.000 plantas/ha. En la unidad de Biotecnología en referencia (FUSAGRI, Cagua, Venezuela, se optimizó la propagación masiva "in vitro", la técnica se combinó con técnicas de canteros de tierra, hidropónico de flujo continuo, hidropónico con sustrato de arena. La adaptación de las plantas de "in vitro" a las condiciones naturales en un 95 % exitosa (Cova; 1988).

La producción de estolones en sistemas hidropónicos fue de 280 a 500 estolones/m<sup>2</sup>. En canteros fue de 74 a 120 estolones/m<sup>2</sup>. En una experiencia en estación experimental en una región alta, bajo condiciones de riego se alcanzó una producción de 704 gr/estolón/año; un valor similar al promedio nacional. Se concluye que el sistema puede ser aplicado para resolver el problema de importación de fresa al país.

Otro ejemplo de unidad de Biotecnología dedicada a producción de frutales, pero ya en escala comercial es Bioplant, Chile, S.A, empresa del grupo C.C.T. (Johow, 1990), surge como respuesta a la gran demanda de productos agrícolas en Chile. Esta consta de un vivero ubicado en predios de la zona de Alhué y un Centro de Biotecnología en Casa Blanca, muy moderno con equipos que permiten aplicar técnicas novedosas. El vivero tiene 12.000 m<sup>2</sup> de extensión, temperatura controlada y riego computarizado, con una capacidad de producción de un millón de plantas anuales.

Las principales especies producidas

por esta compañía son: pomáceas, prunus, kiwis, portainjertos clonales, pepino dulce, frutillas (fresas), frambuesas, híbridos de mora, papayos, tabacos, arándanos y otros. En general Bioplant se dedica a la producción de frutales mayores y menores; que se comercializan en el mercado nacional y semillas de hortalizas seleccionadas, que salen del país.

En Centro América, el Centro de Agronomía Tropical, (CATIE) realiza estudios de mejoramiento y producción en escala sobre 3 cultivos principalmente: café, cacao y banano (IPBNet, 1991). En el caso de café sus estudios tienen como objetivo producir variedades resistentes a plagas y enfermedades. Usan la micropropagación por microesquejes para la multiplicación de genotipos superiores y de acuerdo a datos de 1991, desde 1986 la Unidad de Biotecnología ha producido cien mil plantas de café, de las cuales sesenta mil se han enviado a países miembros del CATIE para pruebas de campo. Han utilizado el proceso de la embriogénesis somática como método de propagación clonal para este cultivo.

En el caso del banano en Costa Rica y Honduras se estudia la obtención de clones resistentes a Sigatoka negra. Se realiza la micropropagación por yemas de genotipos que presentan resistencia o tolerancia al hongo. En Venezuela, en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal, Facultad de Ciencias, UCV, se obtuvo un somaclón del subgrupo Cavendish resistente a la Sigatoka amarilla que se encuentra en los campo del CENIAP donde se realiza la evaluación agronómica (Trujillo, 1994).

En el caso del cacao se analizan métodos de micropropagación en la búsqueda de algunos altamente eficiente, lo cual es de gran importancia para la industria del cacao. La

embriogénesis somática de cacao, como método de propagación está siendo estudiada en diversos centros Biotecnológicos de Latinoamérica y el Caribe.

### 3.3 Obtención de material resistente a factores bióticos y abióticos

Como ya lo hemos expresado reiteradamente los métodos biotecnológicos son de gran importancia en los programas de mejoramiento para la obtención de material vegetal con caracteres de resistencia a diversas condiciones de estrés. Entre estos métodos son de gran importancia la obtención de haploides, variación somaclonal, cultivo y fusión de protoplastos, inducción a mutaciones por medio de mutagénesis químicos o físicos; selección de tolerancia en medios específicos y los métodos de ingeniería genética.

La gran significación de estos métodos radica en el ahorro de tiempo que representa la aplicación los mismos. En el caso de plantas anuales el proceso de cruces, selección y pruebas comerciales en la selección de variedades mejoradas (métodos convencionales) puede tardar entre 8 a 10 años. En el caso de plantas perennes como café, cacao y otras, para obtener una nueva variedad se requiere de un tiempo mínimo de 30 a 40 años de trabajo.

