
CULTIVOS ILÍCITOS Y ERRADICACIÓN FORZOSA EN COLOMBIA

Carlos Eduardo Vargas Manrique*

Resumen

Vargas M., Carlos E., "Cultivos ilícitos y erradicación forzosa en Colombia", *Cuadernos de Economía*, v. XLIII, n. 41, Bogotá, 2004, páginas 109-141

Colombia es el único país de la región Andina que emplea la fumigación para reducir el ritmo de crecimiento de los cultivos ilícitos. Este artículo explora la conducta de los cultivadores en el tiempo, frente a un evento aleatorio de fumigación, utilizando las herramientas del control óptimo para maximizar sus beneficios, e incorporando al análisis la probabilidad de erradicación. Se encuentra que la erradicación puede generar efectos no previstos sobre la dinámica de los cultivos que tienden a reducir el ritmo de extracción de las cosechas, y a acelerar el crecimiento en el tiempo del área cultivada.

Palabras clave: comportamiento ilegal, cultivos ilícitos, técnicas de optimización, erradicación. **JEL:** K40, C61, K57.

* Magíster en Economía de la Universidad de los Andes. Consultor de la Dirección de Desarrollo Urbano y Política Ambiental del Departamento Nacional de Planeación. El autor agradece los comentarios de Giampiero Renzoni, Gelkha Buitrago y Javier Rozo, y del profesor Álvaro Moreno. Enviar los comentarios al correo: cevargas@dnpp.gov.co. Artículo recibido el 29 de julio de 2004 y aprobado el 2 de noviembre del mismo año.

Abstract

Vargas M., Carlos E., "Growing illicit crops and their forced eradication in Colombia", *Cuadernos de Economía*, v. XXIII, n. 41, Bogotá, 2004, pages 109-141

Colombia is the sole country in the Andean region employing fumigation for hampering the rhythm of illicit crops' growth. This article explores cultivators' behaviour regarding a random fumigation event, using optimum control tools for maximising their benefits and incorporating the probability of eradication into such analysis. We show that eradication could generate unforeseen effects regarding crop dynamics, tending to reduce harvesting rhythm and accelerate the growth of the area being cultivated.

Key words: illegal behaviour, illicit crops, optimisation techniques, eradication. **JEL:** K40, C61, K57.

Résumé

Vargas M., Carlos E., "Cultures illicites et éradication forcée en Colombie", *Cuadernos de Economía*, v. XXIII, n. 41, Bogotá, 2004, pages 109-141

La Colombie est le seul pays de la région Andine à employer la fumigation pour réduire le rythme de croissance des cultures illicites et contrôler la production de drogues illégales. Cet article explore la conduite sur le long terme des cultivateurs, face à un événement aléatoire de fumigation, qui utilisent les outils du contrôle optimal afin de maximiser leurs bénéfices, en incorporant à l'analyse la possibilité d'éradication. Nous démontrons que l'éradication peut produire des effets non prévus sur la dynamique des cultures qui tendent à réduire le rythme d'extraction des récoltes, et à accélérer la croissance dans le temps de la surface cultivée.

Mots clés: comportement illégal, cultures illicites, techniques d'optimisation, éradication. **JEL:** K40, C61, K57.

Colombia es el único país de la región andina que utiliza la aspersión de químicos para reducir el ritmo de crecimiento de los cultivos ilícitos, y controlar la oferta de drogas naturales. La erradicación forzosa desde más de dos décadas, se ha constituido en un componente fundamental de la política de lucha contra el narcotráfico¹. La reciente reducción de 76.989 hectáreas de hoja de coca en el período 2000-2003 [DNE 2003], y la caída secular del área cultivada de amapola desde 1992, muestran ciertos indicios de la efectividad de la estrategia². Sin embargo, este resultado no es una evidencia contundente para esperar la eficacia de la política en el largo plazo, ni tampoco para garantizar que la erradicación contribuya a revertir definitivamente la tendencia expansiva de los cultivos ilícitos en el país, como se muestra a lo largo del análisis.

Desde el punto de vista microeconómico, la erradicación forzosa genera un *efecto disuasivo* sobre los productores que incide directamente sobre la extracción de las cosechas³, elevando los costos de instalación y sostenimiento

-
- 1 A partir de 1998, la política de lucha contra el narcotráfico se articuló con base en tres componentes: la erradicación forzosa, la interdicción sistemática a la cadena productiva, y los programas de desarrollo alternativo. El actual gobierno ha implementado una estrategia similar en el marco de la política de Seguridad Democrática con el fin de recuperar las zonas de conflicto. La estrategia se concentra en el estímulo de proyectos productivos y de generación de ingresos, desarrollo de infraestructura física y social en las áreas más vulnerables, fortalecimiento institucional y comunitario, y vinculación de los programas de desarrollo y paz. Iniciativas que se articulan a la estrategia integral de combate a las drogas ilícitas, donde se le ha otorgado mayor énfasis a la erradicación forzosa y a la interdicción de la cadena productiva del narcotráfico [DNP 2003].
 - 2 Entre 1992 y 2002, los cultivos de amapola en el país se han reducido aproximadamente 9.744 hectáreas.
 - 3 Para el caso particular del análisis, el producto de la recolección de los cultivos ilícitos se expresará en hoja de coca recolectada por cosecha. Se menciona, pero no se tiene en cuenta para el análisis, el comportamiento de la extracción del látex de los cultivos de amapola.

de los cultivos, y estimulando labores de zoqueo y resiembra. Esta situación junto con las pérdidas por defoliación de las plantas tiende a alterar la decisión de los cultivadores para establecer nuevas siembras o continuar invirtiendo recursos en la instalación de los cultivos ilícitos. Sin embargo, la fumigación no sólo afecta el curso de las decisiones de los productores en términos de costos, puede también llegar a influir en los precios de la base de coca y, como consecuencia, inducir la expansión de mayores hectáreas de cultivos.

A partir de estas ideas, el presente documento realiza un esfuerzo por explicar la conducta de los productores-cultivadores en el transcurso del tiempo, frente a un evento aleatorio de fumigación. Para esta finalidad, se hace un análisis de control óptimo que busca maximizar intertemporalmente los beneficios de los cultivadores, incorporando al análisis la probabilidad de la erradicación, y sus efectos dinámicos sobre la tasa de extracción de las cosechas y el *stock* de hectáreas cultivadas.

El análisis dinámico muestra que frente a un *shock* exógeno de erradicación forzosa se pueden producir dos efectos alternativos: (i) una erradicación eficaz, que estimula la reducción permanente de las hectáreas cultivadas y del ritmo de extracción de las cosechas, y (ii) una erradicación ineficaz, capaz de promover una caída permanente de la tasa de extracción, pero acompañada por un crecimiento en el tiempo de las hectáreas cultivadas. Estos efectos están en función del grado de efectividad que logre la fumigación sobre los cultivos. Como consecuencia, la erradicación forzosa puede generar efectos no esperados sobre la dinámica de los cultivos ilícitos, tales como reducir el proceso de recolección de las cosechas y estimular la apertura progresiva de nuevas hectáreas. Efecto que —se presume— está ocurriendo con la producción de hoja de coca en Perú y Bolivia por la migración geográfica de los cultivos desde Colombia.

El artículo tiene cuatro partes. La primera comprende un breve análisis de la evolución de la estrategia de erradicación forzosa en Colombia. La segunda parte muestra algunos hechos estilizados que describen el estrecho vínculo entre erradicación, área cultivada y precios de la base de coca. La tercera, presenta un modelo que optimiza los beneficios de los productores-cultivadores en el tiempo, simulando el grado de efectividad de la erradicación sobre la economía de los cultivos ilícitos ante un evento aleatorio de fumigación. Y para terminar, las principales conclusiones del análisis.

EVOLUCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE ERRADICACIÓN FORZOSA

La política de erradicación de cultivos ilícitos en Colombia se ha trazado con el propósito de combatir la primera fase de producción de las drogas y reducir la oferta de narcóticos, principalmente a través de la fumigación y destrucción de las áreas sembradas. Desde hace más de dos décadas, la erradicación se ha constituido en el principal objetivo de las estrategias antidrogas para reducir el consumo de sustancias psicoactivas por la vía del control a la oferta y la producción, sin embargo, el impacto de la política no ha causado necesariamente una reducción definitiva de las hectáreas sembradas. Por el contrario, la estrategia de erradicación de los cultivos ilícitos históricamente ha producido una caída transitoria del área cultivada, una posterior recuperación –resiembra– o un desplazamiento geográfico de los cultivos en el territorio nacional o fuera de él, garantizando una eficiente provisión a la demanda externa⁴.

Las medidas de erradicación forzosa han evolucionado conforme a la profundización del fenómeno del narcotráfico, y a las exigencias de los países consumidores para que se ejerza control punitivo sobre los centros de producción y distribución de drogas. La persistencia de la estrategia de fumigación ha variado de acuerdo con el enfoque y las prioridades de política de los gobiernos colombianos, privilegiando algunas veces medidas de control y prevención a las fases intermedias del narcotráfico, tales como la interdicción y la extradición por vía administrativa, sobre los procedimientos de erradicación forzosa para combatir la fase inicial de la producción de narcóticos.

De las medidas de aspersión aérea a la política de erradicación forzosa

La erradicación forzosa es un procedimiento que ha empleado el gobierno colombiano para destruir los cultivos ilícitos y prevenir su expansión. Este procedimiento consiste en esparcir dosis adecuadas de un herbicida sobre el follaje del cultivo con la finalidad que el ingrediente activo penetre en las hojas de la planta, afecte sus partes vitales, y ocasione su muerte prematura. La erradicación se ha fundamentado en la detección y aspersión aérea de los

4 Perú y Bolivia son los principales productores de hoja de coca en la región Andina después de Colombia.

cultivos ilícitos, no obstante, también se han implementado operativos de fumigación terrestre y destrucción manual de las plantaciones⁵.

