

Capítulo 4

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL COBRO DE LA TASA RETRIBUTIVA PARA EL SECTOR CAFETERO UBICADO EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN*

Nora Adriana Benítez de Mejía**

RESUMEN

La valoración económica constituye una herramienta imprescindible para el diseño e implementación de políticas ambientales, ya que para el cálculo de un impuesto, subsidio o cualquier otro instrumento económico utilizado para el control de la contaminación, la entidad ambiental reguladora debe conocer y cuantificar, en términos monetarios, la magnitud del daño causado. En este trabajo se presentan dos desarrollos mediante los cuales se busca, primero, estimar una aproximación al valor del impacto contaminante que genera el sector cafetero en la cuenca del río San Juan y en segundo lugar, evaluar el impacto económico y ambiental del cobro de la Tasa Retributiva a los productores cafeteros de la región, con el fin de determinar el tipo de tecnología limpia, que les permita minimizar los costos totales de producción.

Palabras clave: *costos de mitigación, contaminación ambiental, tecnologías limpias, tasa retributiva.*

* Este artículo está basado en la Investigación "Valoración Económica del Impacto de la Contaminación Hídrica en la cuenca del río San Juan" realizada en convenio interinstitucional con CORANTIOQUIA y presentada como tesis para optar por el título de Magíster en Economía de la Energía y los Recursos de la Universidad Nacional, Sede Medellín, 2002.

** MSc en Economía de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

ABSTRACT

Economic valuation constitutes a fundamental tool for the design and implementation of environmental policies. Environmental regulatory entities must know the magnitude of damage caused by contamination, and be capable of expressing this damage in economic terms before they estimate taxes, subsidies and any other economic instruments used for its control. In this work, two developments are shown: (1) The estimation of the economic value of the contamination impact of the coffee sector on the San Juan River basin and, (2) The evaluation of the economic and environmental impacts derived from the Retributive Rate tax as applied to the coffee growers of the region. The goal of these developments is the determination of the type of clean technology that minimizes total costs and contamination effects.

Keywords: *Mitigation costs, environmental contamination, clean technology, retributive rate.*

INTRODUCCIÓN

La Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia CORANTIOQUIA inició en el semestre 01 de 2001 el proceso de **cobro** de la Tasa Retributiva por vertimientos puntuales al recurso hídrico. Este proceso se viene desarrollando en el suroeste antioqueño e inicialmente fue aplicado a la cuenca del río San Juan. Con la aplicación de este instrumento económico se busca que los sectores productivos y domésticos modifiquen sus comportamientos contaminantes y asuman acciones de mitigación de la contaminación con el mínimo costo, bien sea incorporando nuevas tecnologías, modificando sus procesos productivos, disminuyendo sus niveles de consumo o realizando campañas de reciclaje, que finalmente se reflejen en la disminución de la contaminación de los cuerpos de agua y lleven a alcanzar los niveles de descontaminación socialmente pactados.

Dentro de este proceso CORANTIOQUIA establece un convenio inter-institucional de investigación con la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, con el objeto de valorar el impacto económico que genera la contaminación hídrica en la cuenca del río San Juan.

En cumplimiento de dicho convenio se desarrolla el presente estudio, cuyo objetivo es suministrar información que permita hacer una aproximación a una medida económica del daño ambiental generado, en el recurso hídrico de la cuenca del río San Juan, por la actividad económica más importante que se realiza en los municipios de la cuenca, como lo es la producción cafetera; actividad que en una de sus etapas productivas (la etapa de beneficio) resulta ser altamente contaminante en términos de emisiones de materia orgánica (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST), siendo éstos los contaminantes que son objeto de cobro de la Tasa Retributiva reglamentada.

Además, el estudio incluye una evaluación del impacto del cobro de la Tasa Retributiva para el sector cafetero. Para ello, se plantea el problema del

productor dentro de un esquema de optimización, que parte del planteamiento de una minimización de costos, donde los costos de control de la contaminación se incorporan al problema de optimización. Mediante el planteamiento de un modelo de programación lineal se evalúa el impacto del cobro de la tasa en la estructura de costos de los productores cafeteros y se simula el nivel de tasa que incentiva la sustitución del sistema de beneficio convencional por el beneficio ecológico del café.

1. Aspectos generales de la cuenca y problemática ambiental

La cuenca del río San Juan, tributario del río Cauca, se encuentra localizada en la región del suroeste antioqueño en el territorio conformado por la vertiente oriental de la cordillera occidental, comprendiendo los municipios de Andes, Betania, Ciudad Bolívar, Hispania, Jardín y Salgar en su totalidad y parcialmente los municipios de Pueblo Rico y Tarso.

La región se extiende a lo largo de 1.598 Km² y está conformada por un relieve montañoso con áreas de fuerte pendiente y hondonadas, con suelos de relativa fertilidad los cuales han sido destinados en un gran porcentaje a cultivos permanentes y a ganadería extensiva.

El recurso hídrico de la región es abundante, la cuenca del río San Juan además de representar un límite territorial, se constituye en el sistema de abastecimiento de agua para los acueductos veredales, corregimentales y municipales, como también, en el sistema de vertimiento de las aguas residuales domésticas y agropecuarias, ya que de cierta manera los desechos líquidos y sólidos de la región van a dar a esta cuenca.

El desarrollo económico de la cuenca del río San Juan está centrado en las actividades agrícola y pecuaria, destacándose especialmente el cultivo del café, labor que representa la principal fuente de ingresos de la población. El impacto ambiental que genera el cultivo del café está principalmente asociado al proceso de beneficio convencional, el cual vierte periódicamente a las fuentes de agua elementos orgánicos contaminantes, produciendo el deterioro de las mismas.

El proceso del beneficio del café ha originado un impacto ambiental considerable en las corrientes de agua de la región, debido a que las áreas cafeteras se encuentran ubicadas en un rango de altitud entre los 1.200 y 2.000 m.s.n.m., zonas de un alto potencial hídrico y que permiten, por su altura, ubicar bocatomas para abastecer acueductos que surten viviendas, veredas, corregimientos y cabeceras municipales de poblaciones¹.

1. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Evaluación de los Resultados en el Proceso de Adopción del Beneficio Ecológico del Café en la Cuenca del Río San Juan, 2000.

2. La teoría de las externalidades y los instrumentos de política diseñados para corregirlas

El cobro de tasas retributivas por contaminación se enmarca dentro del grupo de instrumentos económicos utilizados en la política ambiental para mitigar impactos contaminantes, el fundamento teórico de este instrumento se basa en la teoría de las externalidades cuyos desarrollos principales se presentan a continuación².

2.1. Teoría de las externalidades

Desde la perspectiva económica, existe una externalidad, cuando la actividad de un agente económico provoca una pérdida de bienestar a otro agente sin compensarlo por esta pérdida³.

La existencia de una externalidad depende de la percepción que la sociedad tenga del efecto físico causado al medio ambiente. Para cualquier externalidad siempre hay un nivel de mitigación óptimo y la determinación de ese nivel exige un conocimiento de los beneficios privados marginales netos (BPMN) que rinde la actividad causante de la contaminación y de los costos marginales externos (CME), o función de daño, para los afectados por ésta. Maximizar el bienestar de la sociedad implica que el nivel óptimo de la externalidad Q^* , se alcanza en el punto en que los BPMN de la actividad contaminante son iguales a los CME de quienes sufren los efectos de la contaminación. (Véase gráfico 1).

Dos corrientes de pensamiento en la economía ambiental han tratado de corregir el efecto negativo de las externalidades. Una corriente considera que los problemas ambientales se producen porque no hay una delimitación inicial de los derechos de propiedad y al Estado le corresponde ordenar bien los derechos de propiedad del ambiente para que se pueda lograr la solución óptima expuesta en el gráfico 1 (Ronald Coase, 1960). En ausencia de costos de transacción deben presentarse negociaciones entre contaminantes y contaminados definiendo los derechos de propiedad. El óptimo de producción se define a través de los costos de producción y la comercialización de los dere-

-
2. El fundamento teórico de las externalidades está basado en los siguientes autores: PEARCE, David W.; TURNER, Kerry. Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente (1995). COASE, Ronald H. The Problem of Social Cost. Journal of Law or Economics (1960). BAUMOL, W. J. y OATES, W. E. La Teoría de la Política Económica del Medio Ambiente (1971).
 3. Las externalidades pueden ser positivas o negativas. En el caso de las externalidades positivas el mercado no se da cuenta de los beneficios que puede acarrear la producción del bien que genera la externalidad, por lo tanto la solución del mercado sería una solución no óptima. Por ejemplo: la vacunación que impide que un tipo de enfermedad se expanda en la sociedad. Las externalidades negativas son las que provocan pérdida de bienestar para la sociedad sin que los agentes que perciben esa pérdida se vean compensados por ella, por lo tanto son violadas las condiciones marginales de la asignación óptima de recursos.

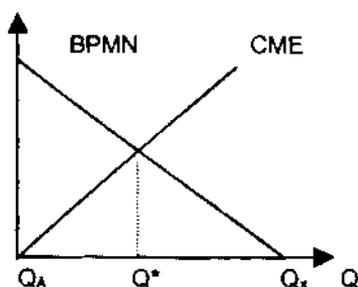
chos de propiedad. El problema consiste en elegir el arreglo social adecuado que haga frente a los efectos perjudiciales.

Al contrario del pensamiento de Coase, donde el Estado solo define los derechos de propiedad, la segunda corriente considera que la intervención estatal con una legislación fuerte es necesaria para fijar tasas e impuestos de carácter obligatorio para poder corregir las externalidades. (A. C. Pigou, 1932). En el gráfico 2, se muestra que un impuesto pigouviano igual a bQ^* , reduce el BPMN del contaminador en el monto del impuesto, llevando a éste a maximizar sus beneficios privados netos, sujetos al impuesto, en el punto Q^* . Los beneficios privados marginales netos se reducen a cero, de modo que los agentes contaminantes no producirán más allá de Q^* .

Gráfico 1

Nivel óptimo de contaminación

Costos y beneficios

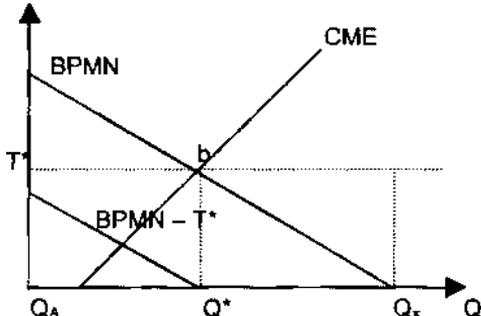


Nivel de actividad económica

Gráfico 2

El impuesto óptimo sobre la contaminación

Costos y beneficios



Nivel de actividad económica

Los gravámenes sobre las emisiones contaminantes, tienen la virtud de usar los mecanismos del mercado para cargar un precio a los servicios ambientales que no han podido ser valorados económicamente. Tienen propiedades de optimización si se conocen tanto los costos del daño como los costos de mitigación, y aún si no se conocen éstos, tienen propiedades de menor costo.

En la práctica resulta muy difícil tener una medida aproximada del costo marginal externo (CME) pues se requiere poder determinar, a través de investigaciones, el daño ambiental que la sociedad está percibiendo y mediante acuerdos sociales lograr establecer cuál es el grado de contaminación que ella está dispuesta a soportar o no.

Los sesgos de información existentes para determinar la curva de CME hacen que sea muy difícil aplicar en la práctica un impuesto pigouviano. Por esto, resulta necesario que en el diseño de políticas ambientales el cálculo de gravámenes o subsidios se haga con base en información lo más cercana

posible, en donde la valoración económica del medio ambiente⁴ se constituye en una herramienta útil para el diseño de políticas ambientales.

En el presente estudio se pretende suministrar información que permita aproximarse a una medida económica del daño ambiental generado por la actividad cafetera en la cuenca del río San Juan.

