



# Bioagricultura urbana y cambio climático

Lucía Atehortúa Garcés<sup>1</sup>

*Urban Bio-Agriculture and Climate Change*  
*Bio-agricultura urbana e mudança climática*

## RESUMEN

Ante la realidad del cambio climático, se deben generar estrategias novedosas que nos permitan superar los factores críticos que ponen en peligro nuestra propia supervivencia. Los productos basados en estos sistemas de cultivo de células y tejidos vegetales podrían brindar alternativas novedosas para la producción de alimentos básicos, garantizando en el futuro la seguridad alimentaria para los colombianos.

**Palabras clave:** Bioagricultura. Cambio Climático. Cultivos celulares. Biotecnología vegetal.

---

## ABSTRACT

Climate change is a reality that demands novel strategies that allow us to surpass the critical factors that put our existence in peril. The products based on cell cultures and vegetable tissues could be excellent alternatives to produce basic foods, assuring the food resources required in the future by Colombian people.

**Key words:** Bio Agriculture. Climate change. Cell cultures. Vegetable Biotechnology.

---

<sup>1</sup> Bióloga de la Universidad de Antioquia y Ph.D de la Universidad de Nueva York. Actualmente labora en el Instituto de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de Universidad de Antioquia. Es la Líder de los grupos de investigación Biotecnología y Biotecnología vegetal de la Universidad de Antioquia.

## RESUMO

Ante a realidade da mudança climática, devem-se gerar estratégias inovadoras que nos permitam superar os fatores críticos que põem em perigo nossa própria sobrevivência. Os produtos baseados nestes sistemas de cultivo de células e tecidos vegetais poderiam brindar alternativas inovadoras para a produção de alimentos básicos, garantindo no futuro a segurança alimentaria para os colombianos.

**Palavras chaves:** Bio-agricultura. Mudança Climática. Cultivos celulares. Biotecnologia vegetal.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo a Anderson<sup>1</sup> para este milenio no será necesario cultivar y cosechar los campos. El cultivo de tejidos de ciertas partes de la planta será la base para el desarrollo de nuevos sistemas de producción. Por ejemplo, el cultivo de las partes comestibles de ciertas especies agrícolas o frutas podría crecer *in vitro*. El éxito de estos sistemas dependerá de su estabilidad y precio competitivo, con el fin de poder ser escalados a nivel industrial y comercial<sup>2</sup>.

Si el cambio climático se convierte en el factor limitante de la producción agrícola global será necesario desarrollar nuevos sistemas de producción, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria, y estos sistemas de cultivos se constituirán en lo que podría denominarse “BioAgricultura Urbana”. En otras palabras, se trata de producción agrícola en garajes de alta tecnología, especialmente para ser desarrollada en las grandes ciudades.

A través de estos sistemas de producción se podrán generar las materias primas de casi todos los productos agrícolas básicos en pequeños espacios dotados de alta tecnología, dando paso a un sistema de producción más limpia, en funcionamiento durante 24 horas al día y los 365 días del año, independientemente de factores climáticos externos, libre de patógenos, libre de agroquímicos, sin la estacionalidad de los cultivos agrícolas y con la posibilidad de producir organismos genéticamente modificados sin que estos interactúen con el medio ambiente ni la biodiversidad que los rodea. Adicionalmente, podrán contribuir a la conservación de la biodiversidad en el suelo y el agua al evitar la extensión de la frontera agrícola, uno de los factores que mayor impacto causan al medio ambiente. Por otro lado, tienen la ventaja de que se pueden implementar en cualquier parte del planeta, inclusive en el espacio, bajo ambientes de microgravedad.

La Universidad de Antioquia, y concretamente el Grupo de Biotecnología Vegetal, viene liderando a nivel nacional estos nuevos sistemas de producción con el fin de hacerle frente al cambio climático global y a la pérdida de la biodiversidad, con resultados bastante promisorios. A la fecha ha logrado reproducir los tejidos responsables de la producción del jugo de naranja, cacao, nuez de macadamia, aceite de palma mil pesos y caña de azúcar, y trabaja en otros productos primarios de interés global.

Colombia podría liderar una transformación de los sistemas de producción agrícola, especialmente de productos primarios, en los que su producción pueda ser escalada y automatizada para generar nuevas bioindustrias del futuro, como respuesta a los posibles impactos que está generando el cambio climático global y el deterioro ambiental.

### **Crecimiento de la población y seguridad alimentaria**

De acuerdo con la FAO, la población mundial alcanza hoy más de 6.500 millones de habitantes. En 1950 nuestro planeta era de 2.500 millones de habitantes, pero su crecimiento se ha acelerado en las últimas décadas y se espera que para el 2.050 nuestra población sea de 8.900 millones de habitantes<sup>3</sup>.

A través de la historia, tanto las comunidades locales como los gobiernos han estado preocupados por la posibilidad de alimentar la creciente población, y esta preocupación continúa viva durante este nuevo milenio debido a la creciente demanda de alimentos para toda la población global.

La experiencia nos ha mostrado que los sistemas agrícolas más progresivos y productivos son aquellos de los países industrializados, con escaso o nulo crecimiento poblacional, mientras que en muchos países en vía de desarrollo la producción agrícola está retrasada frente al crecimiento de la población. Este caso es crítico en países africanos y algunos países de Asia y América Latina carentes de recurso socioeconómicos, no sólo para producir, sino también para comprar alimentos.

Otro aspecto crítico está en las desigualdades para acceder a los alimentos. Se estima que cerca de 1.300 millones de personas de las regiones en vía de desarrollo viven con menos de un dólar al día, haciendo imposible satisfacer sus demandas de un alimento básico. Más de 800 millones de habitantes en el planeta no tienen cómo suplir sus necesidades básicas nutricionales<sup>4</sup>.

El gran reto es hacer factible que este segmento de la población pueda satisfacer sus demandas, ya sea a través de producir sus propios alimentos o a través de su capacidad económica para comprarlos y que estos sean alcanzados mediante un uso sostenible de sus recursos.