La erradicación por aspersión se inició a finales de los años setenta para combatir la aparición y el rápido crecimiento de los cultivos de marihuana en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta [Vargas 1999]. Durante este período, la presión puesta en la estrategia de erradicación con herbicidas en México y en el sur de Estados Unidos propició un desplazamiento geográfico de los cultivos de marihuana a la región norte de Colombia. Con el objeto de frenar la expansión de los cultivos en el país, el gobierno nacional impulsó las primeras acciones de fumigación, y utilizó como principal compuesto químico el Paraquat⁶.

A raíz de las consecuencias perjudiciales del Paraquat y las graves denuncias de entidades públicas y privadas con autoridad sobre el tema, el gobierno nacional se vio obligado a cambiar el agente químico utilizado en la erradicación forzosa. Es así, como en 1984, se introdujo el glifosato⁷ inicialmente utilizado para probar su efectividad en cultivos de marihuana localizados en la región noroeste del departamento del Meta y, posteriormente, aplicado con el propósito de sustituir el herbicida Paraquat⁸.

Las primeras aspersiones oficiales con glifosato se emprendieron sobre los cultivos de marihuana ubicados en la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá. Posteriormente, durante los primeros años de gobierno del presidente Barco (1986-1990) la acelerada expansión del narcotráfico junto con la urgente necesidad de mejorar los resultados de la política, condujo a una intensificación de la fumigación sobre los cultivos de mari-

5 Los principales cultivos ilícitos establecidos en Colombia son marihuana, amapola y hoja de coca.

6 El Paraquat es medianamente efectivo en la destrucción de los cultivos, pero tiene un elevado nivel de toxicidad en animales, y un alto riesgo para la salud humana.

7 El glifosato es un químico caracterizado por una alta capacidad de destrucción de los cultivos, pero con un moderado efecto sobre la salud humana. A pesar de los cuestionamientos de las autoridades ambientales sobre los perjuicios que pudiese ocasionar la aplicación del herbicida en ecosistemas de selva tropical y de bosque andino, la administración del glifosato empezó a extenderse en las regiones con presencia de cultivos ilícitos y especialmente, fue introducido para combatir la producción de cultivos de amapola.

8 Durante el mismo período, Colombia decidió introducir el herbicida Garlón-4, con la intención de destruir mil hectáreas de marihuana. Sin embargo, su distribución a nivel local se aplazó indefinidamente por el temor de impedir legalmente su utilización, y a raíz de los efectos perjudiciales del químico sobre la salud humana [Tokatlian 2003].

huana⁹, mientras se realizaban tímidos intentos de erradicación manual a los pequeños e incipientes cultivos de hoja de coca [Tokatlian 2003]. No obstante, a juicio de los miembros del Consejo Nacional de Estupefacientes (CNE)¹⁰ nunca se aprobó dicho procedimiento de erradicación, aunque las aplicaciones continuaron realizándose de forma permanente.

En 1988, la estrategia de lucha antinarcóticos adoptó un nuevo rumbo que otorgaba un peso más importante a la extradición de nacionales a Estados Unidos y a las acciones militares para combatir las redes de producción y comercio¹¹, reduciendo a un segundo plano la erradicación forzosa. Estas medidas se adoptaron con el fin de alcanzar los resultados no logrados por la fumigación, sin embargo, a raíz del acelerado proceso de integración industrial que surgía en las diferentes etapas del narcotráfico en Colombia, los esfuerzos de las políticas nacionales fueron infructuosos para controlar de manera aislada cada uno de los eslabones de la cadena productiva.

A finales de 1991, las autoridades de antinarcóticos detectaron 2.300 hectáreas de amapola a lo largo del Macizo Colombiano, extendiendo posteriormente su incidencia a 12 departamentos del país. El anuncio de nuevos hallazgos de hectáreas sembradas alentó una fumigación de mayor intensidad con el respaldo del gobierno entrante. Una característica distintiva de esta fase, fue la iniciativa que se adoptó desde la nueva administración para emprender por cuenta propia procedimientos de erradicación forzosa sin mediar su decisión con los países afectados por el consumo de psicoactivos.

En 1994, debido al vertiginoso aumento de los cultivos de amapola, la recuperación de la producción de marihuana y la persistente expansión de los cultivos de hoja de coca (Gráfica 1), el gobierno nacional resolvió adoptar medidas tendientes a ampliar la fumigación con glifosato a nuevas hectáreas bajo cultivo¹² con la adopción del Programa de Erradicación de Cultivos

9 En 1986, se asperjaron con herbicidas 12.000 hectáreas de marihuana.

10 El CNE fue creado con el Decreto 1188 de 1974 y tiene el propósito de implementar políticas para combatir la producción, tráfico y utilización de sustancias psicoactivas. Este órgano dispone de los mecanismos más efectivos para destruir áreas bajo los cultivos ilícitos, previa autorización de las entidades de la nación encargadas de garantizar la salud de la población afectada y de la preservación del medio ambiente del país.

11 Mediante la destrucción de laboratorios, interdicción, captura y desarticulación de organizaciones criminales dedicadas al negocio del narcotráfico.

12 Consejo Nacional de Estupefacientes, Resolución 0001 de 1994.

vos Ilícitos con glifosato (PECIG)¹³. La estrategia se intensificó durante la administración Samper, bajo el nombre de “opción cero” [Jelsma 2001] buscando destruir, mediante aspersión aérea, todos los cultivos ilícitos en el territorio nacional en un plazo máximo de dos años. Para adelantar las operaciones de aspersión aérea, en el contexto de la nueva estrategia, se establecieron bases próximas a las regiones que concentraban mayores extensiones de cultivos ilícitos¹⁴, se adecuó la infraestructura aeroportuaria para utilizarla como bases estratégicas en los operativos de fumigación¹⁵ y además se probó la bondad de otros herbicidas más efectivos¹⁶.

Aunque el perfil de la estrategia contemplaba una reducción drástica de los cultivos ilícitos en el corto plazo, las repercusiones fueron más allá, no sólo las hectáreas cultivadas de hoja de coca crecieron aceleradamente, sino que también el desplazamiento de los cultivos comenzó a presionar las reservas naturales y las áreas protegidas del sur de país¹⁷. Especialmente, la expansión de la hoja de coca se concentró en los departamentos del Putumayo, extendiéndose a Caquetá, Guaviare y Meta, mientras que la Sierra Nevada de Santa Marta dejó de ser el principal centro de producción de cultivos ilícitos del país.

La consolidación de la erradicación forzosa en el marco de la Estrategia de Lucha contra el Narcotráfico se formalizó con el Plan Colombia. La meta que se fijó en ese entonces el gobierno fue una reducción en 50% de los cultivos ilícitos y el procesamiento de drogas, en un lapso de seis años. Para esta finalidad se combinaron tres estrategias: la erradicación forzosa, la interdicción sistemática y el desarrollo alternativo.

Aunque entre los años 1998 y 2000, el área cubierta con hoja de coca se duplicó; en el 2001 se produjo una leve, pero inusitada caída de 11,3% en las hectáreas cultivadas, mientras en 2002 se precipitó una reducción anual de 30% del área de hoja de coca, y en 2003 el ritmo de reducción decreció

13 El PECIG se ha caracterizado por diseñar protocolos y procedimientos técnicos que permiten prevenir y reducir impactos ambientales y sociales de las regiones fuera del alcance del programa.

14 Apiay (Meta) y Tres Esquinas (Putumayo).

15 San José del Guaviare, Neiva, Popayán, Chaparral (Tolima) y Puerto Asís (Putumayo).

16 Las extremas medidas de erradicación llevaron a aplicar además del glifosato, el imazapyr y el tebuthiron “herbicidas granulados” con una mayor incidencia sobre las áreas cultivadas.

17 Entre 1994 y 1998, el área cubierta con cultivos de hoja de coca creció 73,8% al pasar de 45 mil a 78 mil hectáreas (Gráfica 1).

solamente 15,4%¹⁸. Por su parte, el área sembrada de amapola venía experimentando un franco deterioro que comenzó a acentuarse desde 1997. Para el año 2002, la caída en el área cultivada sumaba más del 70% de lo sembrado a principios de los noventa.

El Putumayo fue el Departamento que más contribuyó a la reducción del área cultivada: aproximadamente el 40% de la variación anual nacional obedeció a la caída de las hectáreas en esta región. No obstante, Guaviare registró un importante repunte de 55,4% entre 2000 y 2002, lo que evitó una reducción más pronunciada del área cultivada.

A partir de 2002, la erradicación forzosa se constituyó en una de las estrategias más importantes para el control de la producción de narcóticos en Colombia. En el marco de estas estrategias, el plan de desarrollo del nuevo gobierno ha planteado que:

La erradicación forzosa por aspersión aérea será el elemento *disuasivo* de la política frente a la vinculación de la población en el cultivo y estará orientada a la destrucción focalizada de las áreas que concentran la producción. Esta actividad se adelantará a través de tres fases integradas: detección, aspersión y verificación [DNP 2003, 54].

Para complementar la estrategia de control a los cultivos ilícitos, el programa de desarrollo alternativo se ha propuesto consolidar los procesos de erradicación voluntaria a partir del compromiso de las comunidades vinculadas de no siembra y resiembra de ilícitos, y a través de la generación de alternativas de ingreso, empleo y valoración patrimonial, junto con el fortalecimiento institucional y de las organizaciones comunitarias [DNP 2003].

En este orden de ideas, el Gobierno ha iniciado operaciones de fumigación de manera indiscriminada, y se ha fijado como meta erradicar definitivamente 150 mil hectáreas de cultivos ilícitos en un período de cuatro años, procedimiento que se inició a partir de agosto de 2002, incrementando la frecuencia y cobertura de la fumigación tanto a cultivos denominados 'industriales', como los de 'subsistencia'. Según estadísticas de las autoridades nacionales, durante el año 2003 se han logrado fumigar más de 132 mil hectáreas de hoja de coca, mientras en 2002, se asperjaron cerca de 3.300 de amapola.