2.2. La tasa retributiva

El primero de abril de 1997, el Ministerio del Medio Ambiente expidió el Decreto 901 "por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas". La tasa retributiva por vertimientos puntuales es un instrumento económico basado en el cobro de una tasa por cada kilogramo de elementos contaminantes (DBO₅ y SST) que se viertan a las fuentes. Su objetivo consiste en inducir al productor a encontrar alternativas que le permitan disminuir sus emisiones al menor costo.

La tasa retributiva colombiana tiene su fundamento bajo el principio "el que contamina paga". Su diseño provee un instrumento costo-efectivo, que permite a todos los agentes reducir su contaminación hasta un nivel donde se igualen el costo marginal de mitigación (o de unidad adicional descontaminada) con el valor de la tasa por unidad de contaminación. De esta forma, se igualan los costos marginales de mitigación entre los agentes regulados, obteniendo una meta de reducción de contaminación, predeterminada por la comunidad, la cual se logra al mínimo costo total para la empresa, el sector y la economía⁵.

Las principales características de la tasa retributiva diseñada por el Ministerio del Medio Ambiente en virtud del decreto 901, son las siguientes:

- La comunidad regional concerta la meta de reducción total de contaminación deseada para sus cuerpos de agua.
- La entidad regulada tiene flexibilidad total en su forma de reducir la contaminación, buscando minimizar sus costos.
- La tasa será implementada en forma gradual durante cinco años partiendo de una tasa mínima la cual se irá incrementando semestralmente, con el fin de generar una presión económica que obligue a la entidad regulada a buscar opciones de descontaminación lo menos costosas posibles.
- Al alcanzar la meta regional de calidad ambiental preestablecida, no se podrá subir más la tasa.

4. La valoración económica se define como el intento de asignar valores cuantitativos a los bienes, servicios y atributos proporcionados por los recursos naturales y el medio ambiente independientemente de que éstos tengan o no mercado. Es una herramienta que permite medir bajo una unidad común las pérdidas y ganancias para la sociedad de conservar, utilizar o destruir los recursos naturales.

5. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. *Aguas Limpias para Colombia al Menor Costo. Implementación de las Tasas Retributivas por Contaminación Hídrica*. Bogotá, 1999, pp. 7-10.

- Produce el mínimo costo a nivel de empresa, sector y economía de obtener los niveles de calidad ambiental deseada para la sociedad.

Las autoridades ambientales son las directamente encargadas de la implementación y cobro de la tasa retributiva en sus correspondientes jurisdicciones. El cobro tiene como valor base la tarifa mínima por kilogramo de sustancia contaminante, se calcula anualmente reajustando la tarifa del año anterior con el IPC⁶.

El propósito del cobro de esta tasa es crear el incentivo para la adopción de tecnologías más limpias a través del tiempo, ya que las empresas reguladas se verán obligadas a buscar nuevas alternativas que permitan reducir su contaminación en forma costo-efectiva. Esto proporciona a los agentes la flexibilidad para escoger entre invertir en las distintas tecnologías de mitigación de la contaminación ofrecidas en el mercado y el pago de la tasa.

La Cuenca del río San Juan está bajo la jurisdicción de la Corporación Regional del Centro de Antioquia CORANTIOQUIA, entidad encargada del cobro de la tasa retributiva a todos los usuarios que realicen descargas de residuos líquidos a las fuentes de agua de la región. En esta cuenca se estableció una meta de reducción de la contaminación de cero por ciento (0%) para cuatro tramos de la misma, implicando con esto, que los usuarios no deben incrementar los niveles de contaminación por SST y DBO₅ que vierten al río San Juan. En el año 2001, el envío de facturas se efectuó en los meses de noviembre y diciembre y su valor correspondió a la carga contaminante vertida durante el primer semestre del mismo año. Los recaudos por tasa retributiva están destinados a programas de mejoramiento de la calidad de las fuentes de agua que se encuentran con mayores problemas de contaminación.

Debido a que la aplicación de la tasa retributiva implica la implementación de tecnologías limpias, en este estudio se realiza un análisis de lo que ha significado la implementación de este instrumento para un sector regulado de la cuenca del río San Juan.

3. Valoración económica basada en la compensación de los impactos ambientales (costos de mitigación)

Una medida del daño causado por la contaminación consiste en el cálculo de los costos incurridos para solucionar la externalidad negativa. En este cálculo se tiene en cuenta el costo efectuado por los agentes económicos en la implementación de sistemas de mitigación de la contaminación, como también, el monto a pagar por los daños ambientales residuales ocasionados por la actividad económica.

Este enfoque de la compensación de daños ambientales, parte del concepto de "desarrollo sostenible". La idea es que cuando una actividad económica genere impactos negativos sobre el stock de capital natural de la econo-

6. Establecida por la Resolución 0273 de 1997 y cuyo incremento anual con base en el IPC del año inmediatamente anterior lo establece la Resolución 0372 de 1998.

mía, será necesario la implementación de mecanismos que tengan como objetivo minimizar los impactos negativos causados al ambiente, logrando una recuperación del stock de capital natural.⁷

A continuación se realiza un análisis del aporte contaminante de la actividad cafetera a la cuenca del río San Juan. Siendo el beneficio del café una de las etapas productivas que genera mayor impacto contaminante en los cuerpos de agua, se analizan los diferentes sistemas de beneficio del café, convencional y ecológico, que son utilizados en las fincas de la región. Este análisis se realiza con base en información suministrada por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia, acerca de los tipos de beneficio ecológico implementados en la cuenca desde el año 1995, y con el fin de establecer la inversión realizada por el sector cafetero en la implementación de tecnologías limpias (beneficio ecológico).

Además, se realiza un examen del monto que deben pagar los cafeteros a las autoridades ambientales por concepto de tasa retributiva, debido a la contaminación que no logra ser mitigada a través del uso de tecnologías limpias (beneficio ecológico).

Este monto debe ser proporcional al nivel de contaminación (de DBO y SST) depositado en los cuerpos de agua.