La intensificación y expansión de la explotación de la tierra para agricultura no puede ser ignorada, especialmente porque se convierte en un factor limitante en la conservación de los recursos naturales. Cuando las adaptaciones tecnológicas no pueden ser seguidas para dar paso al aumento en la producción de alimentos y demandas agrícolas, la presión resulta en un incremento de la explotación de los recursos naturales y degradación del medio ambiente. Este es el reto más delicado de las sociedades pobres, para las que es difícil sopesar adecuadamente las preocupaciones respecto a las futuras generaciones en contraste con el legítimo derecho de sobrevivir y tener calidad de vida para las generaciones de hoy.

## Migración y urbanización

La migración es un fenómeno volátil entre los problemas demográficos. Flujos migratorios pueden aparecer, cambiar de intensidad e incluso revertirse en corto tiempo. Desde el punto de vista económico y social las políticas de migración son complejas, siendo a menudo consecuencia de pobreza, violencia y falta de seguridad alimentaria, creando inestabilidad, tensiones y problemas ambientales en las áreas de desplazamiento.

La migración causa cambios en la distribución espacial de las poblaciones, siendo la más notable la urbanización. Las Naciones Unidas han estimado que hacia 1955 las áreas urbanas de los países en vía de desarrollo concentraban cerca del 20% de su población, mientras que hoy este porcentaje ha crecido en un 40% y se estima que para el año 2020 la mayor parte de la población será urbana.

Las urbanizaciones son comúnmente asociadas a la idea de modernización. Desde el punto de vista rural, la urbanización puede promover el desarrollo del comercio agrícola y contribuir con productos de demanda urbana e incrementar el progreso y modernización de la vida en los campos. Sin embargo, la realidad demuestra que el desplazamiento de la población rural a las ciudades es creciente, debido más a la pobreza, que a las oportunidades económicas en los sectores no agrícolas, trayendo como consecuencia un incremento de los problemas de seguridad alimentaria y generando pérdida de mano de obra en el sector rural, fundamental para el desarrollo de la agricultura y producción de alimentos. Lo anterior trae como consecuencia la importación de los alimentos básicos, lo que desde luego encarece el costo de vida en las áreas urbanas.

## Cambio climático y agricultura

Para nadie es hoy incuestionable la degradación del medio ambiente, el aumento de los gases de invernadero como consecuencia de la industrialización y el consecuente aumento de la temperatura, generando un cambio climático global. Como consecuencia de estos acelerados cambios en el medio ambiente, se creó el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), conformado por más de 2.500 científicos y funcionarios gubernamentales de 100 países. Estos fueron convocados en Bruselas para discutir el problema e impacto del cambio climático global y generar una declaración para que los gobiernos tomen las medidas necesarias para evitar una catástrofe ambiental<sup>5</sup>.

Después de intensos debates y negociaciones entre científicos y funcionarios gubernamentales, el panel presentó un informe bastante sombrío para el mundo en el que la vida de millones de personas se verá afectada por escasez de agua, el avance de las enfermedades y dificultades con las cosechas.

Uno de los principales autores del informe, Salim Ul-Haq, manifestó que existen evidencias contundentes sobre el impacto del clima en el mundo que va desde las regiones polares al trópico. En su opinión, el impacto del cambio climático se siente ahora. “Tenemos un muy buen documento”, dijo Rajendra Pachauri, presidente del IPCC. Dicho informe fue enviado a los líderes del G8 antes de la cumbre de junio de 2007, en la que se reunieron los países más industrializados del mundo<sup>6</sup>.

Al describir en líneas generales las conclusiones del informe, Martin Parry, copresidente del segundo grupo de trabajo del IPC, dijo que la evidencia demostraba que el cambio climático estaba teniendo un efecto directo en los mamíferos, las plantas y el agua. Por primera vez no estamos llamando la atención con modelos simulados, sino que contamos con registros y datos experimentales con los cuales podemos medir y cuantificar dicho impacto en forma confiable y verdadera. Parry describió las cuatro áreas del mundo que se consideran como las más vulnerables al cambio climático: “El Ártico, en donde las temperaturas están aumentando rápidamente y el hielo se está derritiendo; África Sub-sahariana, en donde se prevé que las áreas secas van a secarse aún más; las islas pequeñas, por su falta de capacidad para adaptarse y los mega deltas de Asia, en donde miles de millones de personas estarán ante un riesgo inminente de inundación”. Como resultado de lo anterior, el impacto más severo lo sentirán los países más pobres del mundo, los cuales estarán luchando ante las sequías severas<sup>6</sup>.

El estudio advierte que entre 75 y 250 millones de personas en África podrían enfrentar escasez de agua en 2020. Igualmente estima que la producción de las cosechas podría caer hasta en 30% en el sur y centro de Asia<sup>6</sup>.

El informe dice claramente que el cambio climático está ocurriendo y tiene efectos en los ecosistemas y en la sociedad, con efectos particularmente críticos en los países en desarrollo. Es un mensaje desolador, pero ahora está en manos de los gobiernos para que actúen y se tomen las medidas necesarias para evitar esta catástrofe ambiental, afirma Richard Klein del Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo<sup>6</sup>.

Los más pobres de los pobres del mundo van a ser los peor golpeados y los más vulnerables en términos del impacto del cambio climático, aseguró Pachauri, quien añadió que esas personas también son las menos equipadas para manejar los efectos de tal cambio<sup>6</sup>.

### Retos tecnológicos

Ante los problemas que enfrentamos hoy, la comunidad científica mundial y nacional tiene grandes retos que asumir para poder generar nuevas alternativas que permitan superar o minimizar en parte esta situación.

El problema de seguridad alimentaria se constituye en una barrera de desarrollo social, económico, político y ambiental, debido a la incapacidad de satisfacer las demandas nutricionales alimentarias de la población y su producción estará en grave peligro ante la amenaza de una catástrofe climática global. La pregunta que surge es ¿cómo la ciencia y la tecnología podrán servir para implementar nuevos modelos de producción?