18 La cifra agregada del área cultivada con hoja de coca en Colombia fue provista por la Oficina contra las Drogas y el Delito de la Organización de Naciones Unidas (UNOCD).

La lucha por derrotar la acelerada tendencia expansiva de los cultivos ilícitos ha generado un desbalance entre la conveniencia de generar un impacto eficaz en la política, intentando mostrar resultados en el corto plazo, y la erradicación definitiva, sostenida y permanente de los cultivos ilícitos. No obstante, la erradicación forzosa *per se* no parece ser una estrategia favorable puesto que sus resultados no son completamente predecibles en el largo plazo —como se explica más adelante—.

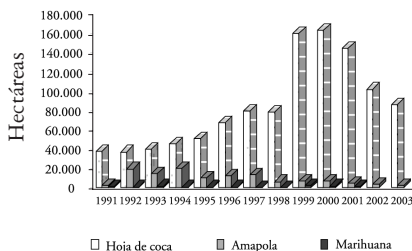
ERRADICACIÓN FORZOSA Y EXPANSIÓN DE LOS CULTIVOS ILÍCITOS

La erradicación forzosa y el aumento del área cultivada con ilícitos son dos variables que se relacionan entre sí. En esencia, la erradicación forzosa conduce a la destrucción total o parcial de los cultivos ilícitos, de acuerdo con la eficacia en su aplicación¹⁹. Sin embargo, su incidencia puede generar efectos adversos sobre la dinámica de los cultivos, estimulando una mayor expansión de las áreas sembradas.

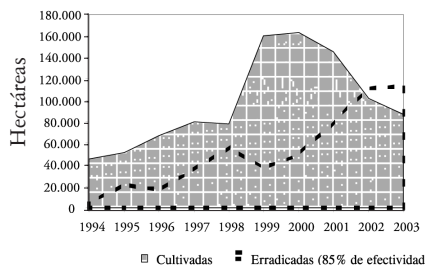
Entre 1994 y 2003 se cultivaron un poco más de 100 mil hectáreas de hoja de coca y se fumigaron cerca de 350 mil. Igualmente, durante el mismo lapso se cultivaron aproximadamente 9.300 hectáreas de amapola y se asperjaron aproximadamente cuatro veces las hectáreas establecidas. Cabe resaltar que entre 1996 y 1998, el énfasis puesto en la estrategia de erradicación condujo a fumigar 47.510 hectáreas de hoja de coca, hecho que precedió a la posterior aparición de más de 85 mil nuevas hectáreas, entre los años 1998 y 2000 (Gráficas 1 y 2).

19 Para garantizar una distribución uniforme y la eficacia de una dosis del herbicida, la aplicación de un litro de mezcla para destruir cultivos de hoja de coca, debe estar compuesto por agua (95%), glifosato (4%) y cosmoflux (1%). Este último componente es utilizado para que la dosis cubra toda la superficie de la hoja y produzca mayor penetración. Si la penetración del químico es efectiva destruirá la planta, pero el primer efecto generado es la defoliación o caída de las hojas. Según información suministrada por la Policía Antinarcoóticos, la aplicación efectiva del herbicida es aproximadamente de 23,6 lt/ha para cultivos de hoja de coca y 51,1 lt/ha para cultivos de amapola.

GRÁFICA 1
EVOLUCIÓN DE LOS CULTIVOS
ILÍCITOS EN COLOMBIA



GRÁFICA 2
ÁREA CULTIVADA Y ERRADICADA
DE HOJA DE COCA



Fuente: DNE- Proyecto Simci.

La estrategia de erradicación ha sido permanente y sostenida desde 1994. Un hecho que vale la pena mencionar, adicional al aumento constante de la erradicación, es la expansión progresiva de las hectáreas de hoja de coca, desde el momento en que se oficializaron las prácticas de fumigación (Gráfica 2). No obstante, a partir de 1999, la tendencia expansiva de los cultivos se ha revertido, mientras se ha elevado la intensidad de la erradicación forzosa. En 2003, se fumigaron 132.817 hectáreas de hoja de coca y se operó una fuerte reducción en el área cultivada, que demuestra que la estrategia ha logrado obtener resultados positivos en el corto plazo. No obstante, esta situación ha originado varios efectos, entre ellos: un incremento en los precios de la base de coca, el surgimiento de nuevos cultivos en otras áreas geográficas del país y la migración hacia otros países de tradición productora.

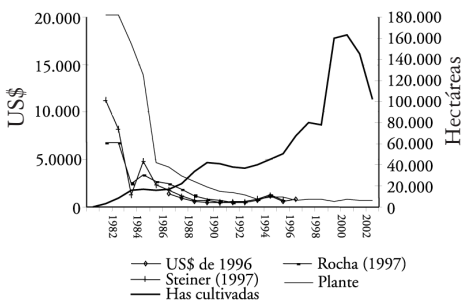
Erradicación, precios de base de coca y resiembra

La erradicación forzosa afecta el área sembrada con cultivos ilícitos a través de dos vías. En primer lugar, la repercusión inmediata es la destrucción de los arbustos de hoja de coca que incide en la reducción del área cultivada y en la disponibilidad de hoja para el procesamiento de la pasta de coca. En segundo lugar, la baja oferta de hoja de coca estimula un aumento en los precios de la base, lo que conduce a mejorar la rentabilidad de los productores y a ampliar el área cultivada. Aunque la variación de los precios estimula la apertura de nuevas hectáreas de cultivos de hoja de coca, también logra incentivar el proceso de resiembra del área inicialmente erradicada.

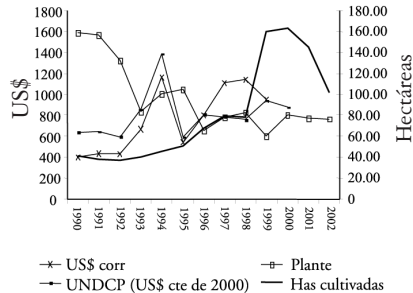
Las tendencias de los precios por kilogramo de base de coca producida, evidencian una caída permanente y sostenida desde principios de los años ochenta. La reducción secular de los precios²⁰ se tornó más pronunciada entre 1981 y 1989, cuando se redujeron cerca de 90% mientras que, paralelamente, las hectáreas cultivadas en Colombia experimentaron una considerable expansión de 124% promedio anual para el mismo período (Gráfica 3). Estas tendencias muestran que el efecto precio se logró compensar por el aumento de la oferta de hoja de coca cultivada en Colombia.

Entre 1990 y 2000, los precios de la base de coca se comportaron de forma antíciclica con relación a las hectáreas de hoja de coca cultivadas. Especialmente, durante los dos últimos años del período observado, los precios de la base sufrieron una fuerte caída. Esta tendencia permite inferir la existencia de una relación inversa entre el número de hectáreas cultivadas y los precios de la base de coca (Gráfica 4).

GRÁFICA 3
HOJA DE COCA Y PRECIOS DE BASE (KGS)



GRÁFICA 4
PRECIO DE LA BASE DE COCA Y HECTÁREAS CULTIVADAS

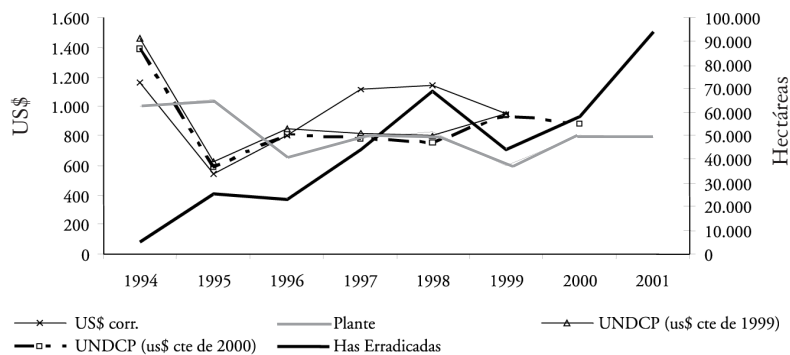


Fuente: Proyecto SIMCI. Cifras de precios suministradas por R. Rocha y el Plante.

Con respecto a la erradicación, los precios de la base de coca tienden a seguir un comportamiento similar a las hectáreas destruidas. Entre 1995 y 2000 los precios crecieron al ritmo de las hectáreas erradicadas. Este hecho sugiere la existencia de una correlación entre ambas variables. El aumento de los precios de la base, resultado de la fumigación, ha logrado estimular la expansión y apertura de nuevas hectáreas cultivadas (Gráfica 5).

20 Reportados por el Plan Nacional de Desarrollo Alternativo (Plante).

GRÁFICA 5
ERRADICACIÓN DE HOJA DE COCA Y PRECIOS DE BASE DE COCA (KGS.)



Fuente: Proyecto SIMCI. Cifras de precios suministradas por R. Rocha y el Plante.

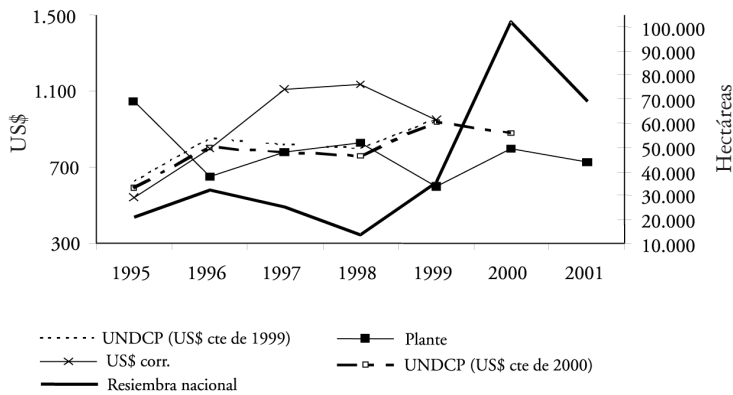
Este último hecho es confirmado con la relación resiembra de hoja de coca y precios de base. La Gráfica 6 muestra cómo la trayectoria de la resiembra se comporta de manera contraria a la tendencia de los precios de la base de coca²¹. En este contexto, una caída de la resiembra altera el precio de la base de coca y lo contrario puede suceder cuando la oferta de hoja de coca crece como producto de la resiembra.