La suma de la inversión realizada en la implementación de la tecnología limpia más los montos pagados por concepto de tasa retributiva, constituyen los costos en los que debe incurrir el sector cafetero para mitigar el impacto contaminante de su producción (costos de mitigación). La medida de estos costos es una aproximación indirecta al valor económico del daño causado a la cuenca.

4. Valoración económica del impacto de la contaminación por el método de costos de mitigación en la cuenca del río San Juan

El beneficio del café

El beneficio del café constituye la última etapa y una de las más importantes dentro de la producción cafetera. En términos de costos representa entre el 30 y el 40 por ciento de los costos totales de la caficultura.

El sistema de beneficio comúnmente empleado en Colombia consiste en el uso de agua en el despulpado, en el transporte de la pulpa a las fosas, en el lavado del mucilago fermentado el cual es arrojado a las cañadas o quebradas junto con las aguas del transporte de la pulpa. Estas aguas son las que componen las aguas residuales del beneficio húmedo del café en Colombia⁸.

7. MENDIETA, Juan Carlos. *Manual de Valoración Económica de Bienes no Mercadeables, Aplicaciones de las técnicas de valoración no mercadeables y el análisis de costo beneficio y medio ambiente*. CEDE, julio de 1999, pp. 35-36.

8. Véase documento de CENICAFÉ: *Beneficio Ecológico del Café*. Programa de Post-cosecha, febrero, 1995.

Sistemas de beneficio del café

- **Sistema convencional**

En el beneficio húmedo del café el elemento esencial lo constituye el agua, pues se requieren de 30 a 40 litros de agua para beneficiar un kilogramo de café pergamino seco. El gasto necesario de agua para beneficiar 1 kilogramo de café pergamino seco en las diferentes etapas del beneficio tradicional, se muestra en la tabla 1:

Tabla 1

Gasto de agua en las diferentes etapas del beneficio tradicional del café

Etapas de beneficio	Consumo de agua
Transporte de la cereza de las tolvas húmedas a las Despulpadoras y despulpado.	5 litros por Kg de café pergamino seco procesado. Equivalente a 1 litro por Kg de café cereza despulpado.
Transporte de café en baba de las despulpadoras a las zarandas; de éstas a los tanques fermentados y de éstos a la zona de lavado.	5 litros por Kg de café pergamino seco procesado.
En el lavado, utilizando el canal de correteo	15 litros por Kg de café pergamino seco procesado. Equivalente a 8.1 litros por Kg de café pergamino seco.
Arrastre de pulpa.	15 litros por Kg de café pergamino seco procesado. Equivalente a 6.3 litros por Kg de pulpa húmeda transportada.
Total gasto de agua por 1 Kg de café pergamino seco procesado.	40 litros de agua.

Fuente: COMITÉ DEPARTAMENTAL DE CAFETEROS DE ANTIOQUIA "El Beneficio del Café".
Primera edición. Septiembre de 1991, Medellín, Colombia.

- **Sistemas de limpieza o beneficio ecológico**

El beneficio ecológico se puede clasificar en seis categorías dependiendo de la cantidad de agua utilizada y del manejo de los residuos, pulpa y mucilago. Estas categorías se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2
Sistemas de beneficio ecológico

Tipo de beneficio	Característica	Uso del agua
Beneficio Ecológico 1. BE1	Tolva húmeda. Despulpado y lavado en agua. Pulpa en fosa. Aguas de despulpado y lavado a la fuente.	40 litros de agua por Kg de café pergamino seco.
Beneficio Ecológico 2. BE2	Tolva seca. Despulpado y pulpa en fosa sin agua. Mucilago y agua de lavado a la fuente.	15 litros de agua por Kg de café pergamino seco.
Beneficio Ecológico 3. BE3	Tolva seca. Despulpado sin agua. Lavado en tanque. Pulpa en fosa. Mucilago y agua de lavado a la fuente.	5 litros de agua por Kg de café pergamino seco.
Beneficio Ecológico 4. BE4	Tolva seca. Despulpado sin agua. Lavado en tanque. Pulpa en fosa. Primer enjuague sobre la pulpa, enjuague para regar la pulpa.	5 litros de agua por Kg de café pergamino seco.
Beneficio Ecológico 5. BECOLSUB. BE5	Tolva seca. Despulpado sin agua. Desmucilagador-lavador. Mezcla mucilago y pulpa con tornillo y a la fosa. Lixiviados a la fuente.	1 litro de agua por Kg de café pergamino seco.
Beneficio Ecológico 6.* BECOLSUB. BE6	Tolva seca. Despulpado sin agua. Desmucilagador-lavador. Mezcla mucilago y pulpa con tornillo y a la fosa. Lixiviados a lombricultivo.	1 litro de agua por Kg de café pergamino seco.

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros. Comité Departamental de Antioquia. Sección Beneficio, 2001.

* Este sistema de beneficio no genera contaminación a las fuentes de agua.

Dado el impacto ambiental causado por el proceso de beneficio convencional, CENICAFÉ desarrolló procedimientos para practicar el beneficio ecológico, el cual se ha venido implementando desde hace algunos años. Desde 1995, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia ha adelantado un proceso de cambio a los sistemas de beneficio ecológico de tipo 3 (BE3) y de tipo 5 (BE5). De esta manera hasta 2001 se han transformado, con aportes de la Federación, 840 beneficiaderos⁹ que en su gran mayoría (76,2%) han adoptado el sistema BE3.

9. Cabe anotar que se han transformado beneficiaderos de forma individual sin la ayuda de la Federación. De éstos no se tiene conocimiento porque la Federación no lleva un censo de los sistemas de beneficio que se utilizan en las fincas de la zona.