La biotecnología vegetal y específicamente los procesos de cultivo *in vitro* de células y tejidos podrían abrir un nuevo horizonte científico para el desarrollo de alimentos básicos independientes de los cultivos en campo y, aunque este hecho ya fue mencionado, no existe literatura científica que evidencie trabajos de investigación en este tema específico. La mayor parte de las investigaciones han sido

orientadas a la producción de metabolitos secundarios de alto valor agregado, quizás debido a que la producción de alimentos bajo sistemas agrícolas tradicionales nos brinda una forma más económica, viable y segura de producirlos.

Sin embargo, los tiempos están cambiando y el clima global tendrá serios impactos en los sistemas agrícolas, especialmente en los países pobres del tercer mundo, donde se concentra la mayor parte de la población global.

Ante este hecho, como científicos debemos adelantarnos al tiempo, generando investigaciones que nos garanticen la producción de alimentos básicos independiente de los factores ambientales externos y es aquí donde la biotecnología vegetal podrá proveer un sistema alternativo, viable y probablemente más versátil para generar alimentos de futuro.

### **Biotecnología vegetal**

Haberlandt<sup>8</sup> fue el pionero en intentar aislar y cultivar células vegetales a partir de hojas de plantas con flores, pensando que este sistema podría ser una excelente oportunidad para investigar las propiedades y el potencial de las células vegetales, con el fin de entender las diferentes interrelaciones celulares y las influencias complementarias de éstas en organismos multicelulares. A pesar de que Haberlandt nunca logró la división de células libres, su trabajo se constituyó en un estímulo para los investigadores que persistieron en este intento y que permitieron abrir una nueva frontera de investigación en este campo.

La utilización del cultivo de células simples ha tenido un gran impacto para las investigaciones en fisiología y bioquímica, especialmente para el estudio del metabolismo celular y para determinar el efecto de varias sustancias sobre las respuestas celulares. En el área genética, la clonación de una sola célula ha permitido el mejoramiento de cultivos a través de la fusión de protoplastos y los sistemas y técnicas modernas de transformación genética<sup>8</sup>.

A la fecha el progreso en este campo ha sido tan espectacular, que es posible no sólo el cultivo de células libres, sino que es factible inducir la división celular en un cultivo totalmente aislado y originar una planta completa a partir de éste<sup>9</sup>.

Adicionalmente el cultivo *in vitro* de células en suspensión ha abierto la posibilidad de generar nuevas alternativas de producción, ya que provee un sistema viable para la producción comercial de una gran cantidad de productos fitoquímicos conocidos como metabolitos secundarios y primarios. La Tabla 1 ilustra sobre algunos productos naturales de importancia industrial.

Las plantas nos proveen del alimento básico esencial, al igual que de numerosas materias primas de interés en la industria. Las plantas superiores producen una gran variedad de productos primarios y secundarios. Estos últimos juegan un papel secundario en los procesos básicos de la vida de la planta, pero a menudo tienen un papel ecológico importante como, por ejemplo, la atracción de polinizadores o defensa química contra los micro-organismos, insectos o predadores<sup>10</sup>.

Muchos de estos productos naturales han sido utilizados como fuentes de numerosos productos industriales, incluyendo químicos agrícolas, productos farmacéuticos y aditivos alimenticios

Aunque algunos de estos productos naturales han sido reemplazados por sustitutos sintéticos debido al costo, algunos químicos de importancia comercial y alto valor agregado todavía son extraídos de plantas<sup>11,12</sup>. De acuerdo con Lambie<sup>13</sup>, de los 30 alcaloides medicinales en uso 24 son todavía extraídos de plantas.

La dependencia de la humanidad de los productos naturales continúa debido a la dificultad de sintetizarlos por la complejidad de sus estructuras, lo que ha aumentado los procesos de bioprospección en la búsqueda de nuevos bioactivos naturales.

**Tabla I. Productos naturales producidos a partir de plantas de importancia industrial**

Productos	Bioactivos
<b>Farmacéuticos</b>	
Alcaloides	Ajmalicine, atropina, berberina, codeína, reserpina, vincristina, vinblastina
Esteroides	Diosgenín
Cardenolides	Digitoxina, digoxina
<b>Aditivos y saborizantes</b>	
Endulzantes	Stevioside, Thaumatina
Agentes amargantes	Quinina
Pigmentos	Crocin
<b>Pigmentos &amp; Perfumes</b>	
Pigmentos	Shikonin, antocianinas, betalainas
Fragancias	Aceites de rosa, jazmín y lavanda
<b>Agroquímicos &amp; Químicos</b>	
<b>Finos</b>	
Agroquímicos	Piretrinas, salannina, azadiractina
Químicos finos	Porteases, vitaminas, lípidos, látex, aceites

Fuente: Bhojwani & Razdan, 1996.<sup>14</sup>

A pesar del potencial que ofrece el cultivo de células y tejidos vegetales no sólo para investigaciones básicas, sino también para el desarrollo de investigaciones aplicadas a la producción de productos de interés y en especial para los países que, como Colombia, poseen una gran biodiversidad vegetal, su implementación en nuestro país ha sido escasa o casi nula, lo que contrasta con la gran cantidad de investigaciones al respecto realizadas en países desarrollados y con poca diversidad, tal como lo ilustran las Tablas 2 a la 7.

**Tabla 2. Ejemplo de compuestos producidos exclusivamente en cultivo de tejidos y no en plantas intactas**

Compuesto	Especie vegetal	Referencias
Epchrosine	<i>Ochrosia elliptica</i>	Pawelka et al, 1986
Dehydrodiconiferyl-alcohol- $\gamma$ - $\beta$ -D-glucoside	<i>Plagiorhegma dubium</i>	Arens et., 1985
Paniculid A	<i>Agrographis paniculata</i>	Butcher & Connolly, 1971
Pericine	<i>Picralima nitida</i>	Arens et al, 1982
Rutacultin	<i>Ruta graveolens</i>	Steck et al, 1971; Nahrstedt et al, 1985
Tarennosid	<i>Gardenia jasminoides</i>	Ueda et al., 1981
Voafrine A & Voafrine B	<i>Voacanga africana</i>	Stockigt et al, 1983

Fuente: Bhojwani & Razdan, 1996.<sup>14</sup>

**Tabla 3. Algunos ejemplos de cultivos celulares vegetales que han producido compuestos naturales en cantidades iguales o mayores que la planta completa en forma natural**