#### 3.3.1 Obtención de Haploides

El método de la obtención de haploides "in vitro" es de amplio uso es programas de mejoramiento, ya que al diploidizar estas plantas, se aumenta la frecuencia de determinados genes; lo cual magnifica la variabilidad

genética dando la oportunidad a los fitomejoradores de poder seleccionar plantas con resistencia a ciertos factores tanto bióticos como abióticos (Arcia, 1988). Otra de las ventajas que ofrece la Biotecnología en este caso específico radica en el hecho de que además de permitir la obtención del haploide, permite su multiplicación rápida, ya que para introducir este material en el programa de mejoramiento se necesita una población grande del haploide. Como un ejemplo específico podemos citar los estudios hechos en laboratorios de Investigación en la Universidad Central de Venezuela, de haploides obtenidos "in vitro" para café, cacao, tabaco y tomate. En café, se logró producir haploides de *Coffea arabica* var. Garnica, el método de regeneración fue la organogénesis, es indirecta a través de callo y se encontró alta variabilidad en el material producido, obteniéndose plantas de tipo albino, de tipo "angustifolia" y otros, este trabajo tiene como objeto obtener material resistente a la roya del cafeto (Ascanio y Arcia, 1994). En tabaco se ha tratado de producir resistencia al hongo *Fusarium oxysporum*, y al nemátodo *Meloidogyne incognita*. En el caso de tomate, es el caso más difícil según los autores, porque las anteras no se pueden separar y se obtiene mezcla de tejido haploide y diploide. La obtención de haploide "in vitro", y la posterior inducción de diploides es una técnica que abre caminos hacia el entendimiento de las plantas, su producción, su calidad, su resistencia y adaptabilidad al medio que las rodea. Estos trabajos aún no han producido los resultados esperados con respecto a la obtención de la planta mejorada, por lo que aún están en fase de investigación.

### 3.3.2 Obtención de variantes somaclonales

En cuanto a obtención de variantes somaclonales como parte de programas de mejoramiento, es una técnica que aprovecha las variaciones somaclonales que se originan en tejidos de cultivos, especialmente tejidos desorganizados, pero generalmente esas variantes sólo pueden ser reconocidas después que la planta se ha regenerado a partir de las células que forman los somaclones. Un ejemplo, en Latinoamérica el uso de variantes somaclonales es el realizado en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela para la obtención de plantas resistentes a la Roya de la caña y al virus del mosaico (García, 1988a. García, 1988b; Oropeza y García, 1996; Oropeza et al 1995). En Venezuela se cultivan alrededor de 80.000 hectáreas de caña y en ella se produce poco menos del 50 % de las necesidades de azúcar al país. En base a ello se decidió reforzar programas convencionales con procesos biotecnológicos, lo que permitiría obtener cepas resistentes al ataque de plagas, especialmente taladradores y candelilla y enfermedades como el carbón, roya, escaladura de la hoja y virus del mosaico de la caña.

El método utilizado fue la embriogénesis somática inducida en presencia de 2,4 diclorofenoxiacético, y se obtuvieron seis variantes somaclonales resistentes a 4 razas del virus del mosaico, estos clones han sido probados en campo por 6 generaciones, dando resultados altamente positivos. Por otra parte se ha desarrollado en este mismo laboratorio un Kit de diagnóstico para la detección rápida del virus (Oropeza y García, 1996). Las plantas fueron evaluadas en el campo desde el

punto de vista agrícola, para luego ser enviadas a diferentes regiones agroecológicas para su evaluación definitiva y ponerla a disposición de los agricultores (García, 1988a. García, 1988b). A estos mismos somaclones se les hizo una caracterización molecular encontrándose cambios en sus genomas en relación con la planta madre (Oropeza y col., 1995).

Para la misma caña de azúcar se realizan también en Venezuela en los Laboratorios de CENIAP, selección de clones resistentes a Cloruro de Sodio, mediante el crecimiento de callos a diferentes concentraciones de esta sustancia, para obtención de somaclonales que puedan crecer en suelos salinos para aumentar así la disponibilidad de tierras para el cultivo, pero no se tienen aún pruebas de la variante somaclonal.

