

Impacto económico potencial en Colombia del uso de variedades transgénicas de yuca resistentes al barrenador del tallo, *Chilomima clarkei* (Lepidoptera: Pyralidae)

Libardo Rivas
Carlos Julio Herrera

Centro Internacional de Agricultura Tropical
Proyecto de Evaluación de Impacto
Proyecto de Yuca

Cali, Colombia
Julio 2003

Resumen

En este trabajo se evalúa el impacto económico potencial del uso en tres regiones productoras de yuca del país – Costa Norte, Llanos Orientales y Huila–Tolima – de una variedad transgénica resistente al barrenador del tallo.

Se trata de una plaga de importancia económica que origina sustanciales bajas en la productividad del cultivo, en las regiones afectadas.

El estudio aparte de una breve introducción, en donde se destaca la importancia socioeconómica del cultivo, incluye los siguientes temas: 2) Análisis de las tendencias de la producción de yuca, a escala global y en Colombia. 3) Descripción de la plaga y de su daño económico. 4) Evaluación del impacto económico y 5) Conclusiones.

Se examinan las tendencias de la producción, el área y los rendimientos del cultivo en las regiones en desarrollo y en Colombia en particular. Se concluye que la expansión histórica de la producción se origina principalmente en el incremento de las superficies sembradas, en tanto que los avances en productividad han tenido un rol secundario.

La rápida expansión de la avicultura, ha generado una creciente demanda por granos para la producción de concentrados, a la cual países como Colombia no han podido responder vía producción doméstica y han adoptado un patrón recurrente de importación de estos insumos. Dentro de este contexto, aparece la yuca como una alternativa promisoriosa para la sustitución de importaciones, la generación de ingresos para productores pobres y el empleo de recursos relativamente abundantes como mano de obra y en menor medida tierra.

Para lograr estos propósitos, es prioritario incrementar la productividad y la competitividad de la producción nacional, para hacer viable la inserción de éste producto como insumo en los procesos industriales y en la fabricación de alimentos concentrados para animales.

Dentro de ésta perspectiva ha venido trabajando en los últimos años el Proyecto de Yuca del CIAT y más recientemente CLAYUCA (Consortio Latinoamericano para la Producción de Yuca). Esta labor ha resultado en nuevas opciones tecnológicas de producción, algunas de ellas ya listas para su empleo en los campos de los agricultores y otras en fases avanzadas de desarrollo: Variedades de alto rendimiento, materiales resistentes a herbicidas, mecanización de la siembra y de la cosecha y

variedades transgénicas resistentes al barrenador del tallo, aparecen como opciones con muy alto potencial, para modernizar el cultivo de yuca en Colombia y en los trópicos.

Estudios previos han evaluado el impacto económico potencial de algunas de éstas tecnologías (Pachico, et al. 2001). Este trabajo, empleando la misma base metodológica, evalúa el impacto potencial del uso de variedades transgénicas resistentes al barrenador del tallo, en tres regiones seleccionadas del país.

Se utiliza el modelo de excedentes económicos DREAM, para estimar el impacto económico potencial del uso de los nuevos materiales. El valor presente de los beneficios totales que recibiría la sociedad – consumidores y productores – como recompensa por su inversión en investigación, se estiman en US\$ 175 millones, de los cuales el 55% es capturado por los consumidores y el 45% por los productores.

Los beneficios totales son equivalentes a un flujo anual de US\$ 16.9 millones, durante un periodo de 15 años, cifra muy superior a las inversiones efectuadas anualmente en investigación en el cultivo.

La Costa Norte colombiana captura el mayor volumen de beneficios (US \$91 millones), debido a su gran importancia como región productora y por la magnitud de los daños ocasionados por el barrenador.

Un análisis de sensibilidad de los beneficios potenciales con respecto al tiempo de rezago de la investigación (“time lag”), muestra que los procesos de investigación no solo deben estar enfocados a resolver problemas pertinentes, sino que las soluciones propuestas deben llegar rápidamente. Un rezago de 5 años reduciría los beneficios sociales esperados en 45%.

Palabras Clave: *Colombia, yuca, barrenador del tallo, variedades transgénicas, adopción, impacto económico.*

Impacto económico potencial en Colombia del uso de variedades transgénicas de yuca resistentes al barrenador del tallo

(Chilomima clarkei. Lepidoptera: Pyralidae)

*Libardo Rivas¹
Carlos Julio Herrera*

1. Introducción

El cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a través de la historia ha tenido gran importancia socioeconómica en las regiones tropicales del mundo, dado que se trata de un vegetal con alto grado de rusticidad, que le permite adaptarse y alcanzar elevados niveles de productividad, bajo adversas condiciones climáticas y edáficas, por lo cual se le considera como un cultivo tropical típico de pequeños y medianos productores, con recursos económicos muy limitados.

En Colombia la producción de yuca se halla ampliamente dispersa a través de la geografía nacional, ubicándose principalmente en pisos térmicos entre 0 y 1800 msnm, emplea tecnología artesanal, siendo catalogado como un cultivo de subsistencia.

Tradicionalmente en el país la yuca se ha utilizado principalmente en la alimentación humana y en la fabricación de almidón, pero cada día aumenta el interés por utilizar este producto más intensivamente, en la industria de alimentos concentrados para animales. Colombia registra un déficit creciente de granos, y gasta anualmente un significativo volumen de divisas en importaciones de éstos insumos, en cuya producción países templados, como USA y Argentina, presentan grandes ventajas comparativas. Mientras en 1990 el valor FOB de las importaciones colombianas de maíz, sorgo y soya era de US\$ 18 millones, hacia el 2001 se habían multiplicado por 15, llegando a US\$ 291 millones. (FAO, 2003)

En 2000 la producción nacional de concentrados se estimó en 3.6 millones de toneladas, lo cual implicó una demanda equivalente a 2.2 millones de toneladas de maíz y sorgo. En ese mismo, año la producción nacional conjunta de éstos dos productos solo llegó a 1.4 millones de tm. (Pérez, S. 2001).

¹ Economista del Proyecto de Evaluación de Impacto, e Ingeniero Agrónomo del Proyecto de Yuca del CIAT, respectivamente.

La yuca por su capacidad de sustituir a los granos, en la forma de yuca seca y harina, su menor precio y su alta calidad energética y aglutinante, se constituye en una alternativa importante para la fabricación de concentrados.

Para materializar ese potencial, un aspecto clave es la modernización de las actuales condiciones de producción de raíces, para posteriormente obtener un producto (yuca seca y harinas) de mayor calidad, y a precios que le permitan competir exitosamente con los cereales importados.