Producto	Especie vegetal	Rendimiento en % DW en la planta completa	Rendimiento en cultivo celulares	Referencias
Ajmalicine	<i>Catharanthus roseus</i>	0,3	1	Zenk et al, 1977
Anthraquinonas	<i>Morinda citrifolia</i>	2,2	18	Zenk et al., 1975
Beberine	<i>Coptis japonica</i>	2,4	13,4	Murria, 1984
Caffeine	<i>Coffea arabica</i>	1,6	1,6	Anderson et al., 1986
Catharanthine	<i>Catharanthus roseus</i>	0,0017	0,005	Kurz et al., 1981
Diosgenin	<i>Dioscorea deltoidea</i>	2,4	7,8	Tal et al., 1982
Ginsenoside	<i>Panax ginseng</i>	4,5	27	Misawa, 1984
Rosmarinic acid	<i>Coleus blumei</i>	3	23	Ulbrich et al., 1985
Serotonin	<i>Paganum harmala</i>	2	2	Sasse et al, 1982
Serpentine	<i>Catharanthus roseus</i>	0,26	2	Deus-Neumann & Zenk, 1984
Shikimic acid	<i>Galium molugo</i>	2-3	10	Amrhein et al, 1980
Shikonin	<i>Lithospermum erythrorhizon</i>	1-2	15-20	Fujita, 1988
Trigonelline	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	0,4	5	Radwan & Kokate, 1980
Tripodiolide	<i>Tripterygium wilfordii</i>	0,01	0,2	Hayashi et al.m 1982
Vomilenine	<i>Rauwifia serpentina</i>	0,004	0,214	Stockigt et al, 1981.

Fuente: Bhojwani & Razdan, 1996<sup>14</sup>.

**Tabla 4. Metabolitos secundarios de alto valor producidos en cultivos celulares vegetales**

Compuesto	Fuente de células	Localización	Referencia
Antraquinonas	<i>Rubia fruticosa</i>	-	Schulte et al., 1984
Antocianinas	<i>Daucus carota</i>	Vacuola	Barz et al, 1990
	<i>Vitix vinifera</i>	-	Do & Cormier, 1990
Atropina	<i>Datura innoxia</i>	Excretado	Barz et al, 1990
Alcaloides de Benzofenantridina	<i>Eschsholtzia californica</i>	-	Tanahashi & Zenk, 1990
Berberina	<i>Thalictrum minus</i> <i>Coptis japónica</i>	Excretado	Fujita & Tabata, 1987
Capsaicina	<i>Capsicum frutescens</i>	Excretado	Lindsey, 1986
Ácido 0-coumarin Glucósido	<i>Mellilotus alba</i>	Vacuola	Barz et al, 1990
Malonil Flavona	<i>Petroselinun hortense</i>	Vacuola	Barz et al, 1990
Ginkgolidos	<i>Ginkgo biloba</i>	-	Carrier et al, 1986
Alcaloides indoles (Ajmalicina, Serpentina)	<i>Catharantus roseous</i>	Vacuola	Zenk et al. 1977
Malonil Isoflavona glucósidos	<i>Cicer arietinum</i>	Vacuola	Barz et al, 1990
Diosgenina	<i>Dioscorea deltaidea</i>	-	Tal et al, 1983
Codeína	<i>Papaver somniferum</i>	-	Heinstein, 1985
Nicotina	<i>Nicotiana tabacum</i>	Vacuola-Excretado	Mantell et al, 1983
Podofilotoxina	<i>Linum album</i>	Intracelular	Smolny et al, 1992
Betalainas	<i>Basella alba</i>	Vacuola	Cyunel, 1989
Acido Rosmarínico	<i>Coleus blumei</i>	Vacuola	Zenk, 1977
Sanguinarina	<i>Papaver somniferum</i>	Excretado	Eiler et al, 1985
Saponinas	<i>Panax gingesn</i>	-	Payne et, 1991
Sapolín	<i>Solanum avicularee</i>	Excretado <sup>a</sup> Intracelular <sup>b</sup>	Roisin et al, 1997
Shikonina	<i>Lithospermum erythrorhizum</i>	Excretado	Tabata et Fujita, 1985
Taxol	<i>Taxus brevifolia</i>	Excretado	Christen et al, 1989
Tripdiolida	<i>Tripterygium wilfordii</i>	-	Kutney, 1995
Vanilina	<i>Vanilla planifolia</i>	-	Knuth & Sahai, 1989

Células inmobilizadas (a) Suspensiones de células libres (b)

Fuente: Bhojwani & Razdan, 1996<sup>14</sup>

## Cultivo de células diferenciadas para la producción de alimentos (metabolitos y/o productos primarios)

A pesar de la escasa información científica sobre los productos primarios (materias primas alimenticias), los bioprocesos para la obtención de estas materias primas son prácticamente iguales a la producción de metabolitos secundarios, con la excepción de que los genes responsables de su producción son constitutivos, es decir, se expresan directamente sobre el tejido que da origen al producto de interés, mientras

**Tabla 5. Producción de productos farmacéuticos potenciales en cultivo de células vegetales**

Compuesto	Actividad biológica	Fuente vegetal	Rendimiento	Elicitor
Acido rosmarínico	Antioxidante, antiviral, anti-inflamatorio	<i>Coleus blumei</i> <i>Orthosiphon aristatus</i>	3,3 g/l 10 $\mu$ mol/g FW	- Levadura
Sanguinarina	Antibiótico, antiviral, antitumoral	<i>Papaver somniferum</i> <i>Eschscholtzia californica</i>	3,6 mg/gFW 25 mg/g DW	Quitina soluble Jasmonato
Alcaloides Benzophenanthridínicos	Antimicrobial, antitumoral, antiviral	<i>Thalictrum bulgaricum</i>	0,4 mg/m	Levadura
Podophyllotoxina	Antitumoral	<i>Linum album</i>	0,3% DW	-
Forskolina	Antitumoral	<i>Coeus forskohlii</i>	0,073% DW	-
Polisacáridos	Potenciadores inmunológicos	<i>Echinacea purpurea</i>	10-100 ppm del volumen de la suspensión	-
Antraquinona	Laxativo	<i>Morinda citrifolia</i>	2,5 g/l	-
Berberina	Antibacterial, anti-inflamatorio antimalárico	<i>Coptis japónica</i>	7g/l	-
Scopolamina	Anti-inflamatorio	<i>Solanum aviculare</i>	127 $\mu$ g/gFW	Células inmovilizadas con alginato de calcio
Ginggólidos(GA)	Antiplaquetario	<i>Ginkgo biloba</i>	0,0000013% DW	-
Paclitaxel (Taxol)	Antitumoral	<i>Taxus media</i>	110 mg/l	Metil-jasmonato
Shikonina	Antibacterial, anti-inflamatorio, saneamiento de heridas	<i>Lithospermum erythrorhizon</i>	4 g/L	Agaropectina Acido péctico