Otro ejemplo que aquí podemos citar, son las investigaciones que se realizan en el CATIE (Costa Rica) y en varios centros de investigación en Colombia, para obtener variedades de banano con resistencia a la Sigatoka negra. En el CATIE se están usando suspensiones celulares que regeneran embriones, y este material se usa para presión de selección con extracto crudo del hongo *Mycosphaerella fijiensis*, responsable de la enfermedad, luego las plantas seleccionadas son inoculadas a nivel de vivero.

En Venezuela, en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal, Facultad de Ciencias, UCV, se obtuvo un variante somaclonal del subgrupo Cavendish resistente a la Sigatoka amarilla causada por el hongo *Mycosphaerella musicola*, mediante el método de embriogénesis somática (Trujillo, 1994).

### 3.3.3 Obtención de embriones somáticos para producción de semillas artificiales

La embriogénesis somática se ha desarrollado en diferentes centros del mundo en un amplio rango de cultivos tropicales (lechosa, palma, lima, limón, mandarina, café, manzana, pepino, mango, yuca, batata, arroz, caña de azúcar, cacao, maíz, etc., entre otras, y sin embargo en la mayoría de los casos no se han regenerado plantas o sólo pocos de ellas.

Una de las grandes aplicaciones de la embriogénesis somática es la producción de semillas artificiales, lo que requiere no solamente un alto porcentaje de embriones somáticos, sino también un alto porcentaje de embriones capaces de germinar (Redenbaugh, 1990).

### 3.3.3 Uso del cultivo y fusión de protoplasto

Otro método para mejorar plantas consiste en el cultivo, fusión y regeneración de protoplastos, este nos provee de algunas ventajas como la transformación de protoplasto por métodos específicos de Ingeniería Genética, y la hibridación amplia y selección "in vitro", para el desarrollo de individuos resistentes o tolerantes a patógenos, sequía, etc. En Latinoamérica y el Caribe, esta técnica es usada en muchos países (Colombia, Brasil, Chile, Argentina, Perú, México, Venezuela), pero los resultados aunque promisorios no han sido concluyentes.

### 3.3.4 Obtención de plantas transgénicas

La aplicación de la Ingeniería genética, la obtención de plantas transgénicas, se ha utilizado en varios

países de Latinoamérica y el Caribe, principalmente en Centros Internacionales: el CIP (Perú), CIAT (Colombia), CIMMYT (México) y en Laboratorios adscritos a Institutos de Investigación y Universidades en México, Brasil, Venezuela, Chile y Argentina.

La mayor aplicación de esta técnica se ha realizado en raíces y tubérculos especialmente yuca, papa y batata. En yuca para el incremento en la producción de proteínas y resistencias a virus. En papa para a) la inserción de genes sintéticos para incrementar la producción de proteínas, b) resistencia al virus del enrollamiento y al viroide de ahusado de la papa, c) resistencia a enfermedades fungosas y bacterianas, d) resistencia a heladas (Vayda y Park, 1990. Arcia, 1990. Dodds, 1988. García y col., 1991. Estrada y col., 1994). En batata se realizan investigaciones para obtener plantas con resistencia a enfermedades.

Otros cultivos, objeto de estudios en ingeniería genética, son los cereales, entre ellos específicamente el maíz en el cual se realizan investigaciones sobre el color de la tusa y resistencia a la roya (Arcia, 1990).

En la subregión Andina, la Corporación Andina de Fomento (CAF), ha desarrollado desde 1987 un programa biotecnológico, en el cual la papa es un cultivo prioritario, ya que es uno de los principales cultivos en la Región de los Andes (CAF, 1987). Este organismo con el soporte del CIP ha creado programas de ingeniería genética para el mejoramiento de papa para obtener resistencia a heladas mediante convenios con el Laboratorio de Biotecnología Vegetal, Facultad de Ciencias, UCV, los resultados de esta investigación se presentan en publicaciones de García y col., 1991 y de

Estrada y col., 1994. El producto de estos estudios se espera que sea de excelente utilidad a la Sub-región.