Dado lo anterior, el Proyecto de Yuca del CIAT, encamina gran parte de su trabajo hacia el mejoramiento de la productividad y la competitividad de la yuca, como insumo para la industria. Con éste propósito ha desarrollado nuevas tecnologías de producción, que incluyen diversos elementos críticos tales como variedades de altos rendimientos, variedades mejoradas resistentes a plagas y enfermedades, materiales transgénicos con resistencia a herbicidas, sistemas alternativos de siembra y de cosecha. Actualmente el Proyecto trabaja en el desarrollo de materiales transgénicos resistentes al barrenador del tallo (*Chilomima clarkei*), una plaga que ha tenido un importante impacto negativo sobre la economía del cultivo, especialmente en la Costa Norte, los Llanos Orientales y la zona Huila – Tolima.

Inicialmente el barrenador del tallo se detectó en los Llanos Orientales, posteriores estudios demostraron que en la Costa Norte del país ocasionaba reducciones del rendimiento hasta de un 85% (Ramírez, C. 2002).

El propósito de este trabajo es elaborar una evaluación *ex - ante* del impacto económico de la adopción, de una variedad transgénica resistente al barrenador del tallo, en tres regiones productoras del país, afectadas por la plaga. Este nuevo material incrementa los rendimientos y reduce los costos unitarios de producción de la yuca fresca.

El estudio incluye 5 secciones: 1) Introducción. 2) Tendencias a escala global y en Colombia de la producción de yuca. 3) El barrenador del tallo y su importancia económica. 4) Evaluación del impacto económico del uso de variedades transgénicas, resistentes al barrenador y 5) Conclusiones.

2. Tendencias a escala global y en Colombia de la producción de yuca fresca

En 2002 el área mundial sembrada con yuca se estimaba 17.3 millones de hectáreas de las cuales 11.2 millones, 65 %, se ubicaba en África; 3.5 millones, 20%, en Asia; y el resto, 2.6 millones de hectáreas, en América Latina (Cuadro 1).

La distribución de la producción mundial de raíces de yuca sigue un patrón similar al del área cultivada. De una producción total de 100.7 millones de toneladas en 2002, más de la mitad (54%) era producida en África; seguida por Asia con el 28% y de América Latina que aportaba el restante 18% (Cuadro 1).

Entre las regiones en desarrollo, África sobresale por su volumen de producción, la magnitud de las superficies cultivadas y los altos índices de producción y consumo por habitante, pero con niveles de productividad (producción / ha.) que pueden catalogarse como modestos (Cuadro1).

Cuadro 1 **Área, producción y rendimientos del cultivo de yuca en América Latina y en otras regiones en desarrollo 2002**

Regiones	Área cultivada (millones has.)		Producción (millones tm.)		Rendimiento (tm/ha.)		Población (millones de habitantes)	Producción/habitante (Kgs/año)
	Total	%	Total	%	Valor	Índice		
Asia	3.5	20.2	51.2	27.7	14.6	137.0	3721	13.8
África	11.2	64.7	100.7	54.5	9.0	84.2	813	123.9
América Latina	2.6	15.1	32.8	17.8	12.6	118.2	527	62.2
Total	17.3	100.0	184.7	100.0	10.7	100.0	5061	36.5
Colombia	0.2	1.2	2.2	1.2	10.6	99.1	42.8	51.4

Fuente: Cálculos basados en cifras de FAO (2003)

Cuadro 2 **Tendencias de largo plazo del cultivo de yuca en regiones en desarrollo y en Colombia: 1980 - 2002**

Regiones	Tasa anual de crecimiento (%):		
	Producción	Área	Rendimiento
África	3.6	2.4	1.2
Asia	0.3	-0.5	0.8
América Latina	0.0	-0.5	0.5
Regiones en desarrollo	1.8	1.2	0.6
Colombia	0.9	0.5	0.4

Fuente: Cálculos basados en cifras de FAO (2003)

La mayor dinámica del cultivo se observa en África en donde en un extenso período, 1980 – 2002, la producción creció sostenidamente al 3.6% en promedio por año. No obstante, la principal fuente de esa expansión fue el avance de las superficies cultivadas, que explica dos terceras partes del crecimiento observado de la producción (Cuadro 2).

En Asia y en América Latina las áreas sembradas presentan una leve tendencia declinante y todo el crecimiento de la producción, se originó en un modesto incremento de la productividad. (Cuadro 2).

En Colombia la dinámica de la producción es lenta – creció al 0.9% por año – y a ese crecimiento contribuyeron casi por partes iguales, los avances de las áreas sembradas y de la productividad.

En el contexto del mundo en desarrollo, América Latina se destaca por la importancia de la yuca en la alimentación animal. En Asia y África más de las tres quintas partes de la producción total, se utiliza en alimentación humana.

En Latinoamérica, casi la mitad de la yuca disponible (46%), es empleada en la alimentación de animales. El 38% se destina al consumo humano y la fracción restante (16%) esta representada por otros usos y por pérdidas de producción, debidas al deterioro en la fase de poscosecha.

El principal uso de la yuca en Colombia es en alimentación humana (80%). Una pequeña fracción de la disponibilidad total, que no supera el 10%, es utilizada en las actividades pecuarias. El Cuadro 3 muestra el panorama global de los distintos usos de la yuca en varias regiones del mundo y en Colombia en particular.

Colombia es el tercer productor en importancia en la América Tropical (6% de la producción regional,) pero muy lejos de Brasil (73%) y de Paraguay (10%) - Cuadro 4 -.