Fuente: El-Geweley, 1998.<sup>15</sup>

**Tabla 6. Elicitación de metabolitos secundarios en células vegetales**

Compuesto	Elicitor	Cultivo celular	Ref
Acido rosmarínico	Extracto de levadura <sup>a</sup>	<i>Orthosiphom aristatus</i>	Sumaryono et al, 1991
Sanguinarina	Quitina solubilizada <sup>a</sup>	<i>Papaver somniferum</i>	Kurz et al, 1990
Isoflavonoides	Extracto de levadura <sup>a</sup>	<i>Pueraria lovata</i>	Sankawa et al, 1995
Echinatina	Alginato de Sodio	<i>Glycorrhiza echinata</i>	Ayabe et al, 1986
Medicarpina, Maackiaina	Asochyta rabiei	<i>Cicer arietinum</i>	Barz et al, 1990
Isoflavonoides, Isoflavononas	Levadura	<i>Cicer arietinum</i>	Barz & Mackenbrock, 1994
Amidas de Hidroxicinamomil	Levadura	<i>Solanum Khasianum</i>	Mühlenbeck et al, 1996
Bergapten	Polyporus umbellatus <sup>a</sup>	<i>Petroselinum crispumb</i>	Reil & Berger, 1996

Homogenados autoclavados (<sup>a</sup>)

Fuente: Bhojwani & Razdan, 1996<sup>14</sup>

en los metabolitos secundarios algunos de los genes que se codifican para dichos compuestos pueden expresarse bajo condiciones de stress en tejidos o células localizadas fuera del centro de producción, haciendo difícil su expresión y manipulación.

Cualquier cultivo celular se inicia con una selección del material parental de calidad "élite" que deseamos multiplicar o producir y éste es un factor crítico. Igualmente importante es el estado fisiológico de desarrollo de la planta donante del explante especializado y utilizado para iniciar el proceso. Durante el desarrollo de la planta cada órgano o tejido tiene un período crítico, en el cual se presenta un tasa de multiplicación (división) celular acelerada que es óptima para la selección del explante. Una vez definido este período de alta división celular para la especie sobre la cual vamos a obtener el producto primario, se llevan a cabo todos los procedimientos estándar para el establecimiento de un cultivo *in vitro*.

El tejido diferenciado responsable de la producción del metabolito o producto primario es el seleccionado como material básico (explante) y se procede a establecer el cultivo trasladando secciones pequeñas del explante sobre un medio fresco, nutritivo previamente definido, que contenga una composición hormonal adecuada para generar una tasa de división celular permanente. Generalmente el medio debe contener un balance de auxinas y citoquininas adecuadas. La selección del tipo de hormonas y su concentración deberá ser cuidadosa, con el fin de evitar un desarrollo morfogénico no deseado o inducir una alta variabilidad genética dentro del cultivo.

Como respuesta a la composición química y hormonal del medio de cultivo el explante desarrollará un proceso de callogénesis constante, el cual crece desde las áreas de corte hasta cubrir la totalidad del explante diferenciado. A medida que éste se va desarrollando y diferenciando, se separa del explante inicial y se procede a realizar subcultivos sobre medio fresco con la misma composición química y hormonal (cada 15 o 30 días) y bajo las mismas condiciones de cultivo definidas al inicio del cultivo, con el fin de generar una cantidad apreciable y razonable de tejido celular que facilite el establecimiento de las suspensiones celulares. El subcultivo repetido genera un callo friable (en constante división) dando origen a una suspensión celular fina dentro del medio líquido<sup>16,17</sup>.

Para obtener células libres, pedazos de callos diferenciados y no diferenciados son transferidos a medio líquido y colocados en constante agitación (normalmente entre 80-90 rpm). A estos cultivos se les denomina células en suspensión. La agitación del cultivo ejerce al menos las siguientes funciones:

1. Crea una presión sobre la masa de células o agregados para que éstas se disgreguen en pequeños grupos y células individuales.
2. Mantiene una distribución uniforme de los nutrientes y hormonas sobre los tejidos
3. Provee un intercambio de gases entre el medio y el aire del cultivo contenido en el recipiente.

Una vez establecido el cultivo en suspensión, estudiados todos los parámetros físico-químicos y biológicos y luego de realizar todas las pruebas de viabilidad, se procede a la obtención de alícuotas de la suspensión para transferirlas a medio fresco. Durante el periodo de incubación la biomasa celular se incrementa, debido a la división y crecimiento (enlargamiento). Durante este periodo se procede a realizar el estudio de la cinética celular para la especie definida y subcultivando nuevamente para mantener la suspensión celular en constante crecimiento. Debido a que la producción de los metabolitos primarios es constitutiva, lo importante en este proceso es mantener constante la capacidad de división celular, el crecimiento, el desarrollo y diferenciación del tejido. Para mantener la producción de los productos primarios de interés es importante realizar toma de muestras para evaluar la calidad del producto producido vía HPLC y HPLC acoplado a masas, o mediante otras técnicas que nos den la certeza de la calidad del producto producido.