Desplazamiento regional e interdepartamental de los cultivos ilícitos

El desplazamiento geográfico de los cultivos ilícitos, especialmente los de hoja de coca, es una consecuencia directa de la implementación de la estrategia de interdicción y erradicación forzosa. En el contexto de la región Andina, el área total cultivada se ha situado alrededor de 198 mil hectáreas desde 1991. Aunque Colombia experimentó una drástica caída del 90% en el área cultivada en los tres últimos años, el grupo de países productores contribuyó a compensar la reducción del área tan sólo en un 2%. Es decir, Bolivia y Perú apenas lograron compensar levemente la caída del área sembrada en Colombia²² (Gráfica 7).

21 La resiembra se define como la siembra de ilícitos que se realiza sobre un área que ya había sido erradicada.

GRÁFICA 6
RESIEMBRA DE HOJA DE COCA Y PRECIOS BASE DE COCA (KGS)



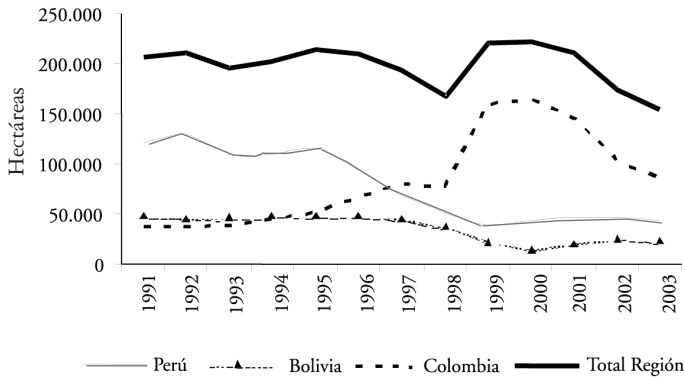
Fuente: Proyecto SIMCI. Cifras de precios suministradas por R. Rocha y el Plante.

Sin embargo, vale la pena destacar el hecho de que desde el año 2000 la participación de Bolivia y Perú en la producción total de hoja de coca ha venido creciendo de manera sostenida, mientras Colombia reduce progresivamente su participación (Gráfica 8). Aunque en el 2003, el incremento relativo de la participación de Perú y Bolivia se hace más importante debido a la sustancial reducción de las hectáreas en Colombia, este hecho no desvirtúa la recomposición de la oferta total de hoja de coca que se ha generado al interior de los países productores en el tiempo.

En el contexto nacional, entre 1999 y 2003, el departamento del Putumayo, principal productor de hoja de coca, sufrió una fuerte caída de las áreas sembradas. Los cultivos de hoja de coca se redujeron a una tasa promedio anual de 61% como resultado de la erradicación forzosa. Sin embargo, el departamento del Guaviare compensó esta caída con un crecimiento promedio anual de 3,5% del área sembrada, y una expansión en Nariño de 40% de las hectáreas durante el mismo período.

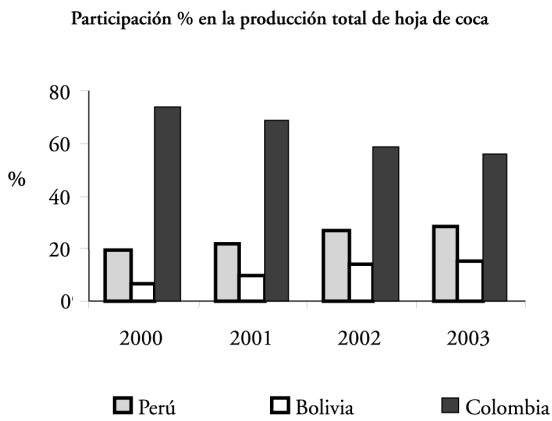
22 Entre 2000 y 2003, el área cultivada de Perú creció tan sólo 2%, la expansión del área en Bolivia fue cercana al 40%. El área total se redujo en un 44%.

GRÁFICA 7
COMPORTAMIENTO DE LOS CULTIVOS DE COCA EN PERÚ,
BOLIVIA Y COLOMBIA



Fuente: Dirección Nacional de Estupefacientes (DNE).

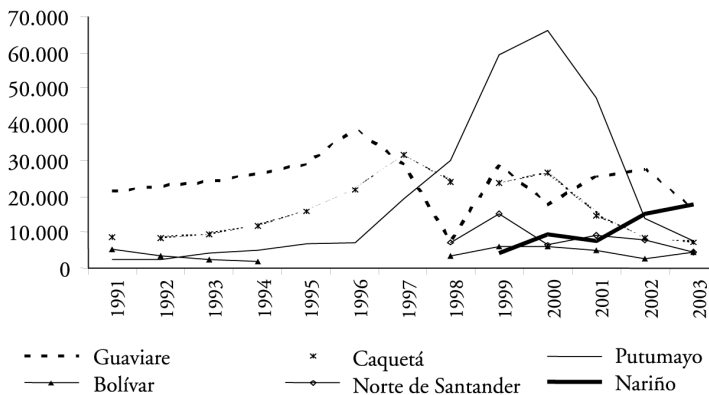
GRÁFICA 8
PARTICIPACIÓN EN LA PRODUCCIÓN TOTAL DE HOJA DE COCA (%)



Fuente: Dirección Nacional de Estupefacientes (DNE).

Esta dinámica interregional ha sido muy similar a la recomposición de la producción de hoja de coca en la región Andina. En consecuencia, la caída de las hectáreas que se operó en la región del Putumayo indujo a generar un pequeño “efecto globo” en el departamento del Guaviare y originó la aparición de cultivos de hoja de coca en el departamento de Nariño²³; hecho que ha restando efectividad a las estrategias de erradicación forzosa (Gráfica 9).

GRÁFICA 9
HECTÁREAS DE HOJA DE COCA POR DEPARTAMENTOS PRODUCTORES



Fuente: DNE. Proyecto SIMCI.

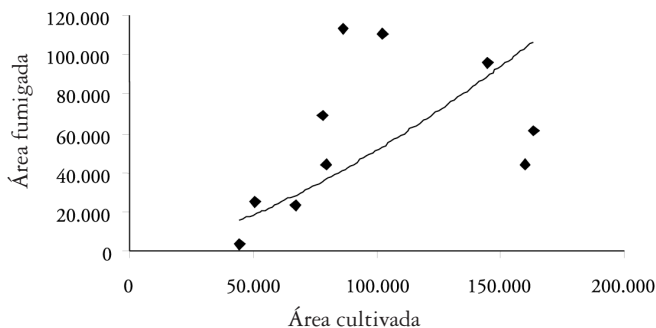
Por último, existe una relación positiva entre hectáreas erradicadas y sembradas. En otras palabras, mayores hectáreas cultivadas de hoja de coca propician mayores esfuerzos de erradicación, y lo contrario sucede al iniciar los procedimientos de erradicación. A medida que se realiza mayor número de operativos para erradicar los cultivos, se intensifica la siembra y expansión de los cultivos de hoja de coca (gráfica 10). Este comportamiento parece confirmarse con la relación precios de la base de coca y hectáreas cultivadas. En consecuencia, la trayectoria histórica de la erradicación no ha generado un impacto positivo sobre los objetivos de política, aunque en los últimos años la efectividad de los procedimientos muestra una reducción importante en las hectáreas establecidas en Colombia.

23 En 2002, el SIMCI reportó la aparición de 15.131 hectáreas de hoja de coca en el Departamento.

Estas evidencias sugieren la existencia de una relación positiva entre la erradicación y la expansión de los cultivos de hoja de coca, a través de la incidencia sobre los precios de base. En este sentido, la siguiente sección construye un modelo teórico que simplifica la conducta de los pequeños cultivadores-productores, e introduce dos escenarios que explican cómo en el largo plazo la erradicación forzosa no necesariamente reduce el área cultivada, y por el contrario puede estimular la expansión de la frontera agrícola de cultivos ilícitos.

GRÁFICA 10

HECTÁREAS CULTIVADAS Y FUMIGADAS DE HOJA DE COCA, 1994-2003



Fuente: DNE. Proyecto SIMCI

ESTRUCTURA TEÓRICA

El manejo y extracción óptima de los recursos naturales [Conrad y Clark 1987; Cacho 2000; Jensen 2001] ofrece un marco conceptual aproximado para modelar el comportamiento del pequeño productor en las zonas con presencia de cultivos ilícitos. En este contexto, la teoría del control óptimo se constituye en una herramienta de gran utilidad para aproximarse a la racionalidad del productor-cultivador, que subsiste a través del cultivo y recolección de la hoja de coca.

Con el objetivo de formalizar esta conducta, se va a suponer que los cultivadores se comportan como agentes racionales y toman la decisión de maximizar la trayectoria intertemporal de los beneficios que la extracción de las cosechas les genera, ante el evento de una fumigación o destrucción parcial de las hectáreas sembradas. En otras palabras, la racionalidad de los pequeños productores les permitirá decidir como realizar un manejo óptimo de la recolección y

el *stock* de cultivos en el tiempo, ante un evento aleatorio de fumigación; erradicación forzosa.