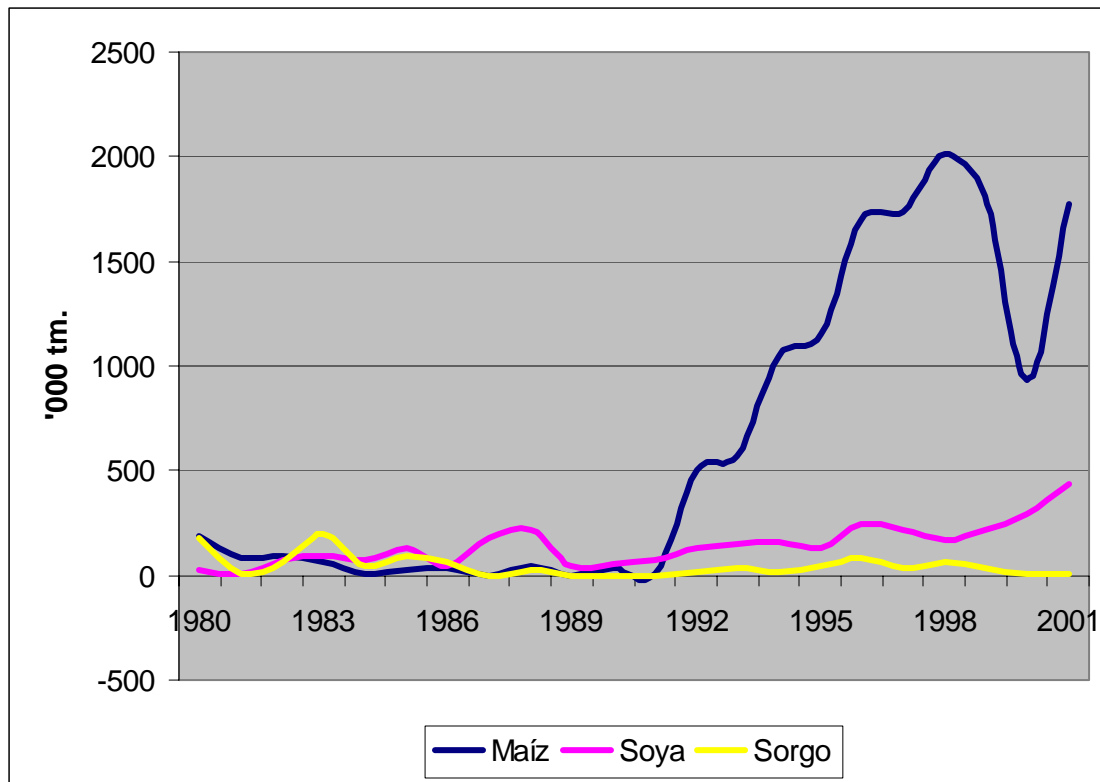
Aunque las áreas yuqueras de América Latina son bajas comparadas con las de África, su nivel de productividad supera el promedio mundial y se acerca al de Asia. Los rendimientos de Colombia son muy similares a los promedios de las zonas en desarrollo consideradas como un todo.

El cultivo se encuentra ampliamente extendido en todo el país, pero se destaca la Costa Norte que aporta un poco más del 40% de la oferta total nacional de yuca fresca. Siguen en orden de importancia, en cuanto a volumen de producción, los Santanderes y los Llanos Orientales. Se puede considerar que las zonas de Cauca – Valle, Huila – Tolima y el Eje Cafetero, son marginales en términos de su aporte a la producción nacional (Cuadro 5).

La producción colombiana de yuca fresca en el año 2002 se estimó en US\$ 433 millones, lo cual constituye una cifra significativa dentro de la economía agrícola del país.

La industria nacional de concentrados para la alimentación de monogástricos, es dependiente en alto grado de materias primas importadas tales como maíz, soya y sorgo. La avicultura es el subsector que jalona la demanda de concentrados, dadas sus elevadas tasas de crecimiento de largo plazo. En efecto en el período 1980 – 2002, la producción de pollo en Colombia creció a una tasa promedio anual del 8.2%, los inventarios de aves al 6.7% y la producción de huevos al 3.8% anual. En contraste, la porcicultura es una actividad que tiende a estancarse (Cuadro 6). La demanda por granos para alimentos animales se ha incrementado muy rápidamente y ante la imposibilidad de cubrir las necesidades, Colombia ha entrado en una fase de importaciones crecientes de éstas materias primas básicas, particularmente de maíz, y en éstas circunstancias la yuca aparece, como una buena alternativa para sustitución de importaciones y ahorro de divisas (Figura 1).

Figura 1 **Importaciones netas de granos básicos para concentrados Colombia: 1980 - 1992**



Fuente: Cifras de FAO (2003)

Como ya se anotó, este cultivo está ampliamente diseminado en el territorio nacional, ocupando principalmente áreas marginales, con grandes limitaciones en cuanto a la calidad de los suelos y generalmente afrontando difíciles condiciones climáticas. Es una actividad comúnmente adelantada por productores de pequeña escala, en explotaciones con bajo nivel tecnológico y en situaciones donde los campesinos disponen de muy pocas opciones productivas para su supervivencia.

En este cultivo predominan los métodos de producción tradicionales de muy bajo costo, con escasas prácticas culturales y baja productividad. Se usa semilla no seleccionada, no se aplican pre ni post emergentes, el control de plagas es precario y los niveles de fertilización son nulos o muy reducidos.

La principal consecuencia del atraso tecnológico son los bajos rendimientos por hectárea, que finalmente se traducen en elevados costos por tonelada de yuca producida, lo cual a su vez deteriora la competitividad de este producto como insumo en la fabricación de alimentos concentrados para animales, ante opciones más baratas como maíz, sorgo y yuca seca importados.

Uno de los elementos críticos dentro de una estrategia para incrementar la competitividad de la yuca es el mejoramiento de la productividad del cultivo y la expansión de su producción. En ese sentido ha venido trabajando, desde hacia varios años, el Centro Internacional de Agricultura Tropical, de forma conjunta con diversas instituciones del país y del exterior.

Numerosas tecnologías orientadas a reducir los costos de producción y a mejorar la rentabilidad del cultivo se han diseñado y son opciones viables para las diferentes regiones productoras de Colombia. En un estudio previo elaborado por Pachico et al (2001), se evaluó el impacto económico potencial de la adopción en las regiones productoras del país, de algunas tecnologías de producción promisorias, todas ellas orientadas a incrementar la productividad y a reducir los costos unitarios de producción. Dada la gran heterogeneidad de las regiones productoras del país, se requieren múltiples opciones tecnológicas, que permitan cubrir un amplio espectro de demandas. Por ejemplo, las variedades de alto rendimiento son susceptibles de ser empleadas en todo Colombia, por el contrario, las tecnologías basadas en la mecanización de la siembra y la cosecha no son apropiadas para las zonas de ladera como el Eje Cafetero. Las tecnologías actualmente en desarrollo, basadas en materiales transgénicos resistentes al barrenador, se espera que tengan gran adopción e impacto en la Costa Norte, los Llanos Orientales y la

Cuadro 3 Distribución de la disponibilidad de yuca fresca entre usos alternativos en regiones en desarrollo: 2000

Distribución de la oferta de yuca fresca	América Latina		África		Asia		Regiones en desarrollo		Colombia	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
Oferta interna total (millones tm.)	31.4	100.0	97.4	100.0	38.7	100.0	179.2	100.0	1.9	100.0
Utilización:										
• Consumo humano directo	12.1	38.5	62.2	63.9	24.5	63.2	98.9	55.1	1.5	79.8
• Alimentación animal	14.3	45.5	16.4	16.8	3.9	10.0	46.0	25.7	0.1	7.7
• Manufactura de alimentos	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	3.7	1.4	0.8	0.0	0.0
• Otros usos	1.6	5.6	1.0	1.0	4.7	12.2	7.5	4.2	0.2	9.6
• Pérdidas	3.4	10.8	17.8	18.3	4.2	10.9	25.4	14.2	0.1	2.9

Fuente: Cálculos basados en cifras de FAO (2003)

región de Huila – Tolima, en donde se ha detectado que ésta plaga causa un significativo daño económico.