Para garantizar la calidad de la suspensión es necesario hacer un tamizaje del cultivo, con el fin de descartar agregados grandes de éste y sólo dejar en el subcultivo pequeños agregados celulares con el fin de que todas las celulares reciban la misma calidad y cantidad de medio de cultivo. Sin embargo, la textura de la suspensión es genéticamente controlada y a menudo es difícil obtener una buena dispersión celular bajo cualquier condición. A pesar de lo anterior, es posible manipular la composición del medio de cultivo para lograr una mayor disgregación, agregando pequeñas cantidades de enzimas hidrolíticas tales como celulasas y pectinasas<sup>18</sup> u otras sustancias, como extracto de levadura<sup>17</sup>. Para el caso de metabolitos primarios estos procesos son menos dispendiosos, ya que a medida que el cultivo se va diferenciando, se obtienen los productos de interés.

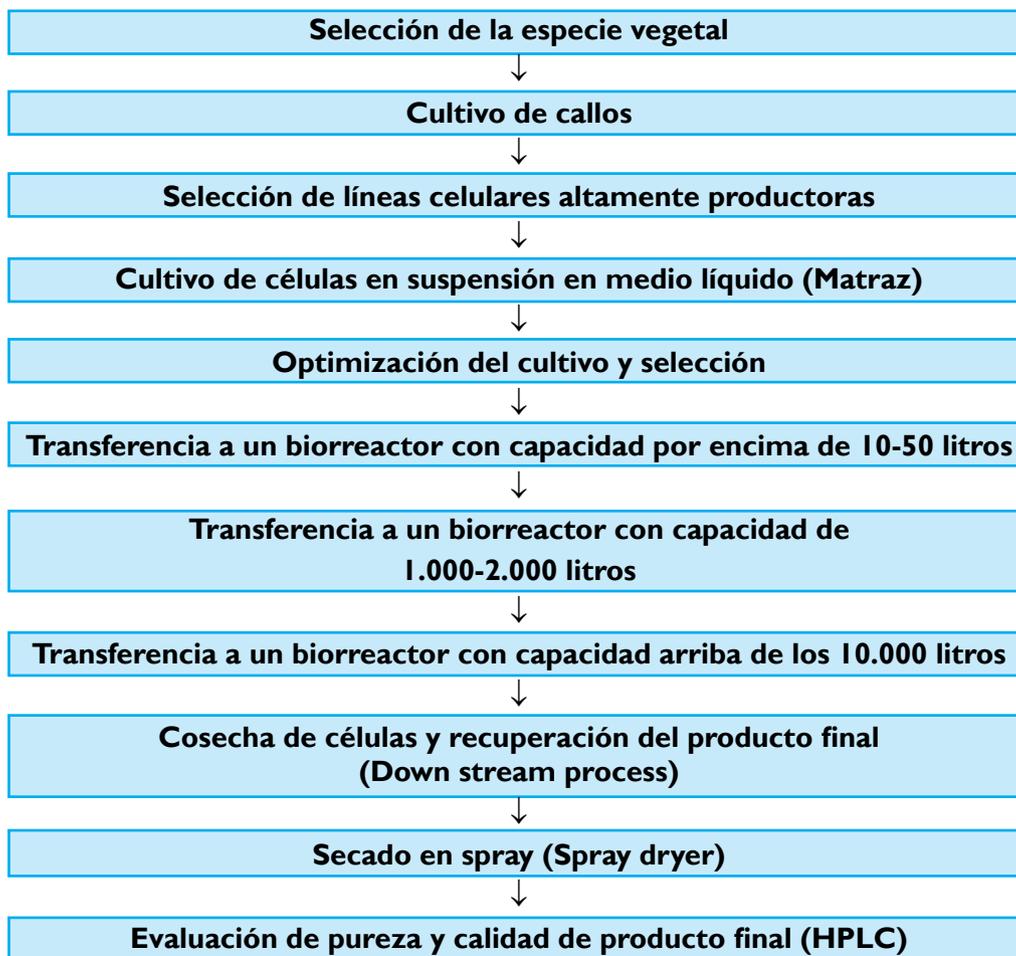
Con el fin de dar una noción general sobre los procesos de cultivo para la producción tanto de metabolitos primarios como secundarios, se ha realizado en el Diagrama I la ilustración de los pasos a seguir en cualquier sistema de cultivo en suspensión.

En Colombia sólo unos cuantos laboratorios han implementado el cultivo de células en suspensión para la producción de metabolitos secundarios, pero a nivel mundial ya existen empresas, como Diversa y Phyton, que producen varios productos de alto valor agregado a partir del cultivo de células en suspensión y a nivel de biorreactores a escala industrial, como lo ilustra la Tabla 8.

Durante los últimos 30 años ha habido un creciente interés entre los científicos para producir productos naturales de alto valor agregado mediante el cultivo de células en suspensión, con el fin de superar los problemas asociados con la producción industrial de fitoquímicos mediante la extracción de los compuestos a partir de plantas crecidas en forma natural (poblaciones naturales).

La implementación exitosa de estos procesos puede realizarse a lo largo de todo el año, independiente de la estacionalidad de la planta, independiente de factores ambientales, patógenos, agroquímicos, entre otros factores, además de que se evita poner en riesgo de extinción a aquellas especies que producen productos de interés<sup>13</sup>.

**Diagrama I. Procesos para el cultivo de células vegetales bajo condiciones sumergidas**



El cultivo de células no sólo contribuye a la conservación de la biodiversidad, sino que permite la síntesis de nuevos productos naturales al mismo tiempo que sirven como “biofábricas” para convertir productos de bajo valor en productos de alto valor agregado, además de generar nuevos compuestos que normalmente no se producen bajo condiciones naturales.

Aunque los metabolitos secundarios son los productos de mayor valor agregado producidos por cultivos celulares, poca o ninguna atención han recibido los metabolitos primarios o los productos primarios, quizás debido a que su cultivo tradicional sigue siendo la forma más económica de producirlos. Aunque la mayor parte de los cultivos agrícolas tienen como finalidad la producción de los productos básicos alimenticios localizados en órganos específicos, constituidos de células diferenciadas), surge la pregunta de por qué no hemos implementado el cultivo de las células y tejidos especializados de estos cultivos para la producción *in vitro* de dichos productos o alimentos básicos.