Para modelar el comportamiento del pequeño productor se construyeron dos escenarios: el primero hace referencia a un productor maximizador de sus beneficios, que realiza un manejo óptimo de la extracción de hoja en una hectárea cultivada bajo un horizonte planeado finito, y sin ningún tipo de perturbación. En el segundo escenario, la ecuación de maximización intertemporal se ve afectada por el evento aleatorio de fumigación o alteración exógena que incide en la labor de recolección de las cosechas de los cultivos ilícitos.

Planteamiento general del problema

El siguiente ejercicio de control óptimo para una economía de cultivos ilícitos está basado en Becker [1968]. Este artículo aplica los postulados del análisis microeconómico para explicar la conducta de individuos adversos y amantes al riesgo frente a la posibilidad de cometer un crimen y obtener un botín o recompensa. A partir de este enfoque, se aborda y simula el problema de optimización dinámica en el contexto de una economía de cultivos ilícitos sujeta a eventos de erradicación forzosa.

A partir de la aproximación teórica de Becker se construye el siguiente modelo de rentabilidad esperada:

$$E(\pi) = \rho[\pi(y, b)] + (1 - \rho)[\pi(y, a)] \quad [1]$$

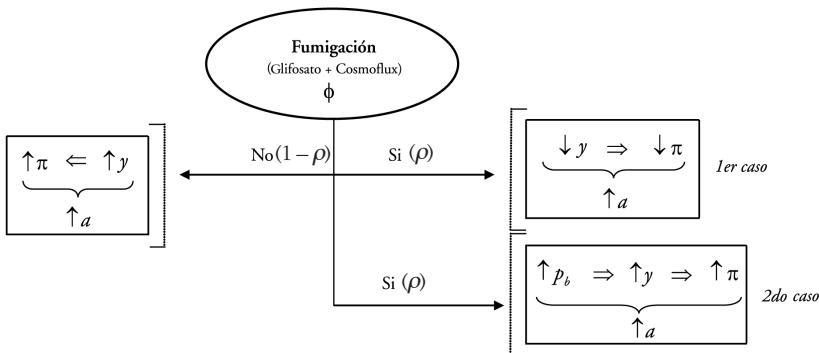
donde

$$b = a - \phi a = (1 - \phi)a; 0 \leq \phi \leq 1$$

Los productores-cultivadores cuentan con una función de beneficios que $\pi(\cdot)$ donde y representa la tasa de extracción de hoja de coca por período de tiempo, y a representa el *stock* de hectáreas cultivadas. El parámetro está definido como la probabilidad que surja un evento de erradicación. En consecuencia, si existe una probabilidad ρ de erradicación, el número de hectáreas cultivadas con hoja de coca será cada vez menor, como producto de la fumigación y del efecto disuasivo que tiene sobre las decisiones de los cultivadores. El grado de reducción o descuento del *stock* de hectáreas se expresa a través del parámetro ϕ , que mide la efectividad del agente químico utilizado en el procedimiento de fumigación.

La Gráfica 11 ilustra los efectos que pueden propiciar las expectativas de fumigación forzosa sobre las utilidades de los pequeños productores. En primer lugar, sino existe el evento de fumigación, la tasa de extracción crece en el tiempo, lo que conduce a incrementar los beneficios del productor, y a generar una expansión del número de hectáreas cultivadas. En segunda instancia, si se produce un evento de fumigación ello puede originar dos efectos alternativos: (i) se reduce la tasa de extracción, las utilidades de los productores, y el área cultivada, y (ii) se disminuye el ritmo de crecimiento de la extracción, pero las ganancias y el área cultivada crecen sistemáticamente. Es decir, la fumigación en el último escenario puede producir resultados opuestos al propósito de la política.

GRÁFICA 11
EFECTO DE LOS EVENTOS DE ERRADICACIÓN FORZOSA
SOBRE LA TASA DE EXTRACCIÓN Y EL ÁREA CULTIVADA



Supuestos básicos y limitaciones del modelo

Para construir el modelo se consideran algunos supuestos básicos y limitaciones:

- Se analiza la conducta de los productores-cultivadores. Por ende las conclusiones derivadas del modelo desconoce las diferencias entre grandes y pequeños cultivadores, las características intraregionales y la perspectiva del planeador central.
- Los productores-cultivadores son agentes racionales que intentan maximizar sus beneficios.

- iii) El modelo no captura el impacto en el largo plazo de los precios de la base de coca sobre la variación de las hectáreas en el tiempo.
- iv) El análisis se aborda desde la perspectiva de un mercado oligopólico, por consiguiente los precios de producción son definidos como la inversa de la curva de demanda de la producción recolectada.
- v) El modelo utiliza una función de producción tradicional y homogénea para los cultivos ilícitos. La función que determina el crecimiento del stock del área cultivada $g(a_t)$ cuenta con rendimientos marginales decrecientes.
- vi) El principal factor intensivo es la mano de obra (campesina y familiar), se asume como una dotación fija (\bar{L}).
- vii) Para el análisis intertemporal se asume un horizonte planeado finito de tiempo.
- viii) Se supone una tasa de descuento constante en el tiempo y equiparable a la tasa de interés fijada como parámetro.

Bajo estos supuestos se construye el siguiente modelo de control óptimo, y se define la función de beneficios esperados.

El modelo de control óptimo

El problema de maximización se suele describir tanto de forma discreta como continua y bajo un horizonte planeado finito, $t = 0, \dots, T$. Para este análisis se realizó el ejercicio modelando el comportamiento en términos discretos.

$$\text{Max}_y \sum_{t=0}^T \pi(y_t, a_t) \delta^t \quad [2]$$

sujeto a:

$$a_{t+1} - a_t = h(y_t, a_t) = g(a_t) - y_t \quad [3]$$

$$a(0) = a_0 > 0 \quad [4]$$

$$a(T) = 0 \quad [5]$$

donde y_t es la variable de control²⁴ que expresa la tasa de extracción de hoja de coca recolectada en cada cosecha²⁵ período de tiempo, a_t es la variable de

²⁴ Es la variable de decisión que maneja el cultivador.

²⁵ Los cultivos de hoja de coca son de carácter permanente. Generalmente se producen entre cuatro a seis cosechas al año, dependiendo de la región y zonas donde se encuentren localizados los cultivos.

estado, que representa el comportamiento del *stock* de los cultivos, medido a través de la variación del número de hectáreas sembradas en el tiempo t . La función $\pi(\cdot)$ describe los beneficios intertemporales que obtienen los productores y, por último, $\delta = 1/(1 + r)$ representa la tasa de descuento –a una tasa de interés fija– que permite traer a valor presente los beneficios de los cultivadores.

La ecuación [3] describe la ecuación de movimiento del sistema y representa la variación del *stock* de los cultivos como función de las variables de control (y_t) y de estado (a_t), donde $g(a_t)$ representa la tasa de crecimiento autónomo de los cultivos. La ecuación [4] describe el estado inicial del sistema, es decir, el *stock* de los cultivos en su estado original. Por último, se define la condición de frontera [5] que determina el momento en que el área de los cultivos tiende a desaparecer en el tiempo.

La función de ganancias del cultivador está representada por la ecuación [6], y se expresa de forma explícita de la siguiente manera²⁶:

$$\pi(y_t, a_t) = p_t(y_t)y_t - \theta y_t L_t - \varphi a_t^2 \quad [6]$$

donde

$$0 < \theta < 1 \text{ y } 0 < \varphi < 1$$

$$p_t(y_t) = \alpha_t - \beta y_t, \text{ donde } 0 < \beta < 1 \quad [7]$$

El modelo supone que la estructura de mercado es oligopólica, y una gran variedad de pequeños cultivadores-procesadores, se encuentran verticalmente integrados a la fase inicial de la cadena productiva. La ecuación [7] describe la función inversa de la curva de demanda.

$$(\partial \pi / \partial y) > 0, (\partial \pi / \partial a) < 0, (\partial^2 \pi / \partial y^2) < 0, (\partial^2 \pi / \partial a^2) < 0 \quad [8]$$

A partir de las primeras derivadas de la función de beneficios se infiere que la rentabilidad de los cultivos ilícitos está directamente relacionada con la tasa de recolección, y resulta ser función inversa del costo de sostenimiento y mantenimiento del área cultivada.

Formalmente, el problema de maximización es resuelto utilizando el Hamiltoniano a través del Principio Máximo planteado originalmente por L. S. Pontryagin.

26 Para el modelo se supone que la función de beneficios es cuadrática en y . Estos supuestos implican que la demanda es lineal.

$$H(y_t, a_t, \lambda_{t+1}) = \pi(y_t, a_t) + \delta \lambda_{t+1} [g(a_t) - y_t] \quad [9]$$

En esta ecuación, λ representa la variable de coestado o el precio sombra de la cosecha extraída en cada período de tiempo. Las condiciones de primer orden para la función de maximización de ganancias son las siguientes:

$$(\partial H / \partial y_t) = (\partial \pi / \partial y_t) - \delta \lambda_{t+1} = 0; \quad t = 0, 1, \dots, T-1 \quad [10]$$

$$-(\partial H / \partial a_t) = \delta \lambda_{t+1} - \lambda_t; \quad t = 0, 1, \dots, T-1 \quad [11]$$

$$(\partial H / \partial (\delta \lambda_{t+1})) = a_{t+1} - a_t = g(a_t) - y_t \quad [12]$$

$$\lambda_T = \lambda(0) \quad [13]$$

La condición [10] refleja los beneficios marginales generados por la extracción de las cosechas de los cultivos en el período t , en tanto que $\delta \lambda_{t+1}$ expresa el precio sombra o renta del recurso extraído en el presente —el costo de recolección del producto—. La ecuación [11] resuelve la trayectoria óptima en el tiempo del precio sombra de los cultivos²⁷ y la [12] describe la ecuación de movimiento de *stock* de los cultivos. Y la ecuación [13] representa la condición terminal o de frontera.