Cuadro 4 Producción de yuca en América Latina Tropical 1980 - 2001

País /Región	1980-1989	1990-1999	2000-2001	2000-2001	
	000 tm.			Participación en el total (%)	Producción/habitante (kg.)
Brasil	23282	22058	22929	73.3	134
Paraguay	2901	2975	3144	10.0	565
Colombia	1555	1779	1886	6.0	44
Centroamérica	160	248	280	0.9	8
Caribe	560	695	831	2.7	25
América Latina Tropical	29776	29160	31287	100.0	68

Fuente: Cálculos basados en cifras de FAO (2003)

Cuadro 5 Producción, precios y valor de la producción de yuca según zonas productoras en Colombia, 2002

Zonas productoras	Producción (000 tm.)		Precio al productor (US\$/tm) 1/	Valor de la producción (US\$ millones)	
	Volumen	%		Total	%
Costa Norte	918.9	41.5	129.9	119.4	27.6
Santanderes	324.0	14.6	253.3	82.1	19.0
Llanos Orientales	285.2	12.9	240.8	68.7	15.9
Cauca - Valle	97.4	4.4	196.1	19.1	4.4
Huila - Tolima	62.7	2.8	246.5	15.5	3.6
Eje Cafetero	48.9	2.2	267.3	13.1	3.0
Otras zonas	477.9	21.6	240.8	115.1	26.6
Total Colombia	2215.0	100.0	195.4	432.8	100.0

1/ Precios en US\$ de 2000

Fuente:

3. El barrenador del tallo (*C. clarkei*) y su importancia económica

Se trata de una plaga de la yuca que ha sido poco estudiada en el país y solo en años recientes se ha hecho un esfuerzo sistemático, por entender su naturaleza y evaluar su impacto sobre la producción. Los estudios recientes sobre la biología y el comportamiento de *C. clarkei*, han

resultado de importancia crítica para definir las estrategias de control y los planes de investigación para su erradicación.

Cuadro 6 Evolución de la avicultura y porcicultura en Colombia
Tasas anuales de crecimiento (%)

Sector productivo	1980 -1989	1990 -1999	1980 - 2002
Avicultura			
Producción de carne	11.5	4.2	8.2
Producción de huevos	3.5	3.6	3.8
Inventario de aves	5.9	5.3	6.7
Porcicultura			
Producción de carne	3.3	-4.5	-0.1
Inventario de cerdos	2.8	-0.4	0.3

Fuente: Cálculos basados en cifras de FAO (2003)

El barrenador es un insecto que perfora los tallos, construyendo galerías (túneles) en los que pasa la mayor parte de su ciclo de vida, de ésta característica se deriva el nombre de barrenador del tallo de la yuca (Löhr, 1983).

Según López (1996), una infestación del 41%, se considera alta, ya que la plaga destruye todas las estructuras internas y lleva la planta al colapso. Existen evidencias de que plantas atacadas, con más del 35% de tallos partidos, presentan reducciones en rendimiento de raíces del orden del 45 - 62% (Löhr, 1983).

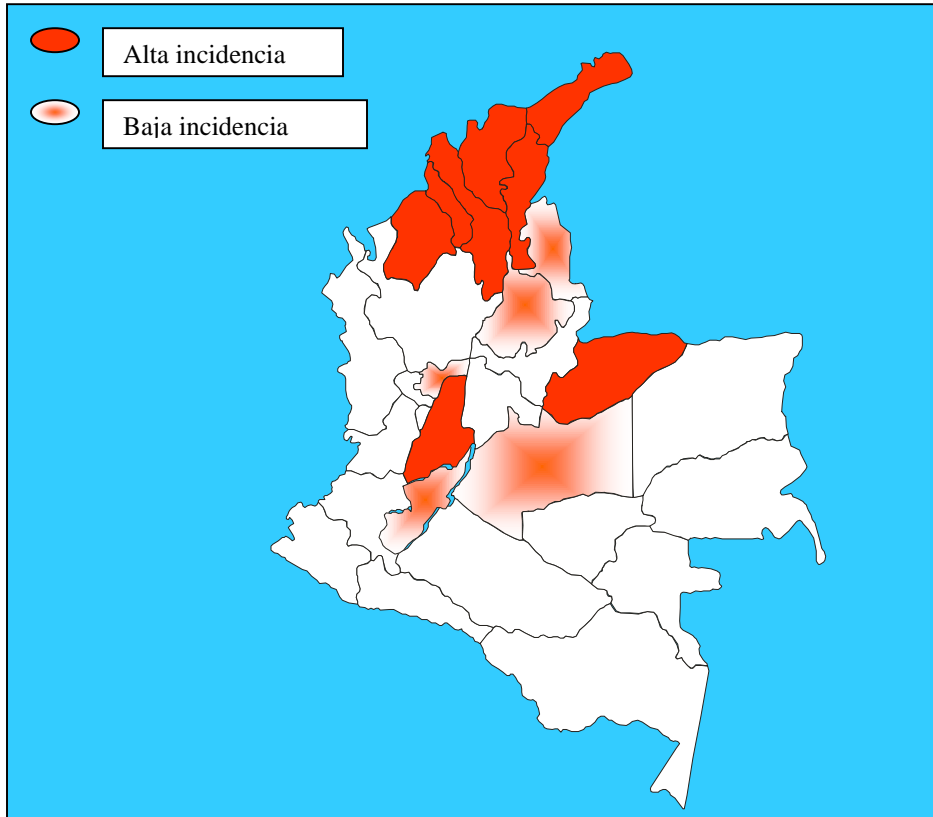
En muchas regiones de Colombia existe la práctica generalizada de que los productores producen e intercambian semilla con otros agricultores. La consecuencia directa de ésta costumbre es la rápida difusión de la plaga a través de grandes extensiones geográficas.

En Colombia las principales zonas afectadas son la Costa Norte, los Llanos Orientales y el área de Huila – Tolima. Los departamentos en donde la intensidad de los ataques es mayor son: Guajira, Cesar, Magdalena, Atlántico, Sucre, Bolívar, Córdoba, Tolima, Arauca y Casanare (Figura 2).