**Tabla 7. Escalado de algunos metabolitos secundarios producidos en cultivos celulares vegetales**

Producto	Fuente vegetal	Tipo de biorreactor	Volumen (Litros)
Shikonina	<i>Lithospermum erythrorhizon</i>	Cultivo en "Batch" en un sistema de 2 etapas	750
Beberidina	<i>Thalictrum minus</i>	Cultivo en "Batch" y flujo continuo	4.000
	<i>Coptis japónica</i>	Flujo continuo con un agitador de turbina	
Saponinas de ginseng	<i>Panax ginseng</i>	Cultivo celular y de raíces en matraz	20.000
Taxol	<i>Taxus brevifolia</i>	Agitador de turbina	75.000
Sanguinarina	<i>Papaver somniferum</i>	Reactor de Aire (Airlift)	300

Fuente: Smith, 1995.<sup>19</sup>

**Tabla 8. Productos de alto valor agregado a partir de cultivos de células**

Cultivos en campo	Cultivos en suspensión
Costo de la tierra de cultivo	Costo de la planta física/Valor del área de cultivo tecnológico
Preparación del suelo	Compra e instalación de equipos de alta tecnología
Sistemas de riego	Costo de servicios públicos: agua, luz, energía
Costo de los insumos para la siembra	Costo de los insumos para el cultivo celular
Costo mano de obra no calificada	Costo de obra de mano altamente calificada
Costos energéticos	Costos energéticos
Costo control de malezas	Know How
Costo control de pestes, predadores	No aplica/Producción limpia
Costo debido a efectos climáticos	Costos debido a cambio climático/ procesos confinados
Costo del tiempo de producción (depende del cultivo/estacionalidad)	Costo de tiempo de producción (dependiente del protocolo de cultivo in vitro)
Costo de cosecha	Costo del proceso de recuperación del producto final
Costos de post cosecha, selección (pérdida y rechazo de productos no adecuados)	Costo de análisis de calidad de producto final
Costos de almacenamiento temporal/Bodegaje	Costos de almacenamiento temporal
Costos de empaque, embalaje y transporte del producto	Costos de empaque, embalaje y transporte del producto final
Costos ambientales asociados al cultivo	Costos ambientales asociados al cultivo.
Costo del producto final/Materia prima sin transformación	Costos del producto final/ Materia prima de alta calidad
Venta y beneficios	Venta y beneficios
Imprevistos	Imprevistos

La respuesta parece ser que el costo de producción es demasiado alto, y quizás la productividad no sea superior cuando se compara con la producción bajo sistemas agrícolas tradicionales. Sin embargo, parece que nadie ha hecho el ejercicio completo para un análisis comparativo, desde implementar la producción de un producto básico mediante cultivo celulares hasta llevarlo a escala piloto e industrial, evaluando los costos de cada etapa. Una vez establecidos, analizados y costeados todos los parámetros, éstos podrían ser comparados con la producción del mismo producto básico bajo condiciones naturales y realizando una evaluación sobre “costos de producción agrícola convencional y desventajas ambientales vs. costos de producción tecnológica y beneficios ambientales. Haciendo un ejercicio mental se deberían estudiar, al menos comparativamente, los parámetros expresados en Tabla 8.

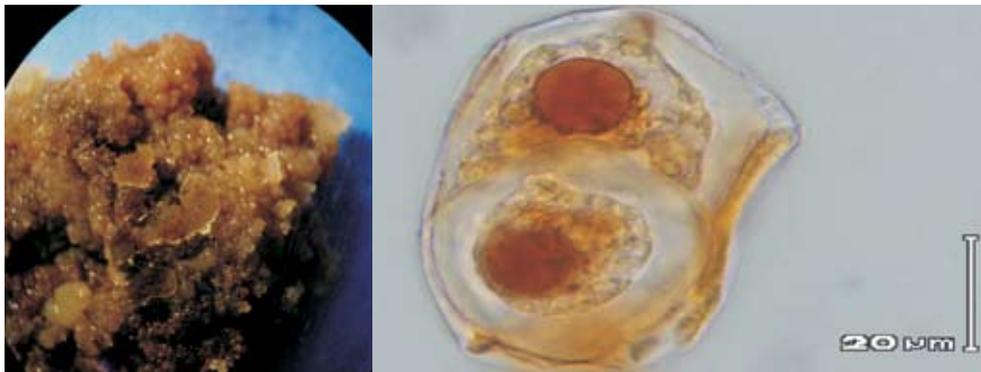
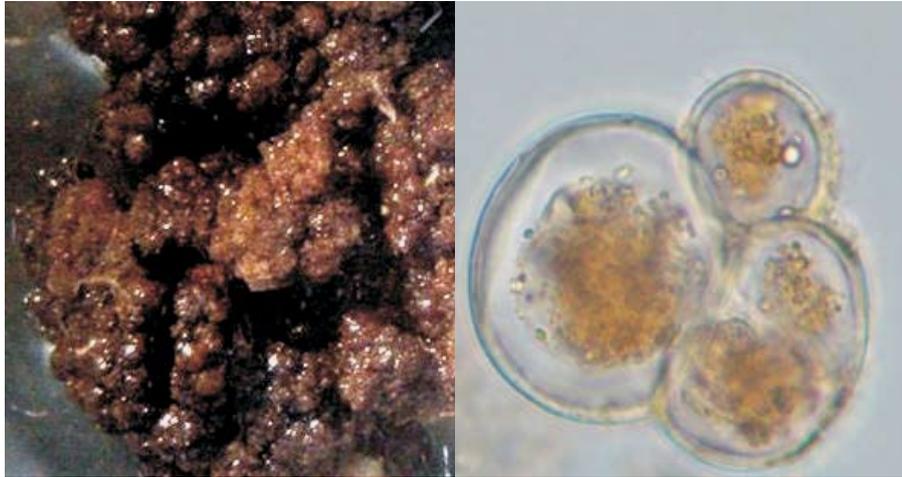
Teniendo en cuenta la urbanización de las ciudades, el crecimiento de la población y el cambio climático, la Universidad de Antioquia ha venido implementado el cultivo de células y tejidos diferenciados, bajo la idea de lo que podríamos denominar “BioAgricultura Urbana de Alta Tecnología” para la producción futura de alimentos. La idea que enmarca estos desarrollos está basada en la necesidad de generar alternativas de producción diferentes a las convencionales con el fin de garantizar la seguridad alimentaria en el futuro, especialmente a nivel de las grandes ciudades, que facilite una producción independiente de los factores climáticos externos, producción limpia, libre de patógenos, libre de agroquímicos e independiente de la estacionalidad, además de que contribuya a la conservación de la biodiversidad al evitar o minimizar extensión de la frontera agrícola.