Cuadro 1

Número de beneficiaderos transformados en la cuenca del río San Juan con aportes de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

Municipio	Total	BE3	BE5
Andes	395	369	26
Betania	81	71	10
C. Bolívar	156	96	60
Jardín	147	116	31
Salgar	61	56	5
Total	840	708	132

Fuente: Elaboración propia con base en la información sobre la implementación del beneficio ecológico. Legalización Bogotá, 2001. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Como se había mencionado, en el proceso de beneficio del café quedan como residuos en las aguas la pulpa y el mucilago. Aunque estos elementos no son considerados como tóxicos o venenosos, producen contaminación debido a que su materia orgánica se disuelve en el agua ocasionando pérdida de oxígeno. Se ha estimado que la pulpa y el mucilago contenidos en un kilogramo de café cereza pueden restarle todo el oxígeno a 5,7 metros cúbicos de agua, produciéndole una rápida putrefacción. (CENICAFÉ, 1996). En el cuadro 2, aparecen los niveles de contaminación que el sistema convencional generaría en la cuenca del río San Juan si se asume que todas las fincas cafeteras de la región utilizan este sistema. Para este cálculo se tuvieron en cuenta los valores presuntivos de carga contaminante elaborados por CENICAFÉ, los cuales aparecen en el cuadro 3.

Cuadro 2

Contaminación generada por el sistema de beneficio convencional si se considera que todas las fincas lo utilizan. Datos de 2001

Municipio	Nº fincas	Producción @ cps	Contaminación Sist. Convencional	
			DBO ₅ Kg	SST Kg
Andes	4.817	1.377.849	4.946.477,9	4.800.425,9
Betania	1.164	623.288	2.237.603,9	2.171.535,4
C. Bolívar	1.980	1.246.750	4.475.832,5	4.343.677
Jardín	1.656	398.919	1.432.119,2	1.389.833,8
Salgar	2.734	784.228	2.815.378,5	2.732.250,4
Total	12.351	4.431.034	15.907.412,1	15.437.722,5

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia.

Cuadro 3**Valores presuntivos de carga contaminante para cada sistema de beneficio**

Tipo beneficio	Tipo contaminación	Contaminación Kg/ @ cps
Convencional	DBO ₅	3,59
	SST ⁵	3,484
BE1	DBO ₅	2,5489
	SST ⁵	1,226
BE2	DBO ₅	1,120
	SST ⁵	0,3484
BE3	DBO ₅	0,944
	SST ⁵	0,209
BE4	DBO ₅	0,5385
	SST ⁵	0,118
BE5	DBO ₅	0,287
	SST ⁵	0,038
BE6	DBO ₅	0
	SST ⁵	0

Fuente: CENICAFÉ, 1997.

Con un nivel de producción total, para la cuenca, de 4.431.034 @ de café pergamino seco (cps), el sistema convencional representaría una contaminación, para el año 2001, de 15.907.412,1 kilogramos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y 15.437.422,5 kilogramos de sólidos suspendidos totales (SST); lo que equivaldría a la cantidad de DBO₅ que generaría en un año una población de 1.037.665 habitantes o a la cantidad de SST que produciría en un año una población de 845.886 habitantes¹⁰.

Clasificando las fincas cafeteras por tamaño de área sembrada y asumiendo como pequeñas aquellas que poseen hasta 3 hectáreas, como medianas las que tienen más de 3 hectáreas hasta 10 y como grandes las que superan las 10 hectáreas, se puede determinar qué tamaño de finca contribuye más a la contaminación si se supone que todas benefician con el sistema convencional.

10. Cálculos elaborados teniendo en cuenta las constantes identificadas por el Ministerio del Medio Ambiente, las cuales definen que una persona en un día genera 0.042 Kg de DBO y 0.050 Kg de SST.

Cuadro 4

Contaminación que generaría en toda la cuenca el sistema de beneficio convencional considerando los tamaños de fincas. Datos de 2001

Municipio	Fincas		Cont. Sist. Convencional		Fincas		Cont. Sist. Convencional		Fincas		Cont. Sist. Convencional	
	Pequeñ.	Prod.	DBO ₅ Kg	SST Kg	med.	Prod.	DBO ₅ Kg	SST Kg	grandes	Prod.	DBO ₅ Kg	SST Kg
	No.	@ cps			No.	@ cps			No.	@ cps		
Andes	4.148	491.250	1.763.587,5	1.711.515	547	462.714	1.661.143,3	1.612.095,6	122	423.885	1.521.747,2	1.476.815,3
Betania	731	98.154	352.372,9	341.968,5	312	197.414	708.716,3	687.790,4	121	327.720	1.176.514,8	1.141.776,5
C. Bolívar.	1.391	180.642	648.504,8	629.356,7	380	295.176	1.059.681,8	10.280.393,2	209	770.932	2.767.645,9	2.685.927,1
Jardín	1.466	209.715	752.876,9	730.647,1	176	141.504	507.999,4	492.999,9	14	47.700	171.243	166.186,8
Salgar	2.249	241.380	866.554,2	840.967,9	389	286.720	1.029.324,8	998.932,5	96	256.128	919.499,5	892.350
Total	9.985	1.221.141	4.383.896	4.254.455	1.804	1.383.528	4.966.865,5	4.820.211,6	562	1.826.365	6.556.650,4	6.363.055,7

Fuente: Elaboración propia con base en información del Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia.

Si se observa el cuadro 4, se encuentra que en los municipios de Andes y Jardín, que poseen una caficultura especialmente de minifundio, las fincas pequeñas contribuyen en primer lugar con la contaminación, seguidas por las fincas medianas y grandes. En los municipios de Betania y Ciudad Bolívar son las fincas grandes las que más contribuyen a la contaminación, seguidas por las fincas medianas y pequeñas. El municipio de Salgar presenta una circunstancia diferente a los otros, ya que en este municipio las fincas medianas son las que más aportan a la contaminación y luego las grandes y las pequeñas.

En el beneficio ecológico, solamente el desulpado sin agua y la disposición de la pulpa en fosas evita aproximadamente el 72% de la contaminación. Para evitar más del 95% de la contaminación es necesario además transportar la pulpa por medios no hidráulicos, desmucilaginar mecánicamente el café y adicionar el mucilago concentrado a la pulpa (CENICAFÉ, 1995).