Se han registrado ataques de menor intensidad en los Santanderes, Meta y Huila. Es latente la preocupación de que la gravedad del problema del barrenador y su daño económico se hayan subestimado, y que actualmente se estén expandiendo muy rápidamente en áreas que se consideran con baja incidencia o libres del flagelo.

En América Latina Tropical se ha detectado la plaga en los Llanos venezolanos, el Sur de Brasil y el Norte de Argentina.

Figura 2. **Distribución e incidencia del barrenador del tallo, *C. clarkei*, en Colombia, según regiones geográficas**



Fuente: CIAT, Proyecto de Yuca

4. **Evaluación del impacto económico potencial del uso de variedades transgénicas resistentes al barrenador**

4.1 El Modelo de Evaluación

En este trabajo se utiliza el Modelo Dinámico de Evaluación de la Investigación, DREAM por sus siglas en inglés, desarrollado por Wood & Baixt (1998). Está basado en la teoría clásica de excedentes económicos, a productores y consumidores. Es un modelo muy similar a MODEXC, implementado por Rivas, et al 1999. Se utiliza DREAM por las facilidades que ofrece para regionalizar los mercados y porque estudios previos para evaluar nuevas tecnologías de yuca, utilizaron este modelo, lo cual permite establecer comparaciones sobre una misma base analítica, de los resultados obtenidos.

Para cada región bajo análisis el modelo define su mercado a través de funciones lineales de oferta y demanda, tal como se plantea en (1) y (2).

$$(1) \quad Q_{it} = \alpha_{i0} + \beta_{i0}K_{it} + \beta_{i0}PP_{it}$$

$$(2) \quad C_{it} = \gamma_{i0} + \delta_{i0}PC_{it}$$

donde:

Q_{it} cantidad producida por la región i en el período t

C_{it} cantidad consumida en la región i en el período t

PP_{it} precio promedio recibido por los productores en la región i en el período t

PC_{it} precio promedio pagado por el consumidor en la región i en el período t

K_{it} Factor de desplazamiento de la función de oferta debido a la adopción tecnológica en la región i en el período t

Los otros parámetros del sistema de ecuaciones se definen así:

$$(3) \quad \beta_{i0} = \varepsilon_{i0} Q_{i0} / PP_{i0}$$

$$(4) \quad \alpha_{i0} = (1 - \varepsilon_{i0}) Q_{i0}$$

$$(5) \quad \delta_{i0} = \eta_{i0} C_{i0} / PC_{i0}$$

$$(6) \quad \gamma_{i0} = (1 - \eta_{i0}) C_{i0}$$

El suscrito cero, se refiere a los valores observados en el período inicial de la evaluación.

ε_{i0} es la elasticidad precio de oferta en la región i

η_{i0} es la elasticidad precio de demanda en la región i

La función tecnológica se define como : $K_{it} = c_i A_{it} PP_{i0}$, en la cual :

c_i corresponde a la reducción porcentual de costos en la región i debido a la adopción de la tecnología mejorada.

A_{it} es la proporción de productores que adopta la nueva tecnología

En la aplicación del modelo se considera un total de 7 regiones productoras de yuca en Colombia, y una demanda agregada total para el país en su conjunto.

De las regiones consideradas, solo en tres de ellas: Costa Norte, Llanos Orientales y Huila – Tolima, el barrenador causa daño de importancia económica y en consecuencia, se espera que en ellas las nuevas variedades transgénicas tengan una amplia adopción.

En las restantes regiones del país se asume que no habrá adopción, pero como los mercados de las diferentes áreas productoras están interconectados, los cambios en productividad, costos y producción que se originen en las regiones que adoptan la nueva tecnología, en definitiva tendrán repercusiones sobre todas las regiones participantes en el mercado global nacional.

Para efectuar las estimaciones de los beneficios tecnológicos, el modelo requiere dos tipos de información básica. Una de naturaleza técnica referida a la probabilidad de éxito en el proceso de investigación y diseño de la nueva tecnología, la intensidad de uso de los nuevos materiales, en términos de proporción de áreas afectadas o de productores adoptadores, la duración de la difusión y el tiempo necesario para que la tecnología esté disponible para los agricultores.

La otra información requerida es de tipo económico y tiene que ver con la magnitud de la reducción de los costos de producción unitarios, ligados al empleo de las nuevas variedades, los precios y cantidades de equilibrio en los mercados evaluados y los parámetros que definen la naturaleza de los mismos, tales como elasticidades precio de oferta y demanda.

4.2 Información técnica y económica empleada

El desarrollo y adopción de variedades resistentes al barrenador del tallo tiene implicaciones directas sobre la estabilidad y el nivel de los rendimientos del cultivo y sobre los costos por tonelada de yuca producida.

El punto de partida de la evaluación económica es la identificación de las estructuras de costos de las tecnologías tradicionales empleadas en las diferentes regiones del país, y los cambios que ocurren en esas estructuras, cuando se adoptan las nuevas variedades transgénicas.

Como la información disponible muestra que esta plaga solo tiene importancia económica en tres áreas yuqueras de Colombia: Costa Norte, Llanos Orientales y Huila – Tolima, la presente evaluación se circunscribe a esas áreas geográficas. En el Cuadro 7, se resume la información referente a los costos de producción, con las variedades actuales y con la variedad resistente.

Se detectan grandes diferencias, en términos de costos de producción, entre las regiones bajo evaluación. En los Llanos Orientales las prácticas de enclavamiento, debido a la acidez de los suelos, incrementan considerablemente los costos totales de producción. Esto no ocurre en las otras regiones, ya que no es necesaria la utilización de este insumo. De manera opuesta, los costos de control de plagas y enfermedades en los Llanos, son bajos en comparación con los que se observan en la Costa Norte y en Huila – Tolima.

No se observan diferencias muy grandes en los costos de preparación. El uso de las variedades transgénicas implica, mayores costos de semilla, y

de cosecha y rendimientos más altos y estables. Dado que la yuca tradicionalmente se cosecha a mano, los altos rendimientos de las nuevas variedades, ocasionan un incremento del número de jornales en las labores de cosecha.

Se estima que el uso de tecnologías con resistencia a barrenador del tallo reducirán los costos por tonelada de yuca fresca en 18.7% en la Costa Norte, 9.4% en los Llanos Orientales y 6.3% en la zona Huila – Tolima (Cuadro 7).

Para efectos de comparación, se incluyen estimativos del impacto potencial de diferentes alternativas tecnológicas de producción de yuca en Colombia, expresados como una reducción porcentual de los costos por tonelada de producto (Cuadro 8).

La información económica que caracteriza a los mercados de yuca del país se incluye en el Cuadro 9. Los parámetros técnicos referidos a la adopción de la tecnología bajo evaluación, se presentan en el Cuadro 10. Con ésta información técnica y económica, se simula un escenario en donde el proceso de difusión tecnológica cubre un período de 10 años y la evaluación 15 años.