### **3.5 Las Biotecnologías Moleculares**

Las biotécnicas moleculares que se clasifican como sofisticadas: mapeo de genes mediante Polimorfismo en la Longitud de los Fragmentos de Restricción (RFLP), Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), Amplificación al Azar de ADN Polimórficos (RAPD) y estudios de transformación, son tecnologías que quizás por sí misma no fueron consideradas en un principio, como apropiadas para América Latina y el Caribe, debido a que se requiere personal y equipo altamente especializado y sustancias muy específicas y costosas, lo cual representa una gran erogación en nuestros países, sin embargo los frutos de esas tecnologías como caracterización y mejoramiento de germoplasma, plantas de cultivo con mayor rendimiento, influyen muy favorablemente en el cultivo de nuestros medianos y pequeños agricultores (Vayda y Park, 1990. Rocca, 1990). Esto ha conducido a la aplicación de PCR y RAPD, para la obtención de marcadores moleculares que permitan caracterizar variedades vegetales (Oropeza y col., 1995). También se ha establecido protocolos para la obtención de marcadores bioquímicos usados para la caracterización de procesos embriogénicos en café (Menéndez-Yuff y col., 1993).

#### **3.5.1 Elaboración de Kits de diagnóstico rápido en el campo**

En Latinoamérica y el Caribe se desarrolló un proyecto regional de Biotecnología auspiciado por

PNUD-UNUD-UNESCO y con la participación de Argentina, Colombia, Costa Rica, Uruguay y Venezuela. De acuerdo a la información dada por la Dra. María Luisa Mayoral, coordinadora del proyecto (Venezuela), los países involucrados en este proyecto trabajaron en la producción de sondas así como de anticuerpos, poli y monoclonales para las virosis más importantes en la Región, con la finalidad de unificar un sistema de diagnóstico óptimo.

De esta manera se produjeron: sondas para los virus, enrollado de la papa (PLRV), tristeza de los cítricos (CTV) y, mosaico dorado del frijol (BGMV). Anticuerpos policlonales para el virus X de la papa (PVX), y de la papa (PVY), enrollado de la papa (PLVR) y, el rugoso de la caraota (BRMV). Por último se produjeron anticuerpos monoclonales para el virus del rayado fino del maíz (MRFV), tanto en la cepa de Costa Rica como de Venezuela.

Los productos obtenidos fueron de excelente calidad y están siendo utilizados en los sistemas de diagnóstico para las respectivas virosis en la Región.

#### **3.5.2 Biotécnicas para el Control Biológico de Fitopatógenos**

Control biológico es la reducción de la cantidad del inóculo o de la actividad en la producción de enfermedad producida por un patógeno o parásito en su estado activo o latente, por acción de uno o más organismos, efectuado naturalmente o por medio de la manipulación del ambiente, del huésped o del antagonista, o por la inducción de uno o más antagonistas (Arcia, 1990). En la naturaleza el control biológico ocurre y pasa desapercibido al hombre, pero se hace necesario aplicarlo en la producción de cultivos comerciales, pues las enfermedades causan a los

agricultores pérdidas en dinero, tiempo y esfuerzo.

Los organismos antagonistas han sido definidos como agentes biológicos con el potencial de interferir en el proceso de vida de los patógenos. Las características antagonistas de un individuo pueden incluirse en las siguientes actividades: Antibiosis, cuando hay inhibición o destrucción de un organismo por un producto metabólico. Competencia, cuando dos microorganismos buscan el uso del mismo sustrato e Hiperparasitismo, cuando un organismo parasita a otro que a su vez es parásito de otros organismos (Arcia, 1990).

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

### 3.5.3 Inoculantes para leguminosas como alternativa para el uso de fertilizantes

Es obvio que se necesita usar Nitrógeno gaseoso para aumentar la productividad vegetal, y el mismo para ser utilizado requiere de alguna forma

de fijación industrial o biológica. La fijación industrial para la producción de fertilizantes químicos nitrogenados implica un elevado consumo de energía fósil, debido a que se requieren altas presiones y temperaturas para realizar este proceso.

En la fijación biológica de Nitrógeno (FBN) la asociación que se establece entre bacterias del género *Rhizobium* y plantas leguminosas se denomina "fijación simbiótica de Nitrógeno" (FSN). En promedio las leguminosas fijan entre 100 y 150 Kg Nitrógeno / Ha / año, con niveles de hasta 300 Kg en el caso del *Leucaena* sp, por lo que esta simbiosis suministra toda o gran parte del Nitrógeno necesario para el desarrollo y productividad de esas plantas.