Escenario 1: equilibrio sin eventos de erradicación

Al hallar las condiciones de primer orden y luego el estado estacionario del sistema, se obtienen las siguientes ecuaciones de equilibrio alrededor del estado estacionario (ver Apéndice 1):

$$\frac{\partial y}{\partial y} = \frac{\Delta y_{t+1}}{y_t} = \frac{y_{t+1} - y_t}{y_t} = \frac{2\varphi a_t - [\alpha - 2\beta y_t - \theta \bar{L}_t] g'(a_t)}{2\beta y_t} = 0 \Rightarrow 2\varphi a_t = [\alpha - 2\beta y_t - \theta \bar{L}_t] g'(a_t) \quad [14]$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \lambda} = \frac{\Delta \lambda_{t+1}}{\lambda_t} = \frac{[\delta \lambda_{t+1} - \lambda_t]}{\lambda_t} = \frac{2\varphi a_t + [\alpha - 2\beta y_t - \theta \bar{L}_t] g'(a_t)}{\lambda_t} = 0 \Rightarrow 2\varphi a_t = [\alpha - 2\beta y_t - \theta \bar{L}_t] g'(a_t) \quad [15]$$

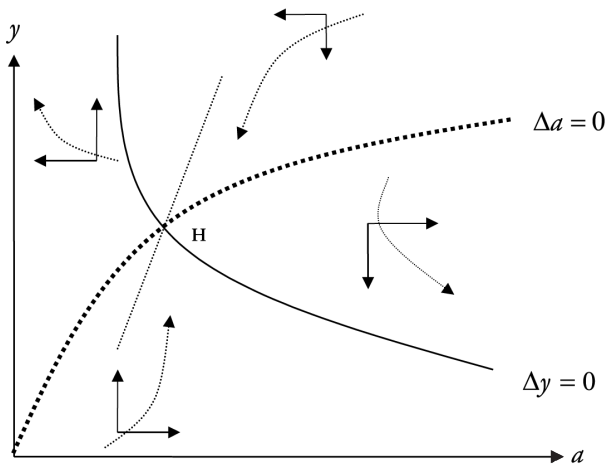
$$\frac{\partial a}{\partial a} = \frac{\Delta a_{t+1}}{a_t} = \frac{a_{t+1} - a_t}{a_t} = \frac{g(a_t) - y_t}{a_t} = 0 \Rightarrow g(a_t) = y_t \quad [16]$$

Las anteriores ecuaciones de equilibrio describen el comportamiento del sistema en el largo plazo. La ecuación [14] refleja la condición de maximización de utilidades ($CMg = IMg$) que garantiza la trayectoria óptima de y en el

27 La ecuación de movimiento de λ .

tiempo. Si $CMg > IMg$, ($\Delta y > 0$) entonces el equilibrio en estado estacionario ($\Delta y = 0$) se debe alcanzar reduciendo a o disminuyendo y (Gráfica 12). Al mismo tiempo que se determina un y^* de equilibrio, también es posible definir el precio sombra óptimo de la extracción o recolección (λ^*) donde periódicamente no cambia ($\Delta \lambda = 0$). Esta condición es descrita por la ecuación [15]. Finalmente, en la condición de equilibrio de estado estacionario, representada por el punto H^{28} , la tasa de crecimiento del *stock* de las hectáreas de los cultivos deber ser igual a cero ($\Delta a = 0$), y para ello es necesario que $g(a^*) = y^*$. Esto último implica que el crecimiento del *stock* de los cultivos expresado en hectáreas es completamente recolectado o extraído.

GRÁFICA 12
DIAGRAMA DE FASE



Las trayectorias para lograr el equilibrio en estado estacionario, no sólo están en función de las sendas crecimiento. La forma de las curvas está ligada al comportamiento de la frecuencia de la recolección y de las hectáreas cultivadas. En la Gráfica 12 los niveles de equilibrio de largo plazo se determinan en H , sin embargo la trayectoria que sigue el área cultivada se puede modificar si se supone cóncava, convexa, o incluso su pendiente se torna decreciente. Las pendientes de las trayectorias son fundamentales para observar diferentes efectos

²⁸ Condición de *punto de silla*.

que sobre las hectáreas cultivadas y la recolección de hoja tiene la erradicación forzosa. En este caso, se asumirá el simple supuesto, de que la función de crecimiento de las hectáreas de hoja de coca cuentan con rendimientos decrecientes a escala, es decir $g'(a) > 0$ y $g''(a) < 0$.

Escenario 2: equilibrio con eventos de erradicación

En el segundo escenario, se incorpora a la función de beneficios la probabilidad de la erradicación y se modelan los efectos sobre el equilibrio en estado estacionario. Al igual que en el modelo general, esta sección inicia con el siguiente problema de maximización:

$$\text{Max}_y E[\pi_t] \quad [17]$$

$$\text{Max}_y \left[\rho \sum_{t=0}^T \pi_t(y_t, b_t) \delta^t + (1 - \rho) \sum_{t=0}^T \pi_t(y_t, a_t) \delta^t \right] \quad [18]$$

donde

$$b_t = a_t - \phi a_t = (1 - \phi) a_t \quad y \quad 0 \leq \rho \leq 1; 0 \leq \phi \leq 1$$

El anterior planteamiento incorpora al modelo general la probabilidad de erradicación sobre la rentabilidad, denotada por ρ , así como la probabilidad en el evento de 'que no exista' $(1 - \rho)$ o que la aspersión no genere algún impacto sobre las ganancias de los cultivadores. De aplicarse de manera efectiva la fumigación, la variable de estado a_t modificada como b_t , se encargará de reflejar el descuento que se opera en el cultivo recolectado, a través del parámetro de erradicación ϕ . Este último refleja la efectividad de la destrucción de la sustancia química sobre el número de cultivos²⁹.

En el evento de no fumigación, la trayectoria óptima de las variables no se modificará y será equiparable al escenario 1.

Las restricciones del problema son las siguientes:

$$a_{t+1} - a_t = \rho g(b_t) + (1 - \rho) g(a_t) - y_t \quad [19]$$

$$a(0) = a_0 > 0 \quad [20]$$

29 La capacidad de destrucción de los cultivos dependerá del tipo de herbicida que se utilice.

$$a(T) = 0 \quad [21]$$

La ecuación [19] representa el crecimiento de las hectáreas cultivadas con ilícitos en el evento que se destruyan plantas mediante la fumigación. Igualmente, si $\rho = 0$, la ecuación de movimiento será similar a la planteada por el modelo general.

De nuevo, utilizando el Principio Máximo se plantea el Hamiltoniano para hallar la solución del sistema.

$$H(y, a, \rho, \lambda_{t+1}) = \rho \pi(y, b) + (1 - \rho) \pi(y, a) + \delta \lambda_{t+1} [\rho g(b) + (1 - \rho) g(a) - y] \quad [22]$$

$$\frac{\partial H}{\partial y} = \rho \frac{\partial \pi(y, b)}{\partial y} + (1 - \rho) \frac{\partial \pi(y, a)}{\partial y} - \delta \lambda_{t+1} = 0 \quad [23]$$

$$-\frac{\partial H}{\partial a} = \delta \lambda_{t+1} - \lambda_t \quad [24]$$

$$\frac{\partial H}{\partial (\delta \lambda_{t+1})} = a_{t+1} - a = \rho g(b) + (1 - \rho) g(a) - y \quad [25]$$

$$\lambda_T = \lambda(0) \quad [26]$$

Hallando las ecuaciones de equilibrio en condiciones de estado estacionario (ver apéndice 2) se tiene que:

$$\frac{\partial y}{\partial y} = \frac{A y_{t+1}}{y} = \frac{y_{t+1} - y_t}{y} = \frac{[(1 - \rho) 2\varphi a - \rho 2\varphi a (1 - \phi)^2] - [\alpha - 2\beta y_t - \theta L_t] [\rho g'(b)(1 - \phi) + (1 - \rho) g'(a)]}{2\beta y_t} = 0 \quad [27]$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \lambda} = \frac{A \lambda_{t+1}}{\lambda_t} = - \frac{[\delta \lambda_{t+1} - \lambda_t]}{\lambda_t} = \frac{[\rho 2\varphi a (1 - \phi) + (1 - \rho) 2\varphi a] + \delta \lambda_{t+1} [\rho g'(b)(1 - \phi) + (1 - \rho) g'(a)]}{\lambda_t} = 0 \quad [28]$$

$$\frac{\partial a}{\partial a} = \frac{A a_{t+1}}{a} = \frac{a_{t+1} - a}{a} = \frac{\rho g(b) + (1 - \rho) g(a) - y}{a} = 0 \quad [29]$$

Las ecuaciones [27] y [28] son similares a las deducidas en el primer escenario, lo que implica que el equilibrio en y no se modifica frente a la probabilidad de erradicación, igualmente, ocurre con el equilibrio en el precio sombra de la recolección (λ). Entre tanto, el evento de la erradicación es capaz de afectar el *stock* de los cultivos ilícitos reduciendo su tamaño, como realmente sucede cuando se asperja una hectárea cultivada³⁰. En consecuencia el equilibrio H: (\bar{a}_0, \bar{y}_0) , se modifica desplazándose a H': (\bar{a}_2, \bar{y}_1) .

30 La tasa de destrucción del cultivo dependerá de la efectividad del herbicida, el tipo de agente químico utilizado y de la eficacia de la aplicación sobre el área sembrada.

Situación I: erradicación eficaz

Esta situación se caracteriza por una eficacia en la erradicación forzosa. En este escenario los beneficios de los productores se reducen en el largo plazo, a raíz de que la erradicación forzosa surte el impacto previsto sobre a e y ($\partial y / \partial \phi < 0$). El *shock* de erradicación y su efecto disuasivo genera una caída pronunciada en la tasa de extracción que no logra generar efectos iniciales sobre el área bajo cultivo. El reajuste se produce con un aumento menos que proporcional de la tasa de recolección de hoja de coca, y una caída posterior del área cultivada, situación que caracteriza el nuevo estado de equilibrio estacionario (Gráfica 13).