4.3 Resultados

Los beneficios tecnológicos de la adopción de variedades transgénicas de yuca resistentes al barrenador del tallo se expresan en términos de beneficios a productores y consumidores, los cuales en la terminología económica se conocen como excedentes económicos.

El valor presente de los beneficios se estimó en US\$ 175.4 millones, de los cuales el 55% (US\$ 96.3 millones) los reciben los consumidores y el 45% (US \$79.1 millones) es capturado por los productores adoptadores (Cuadro 11).

Los beneficios económicos totales estimados, equivalen un flujo anual durante 15 años de casi US\$ 17 millones, que supera ampliamente a las inversiones anuales para desarrollar esta clase de tecnología.

Las ganancias económicas recibidos por los consumidores se originan en la baja de los precios, inducida por los adelantos en productividad, que implican mayor producción total y por hectárea y menores costos por tonelada producida. Los beneficios tecnológicos netos de los productores, están representadas por las ganancias en productividad, descontando las pérdidas que afrontan por la reducción de los precios en el mercado.

Bajo éstas circunstancias, en donde todas las regiones productoras están interrelacionadas, la adopción de tecnologías resistentes al barrenador induce bajas en los precios en todas las áreas productoras, por lo cual los productores ubicados en zonas donde no es necesario la adopción de ésta clase de tecnologías, al no incrementar sus niveles de productividad, pierden competitividad y sus beneficios disminuyen.

En el presente caso los beneficios se concentran en las tres regiones adoptadoras: Costa Norte (US\$ 90.7 millones), Llanos Orientales (US\$ 25 millones) y Huila – Tolima (US\$ 2.9 millones).

Las otras regiones (Cauca - Valle, Santanderes, Eje Cafetero, etc), en conjunto reducen sus beneficios en US\$ 39.4 millones.

Se evidencia que los procesos de cambio tecnológico, una vez que se desencadenan pueden ser muy dinámicos y sin solución de continuidad en el tiempo. Las regiones que no adoptan una tecnología específica, precisan efectuar algún tipo de cambio técnico, que les permita conservar su posición competitiva en el mercado, o de lo contrario en el largo plazo tienden a desaparecer.

El caso de arroz en Colombia es útil para corroborar lo anterior. Históricamente el desarrollo tecnológico en este cultivo enfatizó en nuevas tecnologías para los sistemas de riego, los cuales capturaron todos los beneficios de la adopción. El sistema de secano, que aportaba un muy alto porcentaje de la producción en las décadas del 50 y 60, al mantener sus técnicas de producción tradicionales, como resultado de la falta de oferta tecnológica, perdió competitividad y en la actualidad su participación es muy marginal en la industria arrocera nacional. (Véase Rivas L., 2001).

Desde el punto de vista del diseño de estrategias de investigación, es importante mantener un portafolio muy variado de opciones tecnológicas, que permita atender una gama muy amplia de demandas, dada la heterogeneidad de los ambientes en donde se cultiva yuca en el país y en las regiones tropicales en general.

El Cuadro 11 muestra el panorama de beneficios potenciales atribuibles a diversas alternativas tecnológicas, que pueden emplearse en distintas regiones de Colombia y que permitirán mejorar la competitividad de la producción nacional de yuca en las próximas décadas.

Se concluye que dada la magnitud actual del problema del barrenador en la Costa Norte del país, las variedades que ofrezcan resistencia a ésta plaga tendrían un alto beneficio potencial, superior al de alternativas

**Cuadro 7. Costos para diferentes tecnologías en regiones productoras de yuca en Colombia
2002 (US\$/tm/ha) 1/**

Clase de costo	Costa Norte		Llanos Orientales		Huila - Tolima	
	Clase de tecnología:		Clase de tecnología:		Clase de tecnología:	
	Tradicional	Transgénica con resistencia a barrenador	Tradicional	Transgénica con resistencia a barrenador	Tradicional	Transgénica con resistencia a barrenador
Preparación del terreno	59.6	59.6	51.6	51.6	43.7	43.7
Semilla y siembra	59.6	79.4	105.0	124.8	92.1	112.0
Control de malezas	69.5	69.5	79.7	79.7	103.2	103.2
Encalamiento y fertilización	42.1	42.1	198.2	198.2	74.1	74.1
Control de plagas y enfermedades	28.6	28.6	4.7	4.7	29.0	29.0
Cosecha manual	238.2	383.1	211.5	256.6	246.2	309.7
Total costos directos	497.5	662.2	650.7	715.5	588.2	671.6
Total costos indirectos 2/	152.1	186.7	215.3	225.6	222.8	240.3
Costos totales	649.6	849.0	865.9	941.1	811.0	911.9
Rendimiento (tm/ha.)	24.0	38.6	20.0	24.0	25.0	30.0
Costo total/tm	27.1	22.0	43.3	39.2	42.4	30.4
Reducción del costo/ha (%)	18.7		9.4		6.3	

1/ Tasa de cambio: \$col 2518.7

2/ Incluye costos financieros, administrativos y de alquiler de la tierra.

Fuente: Cálculos basados en cifras recopiladas por el Proyecto de Yuca del CIAT.

como variedades de alto rendimiento, materiales resistentes a herbicidas o la mecanización de la siembra y la cosecha.

Cuadro 8 Reducción estimada de costos de producción de yuca de las tecnologías mejoradas versus las tradicionales en Colombia
(%)

Región	Variedades de altos rendimientos	Variedades resistentes a herbicidas	Mecanización de siembra y cosecha	Variedades transgénicas resistentes a barrenador
Costa Norte	17.9	15.6	19.6	18.7
Llanos Orientales	25.1	20.8	20.2	9.4
Eje Cafetero	24.4	21.9	0.0	0.0
Cauca-Valle	16.1	22.3	21.6	0.0
Huila - Tolima	23.0	23.7	23.7	6.3
Santanderes	24.7	25.5	33.5	0.0
Otras regiones	0.0	0.0	0.0	0.0
Colombia	16.2	15.0	17.3	9.1

Fuente: Pachico et al (2001) y este estudio.