En Brasil, la producción de inoculantes para leguminosas constituye la base de su producción agrícola. En Venezuela, esta Biotécnica se inició en 1977 en el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), ellos iniciaron la producción del inoculante "Nitrobac" en el Laboratorio de Rhizobiología del IVIC a nivel de planta piloto, la cual para 1988 tenía una capacidad instalada que permitía producir entre 5000 a 110.000 bolsas de inoculantes por año con posibilidades de aumentar esa producción (Sicardi y Williams, 1988). Actualmente debido a su eficiente producción la tecnología ha sido comprada por una Compañía Privada que la comercializará.

La inoculación de las semillas de leguminosas permite disminuir los costos de fertilización en aproximadamente 5 veces, según el cultivo en tratamiento.

### CONCLUSIONES

1) Una agricultura sustentable requiere de un sistema que permita el uso adecuado y racional de la tierra, lo cual

ayuda a establecer una producción continua. Esto implica a su vez una rotación adecuada de los cultivos, y la preservación de la productividad del suelo.

2) Es recomendable desarrollar un sistema que compense la escasez de nutrientes en algunos suelos, desarrollando un patrón de cultivos diversificado y una fertilización permanente de la tierra. En algunos países latinos, donde los períodos de crecimiento son continuos, se deben crear sistemas más versátiles de cultivos.

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

4) La extensión de la frontera agrícola en los países latinoamericanos y del Caribe, presenta dificultades, porque ello requiere de la utilización de tierras marginales que implican estrés (sequía, salinidad, suelos pobres, temperaturas altas o bajas). La adaptación de plantas a estas condiciones ambientales requiere de programas de mejoramiento eficientes, combinados con Biotecnologías apropiadas.

5) La Biotecnología Vegetal puede contribuir directamente al establecimiento de una agricultura sostenible, ya que la aplicación de sus diferentes herramientas, en los programas de mejoramiento de los cultivos, permite la

incorporación de cultivos más compatibles con el medio ambiente. Por otra parte, existen biotécnicas que incrementan la disponibilidad de nutrientes en el suelo, y otras que permiten el diagnóstico rápido de patógenos en el campo y el control biológico de patógenos.

6) Aunque la Biotecnología de plantas tiene un gran potencial para dar contribuciones a la agricultura en general, ésta será más productiva siempre que se combine con programas de mejoramiento convencionales.

## REFERENCIAS

Acevedo, R. y Arcia, A. 1988. *Trichoderma spp.: Una alternativa de control biológico de hongos fitopatógenos del suelo. II Simposio Nacional sobre Biotecnología. Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. Memorias. pp. 51-59.*

Arcia, A.; Ascanio, C.; Casale, Y. y de Lander, Y. 1988. *Uso de la haploidía en programas de Mejoramiento Vegetal. II Simposio Nacional sobre Biotecnología. Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. Memorias. pp. 73-83.*

Arcia, A. 1990. *Biotecnología y sus implicaciones en la producción agrícola de Venezuela. Agronomía Tropical Vol. 40, pp. 4-63.*

Ascanio, C. y Arcia, M.A. 1994. *Efectos del estado de desarrollo de las anteras y de un shock térmico sobre la androgénesis en Coffea arabica L. var. garmica. Café Cacao The., Vol 28. pp. 75-80.*

Baker, R. 1989. *Improved Trichoderma spp. for Promoting Crop Productivity. Trends in Biotechnology (7):34-38.*

CAF. 1987. *Programa para el desarrollo de la Biotecnología en el grupo andino. 43 pp.*

Cova, L. 1988. *Estrategia para comercializar material vegetal producido por cultivo "in vitro". II Simposio Nacional sobre Biotecnología. Maracaibo, Venezuela. Pp. 60-72.*