En los cuadros 5 y 6, se puede apreciar la cantidad de kilogramos de DBO₅ y SST producida por cada tipo de beneficio ecológico¹¹ en cada municipio de la cuenca, así como también, los porcentajes totales de mitigación de la contaminación. Se trabaja igualmente con los datos presuntivos de carga contaminante suministrados por CENICAFÉ para cada sistema de beneficio ecológico considerado.

11. Se asume que se beneficia toda la producción con cada uno de los 5 sistemas de beneficio considerado. No se tiene en cuenta el BE6 ya que éste no genera contaminación a los cuerpos de agua.

Cuadro 5**Mitigación de la contaminación por DBO₅ con la aplicación de sistemas de beneficio ecológico, en la cuenca del río San Juan**

Municipio	Producción @ cps	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) Kg				
		BE1	BE2	BE3	BE4	BE5
Andes	1.377.849	3.511.999,3	1.543.190,9	1.300.689,5	741.971,7	395.442,7
Betania	623.288	1.588.698,8	698.082,6	588.383,9	335.640,6	178.883,7
C. Bolívar	1.246.750	3.177.841,1	1.396.360,0	1.176.932,0	671.374,9	357.817,3
Jardín	398.919	1.016.804,6	446.789,3	376.579,5	214.817,9	114.489,8
Salgar	784.228	1.998.918,8	878.335,4	740.311,2	422.306,8	225.073,4
Total	4.431.034	11.294.262,6	4.962.758,1	4.182.896,1	2.386.111,8	1.271.706,8
% de mitigación		29	68,8	73,7	85	92

Fuente: Elaboración propia a partir de la información suministrada por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia. Sección Beneficio.

Cuadro 6**Mitigación de la contaminación por SST con la aplicación de sistemas de beneficio ecológico, en la cuenca del río San Juan**

Municipio	Producción @ cps	Sólidos suspendidos (SST) Kg				
		BE1	BE2	BE3	BE4	BE5
Andes	1.377.849	1.689.242,8	480.042,6	287.970,4	162.586,2	52.358,3
Betania	623.288	764.151,1	217.153,5	130.267,2	73.548,0	23.684,9
C. Bolívar	1.246.750	1.528.515,5	434.367,7	260.570,8	147.116,5	47.376,5
Jardín	398.919	489.074,7	138.983,4	83.374,1	47.072,4	15.158,9
Salgar	784.228	961.463,5	273.225,0	163.903,7	92.538,9	29.800,7
Total	4.431.034	5.432.447,7	1.543.772,3	926.086,1	522.862,0	168.379,3
% de mitigación		64,8	90	94	96,6	98,9

Fuente: Elaboración propia a partir de la información suministrada por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia. Sección Beneficio.

Los resultados de los cuadros anteriores, expresan que con el sistema BE3 se logra mitigar el 73,7% de DBO₅ y 94% de SST; y con el sistema BE5, el porcentaje de mitigación es del 92% para DBO₅ y 98,9% para SST, lo que representa que estos sistemas se constituyen mecanismos de limpieza de la contaminación efectivos y susceptibles a seguir siendo implementados en las fincas cafeteras de la cuenca.

4.1. Costos de implementación de los sistemas de beneficio ecológico

Considerando el promedio de producción de las fincas de la cuenca (cuadro 7) y los costos de implementación del beneficio ecológico (cuadro 8), es

posible tener una idea de los costos de reforma al beneficio ecológico. Para las pequeñas, teniendo en cuenta que estas fincas son minifundios de subsistencia, la reforma de sus sistemas de beneficio convencional al BE3 se dificulta mucho y en el caso del sistema BE5 su implementación resulta casi imposible por los altos costos que ésta representa. En las fincas medianas los costos de reforma oscilarían entre \$3.778.980 y \$5.508.772 dependiendo del sistema de beneficio ecológico a implementar. Para las fincas grandes, los costos de reforma estarían alrededor de los \$7.115.920 para BE3, y \$14.035.088 para BE5.

Cuadro 7
Promedio de producción por tamaño de finca año 2001

Municipio	Promedio de producción @ cps		
	Tipo de finca		
	pequeña	mediana	grande
Andes	118	846	3.474
Betania	134	633	2.708
Ciudad Bolívar	130	777	3.689
Jardín	143	804	3.407
Salgar	107	737	2.668
Prom. Total	127	759	3.189

Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 3.

Cuadro 8
Costos de implementación de los sistemas BE3 y BE5

Producción en @ de café año	Costo promedio de obras	
	Reforma hasta	
	Alternativa B3	Alternativa B5
- 300	533.694	
301 - 600	2.067.388	4.105.263
601 - 1.000	3.778.980	5.508.772
1.001 - 2.000	4.557.960	8.017.544
2.001 - 4.000	7.115.920	14.035.088
4.001 - 6.000	10.673.880	21.052.633
6.001 - 8.000	14.231.840	28.070.177
8.001 - 12.000	21.347.760	42.105.265
12.001 - 15.000	26.684.700	52.631.582
15.001 - 18.000	32.021.640	63.157.898
18.001 - 22.000	39.137.560	77.192.987

Fuente: Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia. Sección Beneficio, 2002.

Valoración de los costos de mitigación de la contaminación

La valoración de la contaminación, a través de los costos incurridos por los caficultores en la conversión del sistema de beneficio convencional al beneficio ecológico, se hizo considerando la información suministrada por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia, acerca de los sistemas BE3 y BE5, implementados desde 1995 en la Cuenca del río San Juan con aportes de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia¹².

El procedimiento para realizar la valoración de los costos de mitigación se efectuó en dos pasos:

- Paso 1: Se tomaron los datos para cada municipio y se clasificaron las fincas según el sistema de beneficio adoptado bien sea BE3 o BE5. Luego, para cada sistema de beneficio se ordenaron las fincas según la cantidad de hectáreas en café. Se consideraron tres rangos de área: fincas pequeñas, hasta 3 hectáreas; fincas medianas, más de 3 hasta 10 hectáreas; y fincas grandes, más de 10 hectáreas.
- Paso 2: Una vez clasificados los sistemas BE3 y BE5 implementados por municipio, se actualizaron los valores monetarios de la implementación de estos sistemas al año 2001, de acuerdo con el IPC. Por último, se obtuvo el valor total de mitigación de la contaminación a precios de 2001.