Cuadro 9 Información Económica utilizada en el modelo de evaluación

Región	Cantidad de Equilibrio 000 tm.	Precio de equilibrio US\$/tm,	Elasticidad precio		Tasa autónoma de crecimiento (%)	
			Oferta	Demanda	Oferta	Demanda
Costa Norte	918.9	129.9	0.5	-	2.0	-
Llanos Orientales	285.2	240.8	0.5	-	2.0	-
Eje Cafetero	48.9	267.3	0.5	-	2.0	-
Cauca-Valle	97.4	196.1	0.5	-	2.0	-
Huila - Tolima	62.7	246.5	0.5	-	2.0	-
Santanderes	324.0	253.3	0.5	-	2.0	-
Otras regiones	477.0	240.8	0.5	-	1.0	-
Colombia	2215.0	195.4	0.5	-0.64	1.8	2.0

Fuente: Pachico et al. (2001) y este estudio.

Cuadro 10 Parámetros técnicos utilizados en el modelo de evaluación

Parámetros técnicos	Nivel
Periodo de evaluación (años)	10
Tiempo de difusión (años)	15
Porcentaje máximo de adopción (%)	80
Probabilidad de éxito de la investigación	1
Tiempo de rezago de la investigación (años)	1
Porcentaje de reducción de costos con respecto a la tecnología tradicional: (%)	
Costa Norte	18.7
Llanos Orientales	9.4
Huila - Tolima	6.3

Pachico et al (2001) y este estudio

Cuadro 11 Valor presente estimado de los beneficios del uso de variedades transgénicas resistentes al barrenador del tallo, Colombia: 2004 - 2018

Región	Valor presente 1/ US\$ millones	Porcentaje del total %
Costa Norte	90.7	114.8
Llanos Orientales	25.0	31.6
Eje Cafetero	-2.1	-2.7
Cauca-Valle	-4.2	-5.4
Huila - Tolima	2.9	3.6
Santanderes	-14.1	-17.9
Otras regiones	-19.0	-24.0
Total productores	79.1	45.1
Total Consumidores	96.3	54.9
Total Colombia	175.4	100.0

1/ Tasa de descuento: 5% anual.

Nótese que a nivel de país en conjunto las últimas alternativas señaladas superan, en términos de beneficios potenciales, a las variedades resistentes al barrenador.

Un aspecto crucial en el proceso de investigación y que tiene que ver con la magnitud del valor presente de los beneficios tecnológicos esperados, es el tiempo necesario para que los nuevos materiales estén disponibles, para ser usados por los productores. (“time lag”, como se denomina en inglés).

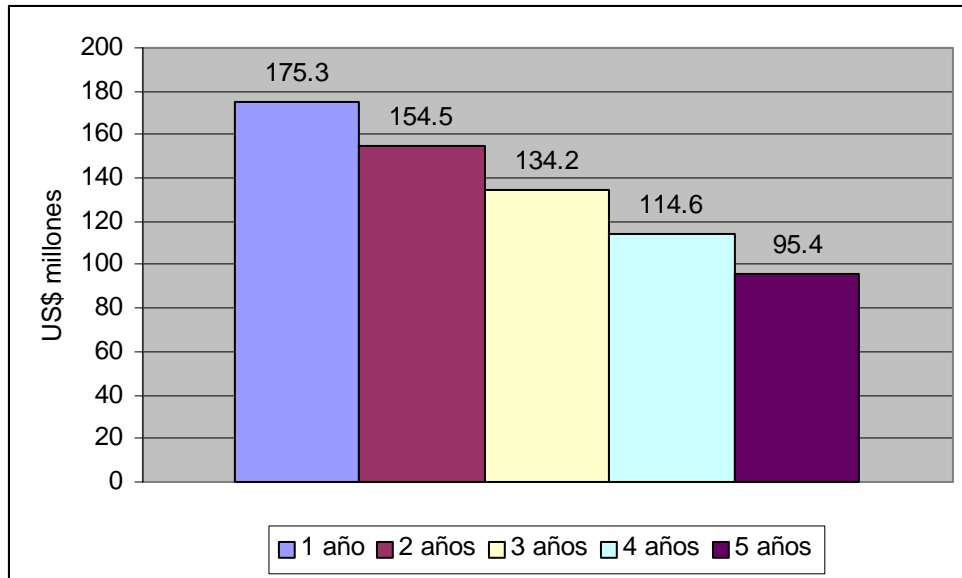
Para dar una idea del impacto que la rapidez y la eficiencia de la investigación tienen sobre los beneficios esperados por la sociedad, se efectuó un ejercicio de sensibilidad de éstos con respecto al tiempo que es necesario esperar, para tener las nuevas variedades en los campos de los agricultores. La Figura 3 ilustra la situación. Si el tiempo de espera se de 1 año el valor de los beneficios esperados es de US\$ 175 millones, pero si la espera se extiende a 5 años, los beneficios esperados se reducen en un 45%. Esto implica que un proceso de investigación bien enfocado no solo debe apuntar a la solución de problemas prioritarios, sino que esa solución debe ser rápida, para buscar la maximización de los beneficios sociales.

Cuadro 12 Valor presente estimado de los beneficios de la adopción de diversas opciones tecnológicas para el cultivo de yuca en Colombia (US\$ millones) 1/

Región	Variedades de altos rendimientos	Variedades transgénicas con resistencia a herbicidas	Mecanización de la siembra y la cosecha	Variedades transgénicas con resistencia a barrenador
Costa Norte	41.1	32.4	31.0	90.7
Llanos Orientales	61.9	49.2	29.7	25.0
Zona Cafetera	11.7	10.4	-2.1	-2.1
Cauca - Valle	8.0	14.0	8.3	-4.2
Huila - Tolima	12.5	13.3	8.4	2.9
Santanderes	73.5	78.1	70.3	-14.1
Otras regiones	-26.3	-24.4	-18.7	-19.0
Total productores	182.4	173.0	126.9	79.1
Total consumidores	133.6	123.9	94.7	96.3
Total Colombia	316.0	296.9	221.6	175.4

Fuente: Las cifras de las columnas 1 a 3 corresponden al periodo 2002-2016 y provienen de Pachico et al. (2001). Las cifras de la última columna corresponden al período 2004 – 2018 y se derivan de este estudio.

Figura 3. **Valor presente esperado de los beneficios tecnológicos de variedades resistentes a barrenador, según tiempo de rezago de la investigación**



Lo anterior pone una vez más de presente la importancia de un adecuado y seguro flujo de financiación de la investigación, para mantener y diversificar permanentemente la oferta tecnológica.

5. Conclusiones

Este trabajo resalta la importancia económica del cultivo de la yuca en las regiones tropicales del mundo en donde a las raíces, frescas o con algún grado de procesamiento, se les da diversos usos: alimentación humana, elaboración de productos industriales y como materia prima en la fabricación de alimentos concentrados para animales.

Por tratarse de un cultivo con un amplio rango de adaptación geográfica, particularmente a zonas pobres y con limitaciones edáficas y climáticas, la yuca frecuentemente representa una de las pocas alternativas productivas rentables para los agricultores de más bajos recursos.