- Dodds, J.H. 1988. *Biotechnological Techniques Applied to Potato and Sweet Potato Improvement for Developing Countries. Workshop Resource Papers.* Pp. 221-227.
- Dodds, J.H. and Horton, D. 1989. *Collaborative Biotechnology Networks in Developing Countries. The International Potato Center. Ag. Biotech. News and Information Vol 2 (6): 903-906.*
- Dodds, J.H. and Horton, D.. 1990. *Impact of Biotechnology on Potato Production in Developing Countries. Ag. Biotech. News and Information. Vol 2 (3): 397-400.*
- Estrada, N., García W. y Carrasco E. 1994. *Informe de las pruebas a heladas con plantas transgénicas del cultivar desiree en Bolivia por el IBTA-PROINPA.* pp.6.
- FAO. 1989. *Informe de la reunión de planeación sobre aplicación y desarrollo de Biotecnología apropiada en la producción de cultivos.* 69 pp.
- FAO. 1990. *Red de cooperación técnica en Biotecnología Vegetal (REDBIO)* 47 pp.
- García, E.de. 1986. *El cultivo de tejidos vegetales. Una Biotecnología para la agricultura. En: Biotecnología, oportunidades para Venezuela. Caracas. Fondo Editorial Acta Científica. Pp. 28-34.*
- García, E. de. 1988(a). *El cultivo de tejidos vegetales y el mejoramiento de la productividad en caña de azúcar. II Simposio Nacional sobre Biotecnología. Maracaibo, Venezuela. Pp. 12-22.*
- García, E. de. 1988(b). *Variaciones somaclonales, su aplicación en los estudios de mejoramiento de la caña de azúcar. Cultivo de tejidos vegetales aplicado a la producción agrícola. Leopoldo Villegas, Editor. Pp. 81-89.*
- García, E. de. 1991. *El impacto de la Biotecnología en la productividad agrícola. Ciencia al día Vol 30 (4): 44-46.*
- García, E. de., Martel, A. , y Rodríguez, F. 1991. *Transformación de cultivares de papa (Solanum tuberosum) mediante Agrobacterium rhizogenes portando el gen de una proteína anticongelante. En "Proceeding" del taller de trabajo: "Avances en el mejoramiento genético de la papa en los países andinos" Lima, Perú. pp.15.*
- IICA, 1991. *Análisis de impacto de las Biotecnologías en la agricultura, aspectos conceptuales y metodológicos. Walter Jaffé, Editor. 186 pp.*
- IPBNet. 1991. *Biotechnology for Tropical Crop Improvement in Latin America. Proceedings of the Fourth Conference of the International Plant Biotechnology Network. (IPBNet). San José, Costa Rica.*
- Johow, V. *Biotecnología: una revolución en la agricultura. Chile. Hortofrutícola. Pp. 16-20.*
- Menéndez-Yuff, A.; García, E. de and Segura-Nieto, M. 1993. *Comparative study of protein electrophoretic patterns during embryogenesis in Coffea arabica cv. Catimor. Plant Cell Reports 13: pp. 197-202.*
- Oropeza, M., Guevara, P., García, E. de., Ramírez, J.L. 1995. *Identification of Somaclonal Variants of Sugarcane (Saccharum spp.) Resistant to Sugarcane Mosaic Virus via RADP Markers. Plant Molecular Biology Reporter. pp.182.-191.*
- Oropeza, M. and García, Eva de. 1996. *Somaclonal Variants Resistant to Sugarcane Mosaic Virus and their Agronomic Characterization. In Vitro Cell Dev. Biol. Plant. 1-5.*
- Radulovich, R. 1991. *Desarrollo agrícola en el trópico latinoamericano. El caso del pequeño agricultor vs la Economía Nacional. Interciencia Vol 16(3): 125-130.*
- Redenbaugh, K. 1990. *Application of Artificial Seed to Tropical Crops. Plant Genetics Inc. pp. 251-253.*
- Rocca, W. *Biotechnología: oportunidades para la investigación agrícola en América Latina. CIAT.*
- Rocca, W. 1990. *Biotechnología: oportunidades para la investigación agrícola en América Latina y el Caribe. En: Memorias Seminario Internacional BID-CIAT. CIAT.*
- Sicardi de Mallorca, M. y Williams, P. 1986. *Los inoculantes para leguminosas como alternativa al uso de fertilizantes químicos nitrogenados. En: Biotecnología, oportunidades para Venezuela. Caracas. Fondo Editorial Acta Científica. pp 35-52.*
-

Sigueñas, C. 1990. Experiencias del CIP en el manejo de programas nacionales y multinacionales para la producción de semillas de papa. En: *Mejoramiento de cultivos a partir de material "in vitro"*. Programa Andino de Biotecnología de la CAF. Leopoldo Villegas, Editor. pp. 181-192.