Estos procesos podrían ser extremadamente valiosos en caso de una catástrofe ambiental. Si el cambio climático es una realidad que debemos enfrentar, mañana podría ser demasiado tarde para generar alternativas novedosas que nos permitan superar estos factores críticos que ponen en peligro nuestra propia supervivencia.

### **Cultivo de vesículas de naranja dulce var. García –Valencia** (*Citrus sinensis*)



**Cultivo de células diferenciadas de tejido cotiledonar de cacao (*Theobroma cacao*)**



**Caña de azúcar *Saccharum officinarum*. Bajo condiciones de oscuridad (Foto izquierda) y bajo condiciones de luz (Foto derecha)**



En la actualidad, el Grupo BioVeg viene trabajando en varios cultivos: naranja, cacao, macadamia, caña de azúcar, entre otras. En las fotos de las páginas anteriores se ilustran algunos ejemplos, y se espera implementar el cultivo de cereales y semillas básicas como maíz, arroz, trigo, cebada y soya, entre otros.

Como parte de sus avances se registró una patente y, en el futuro, se espera registrar otros productos basados en estos sistemas de cultivo que podrían brindar alternativas novedosas para la producción de alimentos básicos, garantizando en el futuro la seguridad alimentaria para los colombianos.

## REFERENCIAS

1. ANDERSON, J. Feeding a hungrier world. In : *Phytopathology News*. Vol. 30, No. 6 (1996a); p. 90-91.
2. GUPTA DUTTA, S. and IBARAKI, Yasuomi.. *Plant Tissue Culture Engineering*. Netherlands: Springer, 2005. 480 p.
3. FARIÑAS, Diego Ramiro; RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, Vicente y SANZ GIMENO, Alberto. La población mundial. [online]. España: CSIC. Instituto de Economía y Geografía, s.f. [Citado noviembre 2007]. URL disponible en: <[http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/feria/publicaciones/Feria6/41/Inst\\_Economia\\_Geografia.pdf](http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/feria/publicaciones/Feria6/41/Inst_Economia_Geografia.pdf)>
4. GRUPO DE COPENHAGUE. Principales reivindicaciones ante la Cumbre de Monterrey.(México) 18 al 23 de marzo de 2002 Bruselas. "Financiación del desarrollo". [online]. Bruselas : sodepaz, 2002. [Citado noviembre 2007]. URL disponible en: <<http://www.sodepaz.org/monterrey/Copenhague.PDF>>
5. SISTEMA DE NACIONES UNIDAS. Organización Meteorológica Mundial y Programa Ambiental de las Naciones Unidas. Panel 5. Intergubernamental del Cambio Climático. s.l. : Naciones Unidas, 1988.
6. BBC. Cambio climático "afectará a millones". [online]. London: BBC, Viernes, 6 de abril de 2007. [Citado noviembre 2007]. URL disponible en: <[http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid\\_6532000/6532347.stm](http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_6532000/6532347.stm)>
7. HABERLANDT, G. Culturversuchemit isolierten Pflanzenzellen. In: *Sitzungsber. Math, Naturwiss, Kl, Kais. Akad. Wiss. Wien*. Vol. 111 (1902); p. 69-92.
8. BAJA, Y.P.S. *Biotechnology in Agriculture and Forestry 17. High Tech and Micropropagation I*. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 555 p.
9. PIERIK, R.L.M. *Cultivo in vitro de las plantas superiores*. Palermo, España : Ediciones Mundi-Prensa, 1990. 326 p.
10. WINK, M. Plant breeding; Importance of plant secondary metabolites for production against pathogens and herbivores. In : *Theoretical and Applied Genetics*. Vol. 75 (1988); p. 225-233.

11. SAUERWEIN, M.; YOSHIMATSU, K. & SHIMOMURA, K.. Further approaches in the production of secondary metabolites by plant tissue cultures. In: *Plant Tissue Cult. Lett.* Vol. 9 (1992); p.1-9.
12. MISAWA, M.. *Plant Tissue Culture: An alternative for production of useful metabolites.* Rome: FAO Agriculture Services Bull, 1994. 87 p.
13. LAMBIE, A.J. Commercial aspects of the production of secondary compounds by immobilized plant cells. In: CHARLWOOD, B.V. & RODEES, M.J.C. (Eds). *Secondary Products from Plant Tissue Culture.* Oxford: Clarenton Press, 1990. p.265-278.
14. BHOJWANI, S.S. and RAZDAN, M.K. *Plant Tissue Culture. Theory and Practice.* Ámsterdam: Elsevier, 1996. 766 p.
15. EL-GEWELEY, M.R. (Editor). *Biotechnology Annual Review.* Vol. 4. New York : Elsevier, 1998. 394 pgs.
16. WILSON, H.M. & STREET, H.E. 1975. The growth, anatomy and morphogenetic potential of callus and cell suspension cultures of *Hevea brasiliensis*. In: *Annals of Botany.* Vol. 39 (1975); p. 671-682.
17. NOGUCHI, M. et al.. Improvement growth rates of plant cell culture. In: W. Barz et al. (Eds.), *Plant Tissue Culture and the Bio-technological Application.* Berlin : Springer, 1977. p. 85-94.
18. STREET, H.E.. Cell (Suspension) cultures-techniques. In: STREET, H.E. (Ed.), *Plant Tissue and and Cell Culture.* s.l. : Blackwell, 1977b. p. 61-102.
19. SMITH, M.A. L. Large-scale production of secondary metabolites. In: TERZI, M.; CELLA, R. and FALAVIGNA, A. (Eds.). *Current Issues in Plant Molecular and Cellular Biology.* Dordrecht: Kluwer Academic, 1995. p. 669-674.