En la situación original el equilibrio se ubica en H: (\bar{a}_0, \bar{y}_0) , luego del evento de erradicación forzosa, el nuevo estado de equilibrio se localiza en H': (\bar{a}_1, \bar{y}_1) . En el largo plazo existirán menores hectáreas cultivadas y una menor proporción de hoja de coca capturada. Este resultado sólo se producirá si la función de producción de los cultivos es cóncava (rendimientos marginales decrecientes). Es decir, frente a la perspectiva que el rendimiento (productividad) de los cultivos mejore en el tiempo, los productores adversos al riesgo, enfrentan un alto costo cuando se produce la erradicación. La explicación de este fenómeno reside en que el impacto de la erradicación golpea con mayor intensidad las áreas con rendimientos decrecientes que aquellas con rendimientos crecientes. El impacto de la erradicación tiene un efecto disuasivo permanente, que termina por reducir el área sembrada. La política de erradicación es efectiva en el largo plazo.

Situación II: erradicación ineficaz

En la dinámica del sistema de la situación II, los cultivadores-procesadores frente a un *shock* de erradicación son capaces de internalizar los efectos de la erradicación sobre los cultivos, reduciendo la recolección a una tasa menor que en H, pero generando un crecimiento paulatino del *stock* de las hectáreas cultivadas hasta alcanzar un nuevo nivel de equilibrio (Gráfica 14). En consecuencia, la expectativa de una nueva erradicación con herbicidas conduce a generar un *trade-off* entre a e y . Los cultivadores, si bien tienden a reducir los niveles de recolección de las nuevas hectáreas, permiten un crecimiento del *stock* de hectáreas sembradas en el largo plazo.

En otras palabras, la aspersión con herbicidas puede llegar a generar una fuerte caída de las hectáreas sembradas mediante la destrucción de los culti-

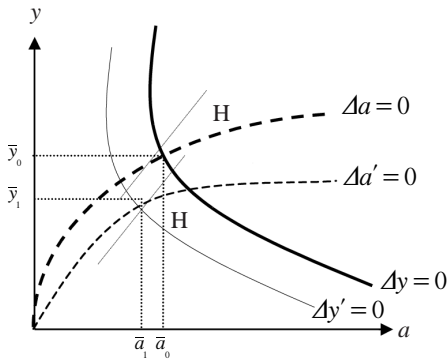
vos ilícitos, sin embargo, a través de la resiembra y una mayor apertura de nuevos cultivos, paulatinamente se ajustará el *stock* de las hectáreas sembradas a un nuevo nivel de equilibrio, donde a es mayor al original y la tasa de recolección (y) tenderá a ser más baja que la inicial. Debido a que la erradicación tiene efectos sobre a e y , $(\partial y / \partial \phi) > 0$ el impacto de la erradicación sobre el área cultivada, en este escenario, es capaz de producir un efecto opuesto al esperado por la implementación de la política.

Los efectos de la fumigación generan una fuerte caída de las hectáreas cultivadas (\bar{a}_0, \bar{a}_1) , pero la reducción en el área no es definitiva debido a que subsiste una situación de desequilibrio en \bar{a}_1 . Por lo tanto, el sistema permite que el *stock* de cultivos ilícitos se recupere paulatinamente en el tiempo a través de la resiembra y la adecuación de nuevas extensiones para cultivos hasta alcanzar un nuevo nivel de equilibrio de estado estacionario localizado en H ³¹.

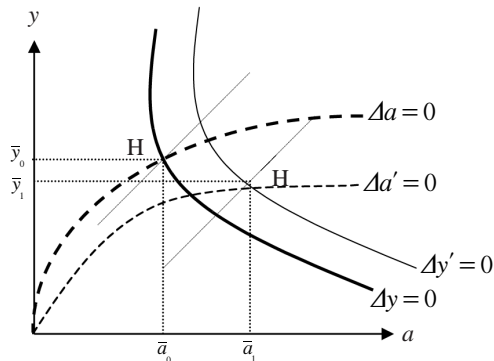
La explicación subyace en que la aspersión reduce el área cultivada y produce un efecto disuasivo sobre las decisiones de los cultivadores. Los cultivadores proclives al riesgo, frente a la expectativa de maximizar sus beneficios en el tiempo, aumentan la frontera agrícola y recuperan con cultivos las áreas erradicadas, mientras se opera una leve reducción de la tasa de extracción. Esta conducta permite que la caída de las hectáreas cultivadas ocasionadas con la erradicación tengan un carácter transitorio y luego se ajustan a un nivel de equilibrio mayor al inicial, \bar{a}_2 . Desde la perspectiva de la recolección, su trayectoria también se ajustará en el tiempo $(\bar{y}_0 - \bar{y}_1)$ frente a la fuerte reducción inicial que se genera por la erradicación. La disminución del ritmo de extracción puede implicar que cada evento de recolección involucre una mayor cantidad de hoja extraída. En este contexto, una elevada tasa de descuento de los productores proclives al riesgo conduce a una reducción en la frecuencia junto con mayor captura de hoja de coca, lo que induce a generar una expansión del área cultivada frente a la incertidumbre que representa en el futuro la erradicación forzosa.

31 Aunque el efecto precio de la base no es observable en el modelo, se presume que el ajuste del área a través de la resiembra y nuevos cultivos es originado por la relación directa que existe entre la erradicación forzosa y los precios de la base.

GRÁFICA 13
ERRADICACIÓN EFICAZ EN a



GRÁFICA 14
ERRADICACIÓN INEFICAZ EN a



CONCLUSIÓN

La erradicación no necesariamente tiende a reducir en el largo plazo los cultivos ilícitos. En realidad, el efecto de la erradicación forzosa puede ser ambiguo. Es decir no se descarta la posibilidad que se genere un *trade-off* en el sistema: si bien la extracción de los cultivos ilícitos se reduce, ello no implica que el área cultivada deje de crecer y se amplíe en el futuro. El reajuste en el tiempo de las hectáreas sembradas viene acompañado por una reducción de la extracción de hoja virviendo el efecto de la política de erradicación sobre los cultivos. En consecuencia, el modelo desarrollado

permite inferir que la erradicación forzosa que se realiza hoy puede estimular la resiembra y la apertura de nuevas hectáreas cultivadas con ilícitos frente al evento posible de una erradicación futura. Esta dinámica puede ser contraria a los objetivos de política, que en materia de erradicación forzosa, busca el actual gobierno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Becker, G. S. (1968). Crime and punishment: an economic approach. *Journal Political Economic*. 4: 169-217.

Cacho, Oscar J. (2000). *The role of bio-economic models in renewable resource management and assessment of solution techniques*. School of Economics Studies and Graduate School of Agricultural and Resource Economics. Australia : University of New England.

Conrad, J. M. y Clark, C. W. (1987). *Natural resource economics. notes and problems*. Cambridge: Cambridge University Press.

Consejo Nacional de Estupefacientes (1994). Resolución 0001 de Febrero 11 de 1994.

Departamento Nacional de Planeación: DNP. (2003). *Hacia un Estado Comunitario*. Bases para el Plan Nacional de Desarrollo 2002-2006. Bogotá.

Jelsma, M. (2001). *Vicious circle: the chemical and biological war of drugs*. Transnational Institute. Marzo.

Jensen, F. (2001). *A critical review of the fisheries policy: total allowable catches and rations for cod in the North Sea*. University of Southern Denmark. IME Working Paper.

Rocha, R. (2000). *La economía colombiana tras 25 años de narcotráfico*. Editorial Siglo del Hombre y UNDCP.

Tokatlian, J. (2003). *The United States and illegal crops in Colombia: the tragic mistake of futile fumigation*. Center for Latin American Studies. University of California, Berkeley. June 2003. Paper No. 3.

Vargas, R. (1999). *Fumigación y conflicto. Política antidroga y la deslegitimación del Estado colombiano*. TM Editores.

APÉNDICE 1

En el modelo general tenemos que:

$$\text{Max}_y \sum_{t=0}^T \pi(y_t, a_t) \delta^t \quad [1a]$$

sujeto a:

$$a_{t+1} - a_t = h(y_t, a_t) = g(a_t) - y_t \quad [2a]$$

$$a(0) = a_0 > 0 \quad [3a]$$

$$a(T) = 0 \quad [4a]$$

Hallando el Hamiltoniano [5a] se definen las condiciones de primer orden:

$$H(y_t, a_t, \lambda_{t+1}) = \pi(y_t, a_t) + \delta \lambda_{t+1} [g(a_t) - y_t] \quad [5a]$$

$$\frac{\partial H}{\partial y_t} = \frac{\partial \pi}{\partial y_t} - \delta \lambda_{t+1} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial \pi}{\partial y_t} = \delta \lambda_{t+1} \quad [6a]$$

$$-\frac{\partial H}{\partial a_t} = \delta \lambda_{t+1} - \lambda_t \Rightarrow -\delta \lambda_{t+1} - \lambda_t = \frac{\partial \pi}{\partial a_t} + \delta \lambda_{t+1} g'(a_t) \quad [7a]$$

$$\frac{\partial H}{\partial (\delta \lambda_{t+1})} = a_{t+1} - a_t = g(a_t) - y_t \quad [8a]$$

$$\lambda_T = \lambda(0) \quad [9a]$$

Reemplazando [6a] en [7a] tenemos que:

$$-\delta \lambda_{t+1} - \lambda_t = \frac{\partial \pi}{\partial a_t} + \frac{\partial \pi}{\partial y_t} g'(a_t) \quad [10a]$$