Trujillo, I. 1994. Aplicación de técnicas biotecnológicas en el mejoramiento genético del género *Musa*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. pp.261.

Vayda, M and Park, W.D. 1990. *The Molecular and Cellular Biology of the Potato*. CAB International. pp. 223-232.

Villegas, L., Santana, M.A y Cherubini, V. 1990. Uso de plantas producidas "in vitro" para la producción de cultivos. En: *Mejoramiento de cultivos a partir de material "in vitro"*. Programa Andino de Biotecnología de la CAF. Leopoldo Villegas, Editor. pp. 25-45.



### Dirección de Extensión UCV

El Consejo Universitario aprobó el 13 de diciembre de 1995 el Sistema de Gestión de la Dirección de Extensión de la Universidad Central de Venezuela. A esa aprobación siguió el nombramiento de la Profesora Graciela Hernández como la primera directora de Extensión de la UCV.

De la Dirección de Extensión han emanado trabajos de investigación, tales como el realizado sobre la comunidad León Droz Blanco. Trabajo de investigación donde además participaron la Facultad de Odontología, la Facultad de Medicina a través de su Escuela de Medicina Luis Razetti, la Escuela de Enfermería, y la de Nutrición y Dietética; la Facultad de Humanidades a través de la Escuela de Educación y el Proyecto Gran Colombia; la Facultad de Ciencias Jurídicas y Políticas, el Centro de Estudios de la Mujer, la Facultad de Ciencias, la Dirección de Prensa, la Dirección de Informática UCV 0:24, la Dirección de Bibliotecas, la Dirección de Asesoría Administrativa, la Dirección de Planeamiento, la Facultad de Arquitectura, la Escuela de Salud Pública, el Hospital Universitario, el Ministerio de Sanidad, el Instituto Nacional de Nutrición y la Junta de Vecinos de la Comunidad León Droz Blanco.

" *Los lineamientos para la formulación de una política de Extensión de la UCV* ", es el título de un ciclo de microtalleres que para el desarrollo del Sistema de Gestión de la nueva Dirección de la UCV se realizaron.

Al mismo tiempo la Dirección de Extensión es la responsable de la integración del Proyecto Salud al Proyecto Gran Colombia. En este nuevo contexto, la Dirección de Extensión hizo entrega de credenciales a la Comunidad de la Gran Colombia como " *Promotores de la Salud* " y en " *Educación para la prevención de factores de riesgo cardiovascular en Población Infantil* ", como parte de la integración de los proyectos ya nombrados.

Así mismo la Dirección de Extensión ha elaborado los proyectos para el desarrollo de la cuarta etapa del Banco de Leche Materna y del Curso de preparación de la Maternidad, a fin de solicitar el financiamiento correspondiente a la Comunidad Europea.

Como parte de la programación a corto plazo de la Dirección de Extensión se encuentran las actividades a realizar con los delegados de Extensión. Por ejemplo: la conformación, la elaboración, y montaje del curso " *Uso de una metodología para la elaboración de trabajos científicos en el área de la Salud* " ; los avances de los trabajos de la Comisión Académica, la cual está compuesta por el Proyecto Gran Colombia, el Hospital Universitario de Caracas, Escuela de Nutrición y Dietética, la Escuela Luis Razetti, la comunidad Gran Colombia, la Escuela Experimental de Enfermería, la Facultad de Odontología, la Escuela de Bioanálisis y la Unidad de Nutrición del Distrito Federal; los avances de la Comisión Antidrogas; la realización de los diálogos con los candidatos a rector, la realización del " *Festival de la Vacunación* ", con la participación del grupo de Relaciones Interinstitucionales Efectivas -Grupo de Salud, el Hospital Universitario, el Distrito Sanitario N° 4 y la Comunidad León Droz Blanco.