Analizando las tendencias de la producción yuquera en las áreas en desarrollo en conjunto, se concluye que la principal fuerza que impulsa la producción es el incremento de las superficies sembradas, en tanto que la productividad ha jugado un papel secundario en la expansión del cultivo.

El crecimiento de la producción avícola a través del cambio técnico es un fenómeno, que se ha observado y documentado en América Latina en general y en Colombia en particular (Véase entre otros a Rivas, et al, 1989).

Se han observado cambios dramáticos en los patrones de alimentación usados por esa industria y la utilización intensiva de granos y tortas como componentes de las dietas balanceadas, lo cual ha generado una gran demanda derivada de maíz, sorgo y soya. Dado que la producción doméstica ha resultado incapaz de satisfacer las nuevas demandas, las importaciones de granos para alimentación han crecido sostenidamente en las últimas décadas. En el caso colombiano las importaciones de maíz y sorgo evolucionaron de US\$ 18 millones en 1990 a US\$ 291 en 2001.

En este contexto, la yuca surge como una alternativa promisoriosa para la sustitución de importaciones de granos, el ahorro de divisas y el empleo de recursos abundantes en el país, como mano de obra y en menor medida tierra.

Sin embargo, para que ésta posibilidad se convierta en una realidad tangible, es preciso que la yuca producida internamente sea capaz de competir, por costos y calidad, con los granos, para tener la posibilidad de sustituirlos en algún grado en las dietas para animales.

Dentro de ésta perspectiva el Programa de Yuca del CIAT y más recientemente CLAYUCA (Consortio Latinoamericano para la Producción de Yuca), están trabajando para desarrollar nuevas tecnologías de producción y procesamiento de yuca, que permitan mejorar la productividad y competitividad del cultivo.

Diversas opciones tecnológicas se han desarrollado o están en proceso de diseño: Variedades de altos rendimientos, materiales transgénicos con resistencia a herbicidas, mecanización de la siembra y la cosecha. Actualmente se trabaja en la obtención de variedades transgénicas resistentes al barrenador del tallo (*Chilomima clarkei*), un insecto que taladra los tallos de la planta, se aloja en su interior y causa severas mermas en la productividad del cultivo.

En este trabajo se evalúa el impacto económico potencial del uso de variedades resistentes al barrenador en tres regiones productoras del

país, en donde este problema tiene importancia económica: Costa Norte, Llanos Orientales y Huila – Tolima.

Se utiliza el modelo de evaluación DREAM para estimar los beneficios potenciales que recibiría la sociedad por invertir recursos en el diseño y adopción de variedades de yuca con resistencia al barrenador.

El valor presente de los beneficios esperados en un lapso de 15 años se estimó en US\$ 175 millones, de los cuales el 55% lo capturarán los consumidores y el 45% los productores.

La Costa Norte recibiría el mayor beneficio, en razón de que es la región más importante de Colombia por su aporte a la producción total y porque en ella el problema de barrenador es más agudo. Se estima que en ésta región, los beneficios al productor derivados del uso de materiales resistentes a barrenador, triplicarían a los que se obtendrían con la mecanización de la siembra y la cosecha o con el empleo de materiales resistentes a herbicidas.

Valor presente de los beneficios potenciales de diversas opciones tecnológicas en la Costa Norte de Colombia (US\$ millones)

Región	Variedades de alto rendimiento	Variedades resistentes a herbicidas	Mecanización de siembra y cosecha	Variedades transgénicas resistentes a barrenador
Costa Norte	US\$ millones			
	41.1	32.4	31.0	90.7

Los resultados obtenidos muestran que cuando se desencadenan procesos de cambio técnico, que afectan la productividad y la competitividad en las regiones adoptadoras, esto tiene implicaciones negativas sobre las que no adoptan, dado que varían los niveles de competitividad relativa. Para sobrevivir, a mediano y largo plazo, éstas últimas tendrán que introducir mejoras técnicas, para recuperar su competitividad y conservar su posición en el mercado.

El análisis de sensibilidad de los beneficios esperados, con respecto al tiempo de rezago de la investigación, muestra claramente que para el diseño de planes y programas de investigación, se deben priorizar adecuadamente los problemas, para enfocar el trabajo en los más pertinentes, pero que además las soluciones a los mismos, deben llegar rápidamente a nivel de finca, porque los retrasos en el desarrollo de los programas, deteriora considerablemente los beneficios esperados por la

sociedad. El tema de la financiación de la investigación en este aspecto es crítico, dado que se requiere un flujo adecuado y estable de recursos financieros, que permita encontrar soluciones pertinentes, prontas, eficaces y con alto impacto potencial.

Referencias

FAO (2003). Base de datos Faostat.

Lohr, Bernard (1983). Biología, ecología, daño económico y control de *Chilomima clarkei* barrenador de la yuca. En: Reyes, Jesús. *Yuca: Control Integrado de Plagas*. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. p. 159 – 161.

Pachico D., Z. Escobar, L. Rivas, V. Gottret and S. Pérez (2001). Income Employment Effects of Transgenic Herbicide Resistant: Cassava in Colombia in: Impact Assessment, Annual Report 2001, CIAT, Cali, Colombia.

Pérez Salomón (2001). Análisis de la competitividad en la producción de yuca en Colombia, tesis de economista, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Ramírez Carolina (2002). Aportes al estudio de la biología , comportamiento y distribución del barrenador del tallo de la yuca, *Chilomima clarkei* A. (Lepidoptera: Pyralidae) en el Departamento del Tolima. Tesis de grado, Ibagué, Colombia.

Rivas Libardo (2001). Evaluación del Impacto Económico Ex – post del Cambio Técnico: Forrajes y Arroz en la Amazonia & Orinoquia de Colombia. Convenio de Cooperación Técnica y Científica MADR – CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Proyecto de Evaluación de Impacto, Cali, Colombia, Noviembre.

Rivas Libardo, Carlos Seré, Luís Roberto Sanint y José Luís Cordeu (1989). La Demanda de Carnes en Países seleccionados de América Latina y el Caribe, Proyecto Colaborativo FAO – RLAC/ CIAT, Cali, Colombia, Marzo.

Rivas Libardo, James A. García, Carlos Seré, Lovell S. Jarvis, Luís R. Sanint and Douglas Pachico (1999). Economic Surplus Analysis Model (MODEXC): A Friendly Computer Model. Release 4.1, CIAT, Impact Assessment Project, Cali, Colombia, January.

Wood Stanley and Wilfred Baitx (1998). DREAM: Manual para el usuario, IICA, IFPRI, CIAT, San José, Costa Rica.