Diferenciando totalmente la primera condición de primer orden, se obtiene el siguiente resultado:

$$\frac{\partial^2 \pi}{\partial y_t^2} \frac{\partial y_t}{\partial t} + \frac{\partial \left[\frac{\partial \pi}{\partial y_t} \right]}{\partial a_t} \frac{\partial a_t}{\partial t} - (\delta \lambda_{t+1} - \lambda_t) = 0 \quad \Rightarrow \quad [5a']$$

sustituyendo [10a] en [5a'] se obtiene:

$$\frac{\partial^2 \pi}{\partial y_t^2} \frac{\partial y_t}{\partial t} + \frac{\partial \left[\frac{\partial \pi}{\partial y_t} \right]}{\partial a_t} \frac{\partial a_t}{\partial t} + \frac{\partial \pi}{\partial a_t} + \frac{\partial \pi}{\partial y_t} g'(a_t) = 0 \quad [11a]$$

definiendo la tasa de crecimiento de extracción de las cosechas como $C_y = (1/y)\partial y_t/\partial t$ entonces tenemos que:

$$C_y = - \left(\frac{\partial \left[\frac{\partial \pi}{\partial y_t} \right] \frac{\partial a_t}{\partial t} + \frac{\partial \pi}{\partial a_t} + \frac{\partial \pi}{\partial y_t} g'(a_t)}{\frac{\partial^2 \pi}{\partial y_t^2} y} \right) \quad [12a]$$

El equilibrio alrededor del estado estacionario es descrito por la siguiente ecuación:

$$C_y = - \left(\frac{\partial \left[\frac{\partial \pi}{\partial y_t} \right] \frac{\partial a_t}{\partial t} + \frac{\partial \pi}{\partial a_t} + \frac{\partial \pi}{\partial y_t} g'(a_t)}{\frac{\partial^2 \pi}{\partial y_t^2} y} \right) = 0, \quad [12a']$$

de lo que se deduce que:

$$\frac{\partial y}{\partial t y} = \frac{2\varphi a_t - [\alpha - 2\beta y_t - \theta \bar{L}_t] g'(a_t)}{2\beta y_t} = 0 \Rightarrow 2\varphi a_t = [\alpha - 2\beta y_t - \theta \bar{L}_t] g'(a_t) \quad [13a]$$

Entre tanto, de [7a] se deduce que:

$$\frac{\partial \lambda}{\partial t \lambda} = \frac{\delta \lambda_{t+1} - \lambda_t}{\lambda_t} = - \frac{2\varphi a_t + [\alpha - 2\beta y_t - \theta \bar{L}_t] g'(a_t)}{\lambda_t} = 0 \Rightarrow 2\varphi a_t = [\alpha - 2\beta y_t - \theta \bar{L}_t] g'(a_t) \quad [14a]$$

Y de [8a] se infiere que:

$$\frac{\partial a}{\partial t a} = \frac{\Delta a_{t+1}}{a_t} = \frac{a_{t+1} - a_t}{a_t} = \frac{g(a_t) - y_t}{a_t} = 0 \Rightarrow g(a_t) = y_t \quad [15a]$$

Entonces para construir los diagramas de fase, tenemos que de [13a] y [15a] deducimos que:

$$y = \frac{\left[\alpha - \theta \bar{L}_t - \frac{2\varphi a_t}{g'(a_t)} \right]}{2\beta} \quad [16a] \quad \text{y} \quad g(a_t) = y_t \quad [17a]$$

APÉNDICE 2

El siguiente modelo incorpora la probabilidad de erradicación forzosa sobre el *stock* de hectáreas cultivadas:

$$\text{Max}_{y_t} \left[\rho \sum_{t=0}^T \pi_t(y_t, b_t) \delta^t + (1-\rho) \sum_{t=0}^T \pi_t(y_t, a_t) \delta^t \right] \quad [1b]$$

$$b_t = a_t - \phi a_t = (1-\phi) a_t$$

$$y_t \quad 0 \leq \rho \leq 1; \quad 0 \leq \phi \leq 1$$

s. a

$$a_{t+1} - a_t = \rho g(b_t) + (1-\rho) g(a_t) - y_t \quad [2b]$$

$$a(0) = a_0 > 0 \quad [3b]$$

$$a(T) = 0 \quad [4b]$$

El Hamiltoniano se expresa de la siguiente manera:

$$H(y_t, a_t, \rho, \lambda_{t+1}) = \rho \pi(y_t, b_t) + (1-\rho) \pi(y_t, a_t) + \delta \lambda_{t+1} [\rho g(b_t) + (1-\rho) g(a_t) - y_t] \quad [5b]$$

Hallando las condiciones de primer orden:

$$\frac{\partial H}{\partial y_t} = \rho \frac{\partial \pi(y, b)}{\partial y_t} + (1-\rho) \frac{\partial \pi(y, a)}{\partial y_t} - \delta \lambda_{t+1} = 0 \quad [6b]$$

$$-\frac{\partial H}{\partial a_t} = \delta \lambda_{t+1} - \lambda_t = - \left[\left(\rho \frac{\partial \pi}{\partial b_t} (1-\phi) + (1-\rho) \frac{\partial \pi}{\partial a_t} \right) + \delta \lambda_{t+1} [\rho g'(b_t)(1-\phi) + (1-\rho) g'(a_t)] \right] \quad [7b]$$

$$\frac{\partial H}{\partial (\delta \lambda_{t+1})} = a_{t+1} - a_t = \rho g(b_t) + (1-\rho) g(a_t) - y_t \quad [8b]$$

$$\lambda_T = \lambda(0) \quad [9b]$$

Reemplazando [6b] en [7b] tenemos que:

$$\delta \lambda_{t+1} - \lambda_t = - \left[\left(\rho \frac{\partial \pi}{\partial b_t} (1-\phi) + (1-\rho) \frac{\partial \pi}{\partial a_t} \right) + \left(\rho \frac{\partial \pi(y, b)}{\partial y_t} + (1-\rho) \frac{\partial \pi(y, a)}{\partial y_t} \right) [\rho g'(b_t)(1-\phi) + (1-\rho) g'(a_t)] \right] \quad [10b]$$

Diferenciando totalmente la primera condición de primer orden se obtiene el siguiente resultado:

$$\delta \lambda_{t+1} - \lambda_t = \rho \frac{\partial^2 \pi(y, b)}{\partial y_t^2} \frac{\partial y_t}{\partial t} + (1-\rho) \frac{\partial^2 \pi(y, a)}{\partial y_t^2} \frac{\partial y_t}{\partial t} \quad [6b']$$

sustituyendo [10b] en [6b'] obtenemos:

$$\rho \frac{\partial^2 \pi(y, b)}{\partial y_i^2} \frac{\partial y}{\partial t} + (1 - \rho) \frac{\partial^2 \pi(y, a)}{\partial y_i^2} \frac{\partial y}{\partial t} = - \left[\left(\rho \frac{\partial \pi}{\partial b_i} (1 - \phi) + (1 - \rho) \frac{\delta \pi}{\delta a_i} \right) + \delta \lambda_{i+1} [\rho g'(b) (1 - \phi) + (1 - \rho) g'(a)] \right] \quad [11b]$$

definiendo la tasa de crecimiento de extracción de las cosechas incluyendo la probabilidad de erradicación es equivalente a la deducida en el primer apéndice: $C_y = (1/y) \partial y_i / \partial t$, entonces tenemos que:

$$C_y = - \left(\frac{\left(\rho \frac{\partial \pi}{\partial b_i} (1 - \phi) + (1 - \rho) \frac{\delta \pi}{\delta a_i} \right) + \delta \lambda_{i+1} [\rho g'(b) (1 - \phi) + (1 - \rho) g'(a)]}{\left(\rho \frac{\partial^2 \pi(y, b)}{\partial y_i^2} + (1 - \rho) \frac{\partial^2 \pi(y, a)}{\partial y_i^2} \right) y} \right) \quad [12b]$$

El equilibrio alrededor del estado estacionario es descrito por la siguiente ecuación:

$$C_y = - \left(\frac{\left(\rho \frac{\partial \pi}{\partial b_i} (1 - \phi) + (1 - \rho) \frac{\delta \pi}{\delta a_i} \right) + \delta \lambda_{i+1} [\rho g'(b) (1 - \phi) + (1 - \rho) g'(a)]}{\left(\rho \frac{\partial^2 \pi(y, b)}{\partial y_i^2} + (1 - \rho) \frac{\partial^2 \pi(y, a)}{\partial y_i^2} \right) y} \right) = 0 \quad [12b']$$

de donde

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{[(1 - \rho) 2\varphi a_i - \rho 2\varphi a_i (1 - \phi)^2] - [\alpha - 2\beta y_i - \theta \bar{L}_i] [\rho g'(b) (1 - \phi) + (1 - \rho) g'(a)]}{2\beta y_i} = 0 \quad [13b]$$

Entre tanto, de [7b] se deduce que:

$$\frac{\partial \lambda}{\partial t \lambda} = \frac{[\rho 2\varphi a_i (1 - \phi) + (1 - \rho) 2\varphi a_i] + \delta \lambda_{i+1} [\rho g'(b) (1 - \phi) + (1 - \rho) g'(a)]}{\lambda_i} = 0 \quad [14b]$$

Y de [8b] se infiere que

$$\frac{\partial a}{\partial t a} = \frac{\rho g(b_i) + (1 - \rho) g(a_i) - y_i}{a_i} = 0 \quad [15b]$$

Entonces para construir los diagramas de fase, tenemos que de [13b] y [15b] deducimos que:

$$y = \frac{\left(\alpha - \theta \bar{L}_i - \frac{[(1 - \rho) 2\varphi a_i - \rho 2\varphi a_i (1 - \phi)^2]}{(\rho g'(b) (1 - \phi) + (1 - \rho) g'(a))} \right)}{2\beta} \quad y \quad [16b]$$

$$\rho g(b_i) + (1 - \rho) g(a_i) = y_i \quad [17b]$$