En total, los costos de mitigación para la cuenca del río San Juan ascendieron, en el año 2001, a \$4.016.732.448; de los cuales \$2.595.423.307 correspondieron a la implementación del sistema de beneficio BE3 y \$1.421.309.141 a la del sistema BE5.

Cuadro 9
Costos totales de mitigación y porcentajes por municipio

Municipio	Sistemas BE3 y BE5	Valor total \$ de 2001	Porcentaje
Andes	395	1.390.078.764	35
Betania	81	396.043.788	9,9
C. Bolívar	156	1.287.503.154	32
Jardín	147	580.196.899	14,4
Salgar	61	362.909.843	9
Total	840	4.016.732.448	100

Fuente: Elaboración propia a partir de la información suministrada por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia. Sección Beneficio.

12. Es importante dejar en claro que también se han implementado en la región beneficios ecológicos de manera individual, de éstos no se tiene conocimiento por la carencia de censos para determinar el sistema de beneficio de cada finca.

Valoración del pago de la tasa retributiva

Por el excedente de carga contaminante que no logra ser removida a través del beneficio ecológico, los productores deben pagar a las autoridades ambientales un monto por concepto de tasa retributiva proporcional a los niveles de contaminación descargados a los cuerpos de agua.

Para establecer el costo incurrido por concepto del cobro de tasa retributiva en la cuenca del río San Juan, se tomaron las fincas que habían implementado los sistemas BE3 y BE5 y se procedió a determinar el monto a pagar, multiplicando la tasa retributiva del año 2001 por la contaminación generada en el año. Luego, se determinó la contaminación producida por el resto de fincas de la cuenca, asumiendo que el sistema empleado es el convencional y se procedió a estimar el costo de esta contaminación. Finalmente, se sumaron todos los resultados. (Esto se hizo bajo el supuesto de que todas las fincas de la cuenca están obligadas a pagar la tasa retributiva). El resultado de la valoración se resume en el cuadro 10.

Cuadro 10

Costo de la contaminación por pago de tasa retributiva para los diferentes sistemas de beneficio, año 2001

Municipio	Costo de la contaminación por Tasa Retributiva (\$). Año 2001						Total
	BE3		BE5		Convencional		
	DBO ₅	SST	DBO ₅	SST	DBO ₅	SST	
Andes	16.926.716	1.603.434	1.171.479	66.365	239.824.547	98.582.102	359.174.643
Betania	4.082.283	386.707	347.459	19.684	124.364.904	51.639.913	180.840.950
Ciudad Bolívar	8.337.543	789.799	3.477.922	197.027	213.300.452	88.568.530	314.671.273
Jardín	4.209.946	398.800	519.976	29.456	69.799.890	28.982.937	103.941.005
Salgar	2.567.732	243.236	139.623	7.909	169.967.792	70.575.553	243.501.845
Total	36.124.220	3.421.976	5.658.459	320.441	817.257.585	338.349.035	1.202.129.716

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia. Beneficio Ecológico.

En total, en la cuenca del río San Juan para el año 2001 el monto por cobro de tasa retributiva (asumiendo que este cobro se realiza a todos los tamaños de finca) representa la suma de \$1.202.129.716.

Considerando que el monto a pagar por tasa retributiva disminuye con la implementación de las tecnologías limpias, es posible determinar el ahorro que se está realizando en la cuenca por concepto de este pago y debido a la incorporación de los beneficios ecológicos de tipo 3 y 5. El cuadro 11 muestra cuál es este ahorro.

Cuadro 11
Ahorro por pago de tasa retributiva por la incorporación
de tecnologías limpias

Muni- cipio	Ahorro por tasa retributiva por incorporación de BE3 y BE5 (\$). Año 2001					
	BE3			BE5		
	sin tecn. Limp.	con tecn. Limp.	Ahorro	sin tecn. Limp.	con tecn. Limp.	Ahorro
Andes	91.100.734	18.530.150	72.570.585	20.738.328	1.237.844	19.500.484
Betania	21.971.126	4.468.990	17.502.136	6.150.952	387.142	5.783.810
Ciudad						
Bolívar	44.873.223	9.127.342	35.745.882	61.568.570	3.674.949	57.893.621
Jardín	22.656.214	4.608.745	18.049.469	9.204.979	549.433	8.655.546
Saigar	13.819.708	2.810.988	11.008.740	2.471.712	147.533	2.324.178
Total	194.423.007	39.546.195	154.876.812	100.134.541	5.976.902	94.157.639
Porcentaje de ahorro %			80	94		

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia. Beneficio Ecológico.

4.2. Valoración total del impacto contaminante por el método de costos de mitigación y pago por tasa retributiva

El resultado final de la valoración del impacto contaminante en la cuenca del río San Juan, sumando los costos de mitigación y los costos por pago de tasa retributiva es igual a \$5.218.862.164. Esto representa lo que le cuesta a los productores internalizar teniendo como base los costos de reducción (limpieza), costos de implementar tecnología y el pago de la tasa retributiva.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

Se pretende demostrar los efectos del cobro de la tasa retributiva sobre la producción total, el uso de insumos y las decisiones de control de la contaminación de una firma (finca cafetera promedio) que minimiza costos y que durante su proceso productivo emite sustancias contaminantes.

La solución a este problema se plantea dentro de un esquema de optimización, que parte del planteamiento de una minimización de costos, donde las funciones de costos de control de la contaminación se incorporan al problema de optimización¹³:

13. Autores como: JORGENSON, D. W. and WILCOXEN, P. J. (1993); HAZILLA, M. and KOPP, R. J. (1990) y CONRAD, K. and SCHRÖDER, M. (1993); plantearon este tipo de metodologías para analizar los efectos de la regulación de la contaminación ambiental sobre las variables económicas, donde los costos de control son incorporados a modelos de optimización.

Min Costo total = Costos de producción + $t(1 - p) \times E_p$ + Costos de control $x(p)$

sujeto a. Función de producción: $F(X_1, X_2, \dots)$.

Función de costos de control de la contaminación.

Esta expresión plantea la minimización de los costos totales de una firma promedio, donde el costo total es la suma de los costos normales de producción más el monto de dinero que la firma tendría que pagar por las emisiones que no controla más lo que pagaría por las emisiones que controla, en donde:

t = valor de la tasa retributiva

p = grado de control de las emisiones

E_p = emisiones actuales potenciales

Costos de control = costos de la tecnología limpia

La técnica matemática utilizada para resolver este problema de minimización de costos con más de una restricción, fue la Programación Lineal.

La función objetivo para el problema a resolver contiene tres variables de elección y tres restricciones y se plantea de la siguiente manera:

$$\text{Min } Z = C_1 Y_1 + C_2 Y_2 + C_3 Y_3$$

$$\text{sujeto a } a_{11} y_1 + a_{12} y_2 + a_{13} y_3 \leq r_1$$

$$a_{21} y_1 + a_{22} y_2 + a_{23} y_3 \leq r_2$$

$$a_{31} y_1 + a_{32} y_2 + a_{33} y_3 = r_3$$

Donde:

Y_1, Y_2, Y_3 (las Y_i), son las variables de elección o decisión del problema que representan las cantidades físicas que pueden variar en el problema. Se definen de la siguiente manera:

Y_1 = Cantidad de arrobas de cps que se beneficiarían sin tecnología limpia (sistema de beneficio convencional).

Y_2 = Cantidad de arrobas de cps que se beneficiarían en el sistema BE1 para fincas pequeñas y en el BE3 para fincas medianas y grandes.

Y_3 = Cantidad de arrobas de cps que se beneficiarían en el sistema BE3 para fincas pequeñas y en el BE5 para fincas medianas y grandes.

C_1, C_2, C_3 (los C_i), simbolizan los coeficientes constantes asociados a las variables de elección. Los C_i son los costos totales de producir una arroba de cps y representan la contribución por unidad de la variable Y_i al valor de la función objetivo Z . El valor de los C_i se define así:

1. Finca pequeña:

C_1 = Costo total de producción + pago por concepto de tasa retributiva para sistema de beneficio convencional (sin tecnología limpia).

C_2 = Costo total de producción + pago por concepto de tasa retributiva para el sistema BE1 + pago por implementación de la tecnología limpia BE1.

C_3 = Costo total de producción + pago por concepto de tasa retributiva para el sistema BE3 + pago por implementación de la tecnología limpia BE3.

2. Fincas mediana y grande:

C_1 = Costo total de producción + pago por concepto de tasa retributiva para sistema de beneficio convencional (sin tecnología limpia).

C_2 = Costo total de producción + pago por concepto de tasa retributiva para el sistema BE3 + pago por implementación de la tecnología limpia BE3.

C_3 = Costo total de producción + pago por concepto de tasa retributiva para el sistema BE5 + pago por implementación de la tecnología limpia BE5.

Las dos primeras restricciones tienen que ver con la carga contaminante máxima permitida. La primera restricción hace referencia a la carga contaminante de DBO_5 y la segunda a la de SST. Las a_i constituyen los coeficientes tecnológicos y representan la cantidad de contaminación aportada por la producción cafetera a la carga contaminante total de la cuenca, considerando cada sistema de beneficio bien sea convencional o ecológico; por lo tanto, representan tasas físicas de sustitución que señalan la tasa a la cual se pasa de un sistema de beneficio a otro para cumplir con la meta de contaminación convenida para el semestre¹⁴. Las r_i son la línea base o cantidad máxima de contaminación que es permitida en la cuenca y corresponde a un valor numérico, en kilogramos, el cual se coloca en el lado derecho de las restricciones. La última restricción corresponde a la producción total en arrobas de cps, por semestre y por tipo de finca.

5.1. Construcción de la información para plantear el modelo de Programación Lineal

Con base en la información suministrada por la Federación Nacional de Cafeteros, se determinaron los costos de producción para cada uno de los tres tipos de finca teniendo en cuenta el promedio de producción para la cuenca, el cual aparece en el cuadro 7.

14. Estos valores de contaminación están determinados en la Tabla de Tasas Retributivas por Beneficio de Café. Decreto 901 de 1997 Resolución 0237. MINAMBIENTE.

Cuadro 12**Costos de producción para los tres tipos de finca promedio en el año 2001**

Tipo de finca	Producción promedio @ CPS	Área promedio Has.	Precio al productor* \$	Costos totales \$
Pequeña	127	1,5	24.000	5.156.135
Mediana	759	6,5	24.000	14.129.792
Grande	3.189	15,0	24.000	53.276.385

* Precio promedio de la cuenca en el año 2001, determinado con base en datos del precio al productor de la Secretaría de Agricultura.

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia.

Para determinar los datos anuales del costo de la implementación a BE1, BE3 y BE5, se asumió que el sector cafetero financia estas obras con un crédito a cinco años, por lo que se averiguó el costo de esta financiación con FINAGRO, con el fin de distribuir este costo en los cinco años (2001-2005), período de concertación de la meta de reducción de la contaminación para los cafeteros de la región; estos datos encuentran contenidos en el cuadro 13.

Cuadro 13**Costo promedio de reforma a alternativas BE1, BE3 y BE5**

Tipo de finca	Costo (\$) promedio total de reforma a alternativa			Costo (\$) promedio anual de reforma a alternativa		
	BE1	BE3	BE5	BE1	BE3	BE5
Pequeña	201.437	495.768		69.375	170.478	
Mediana		3.510.432	5.117.299		1.208.993	1.762.398
Grande		6.610.237	13.037.704		2.276.565	4.490.185

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia y FINAGRO.

En la cuenca del río San Juan la autoridad ambiental, CORANTIOQUIA, estableció una meta de reducción de la contaminación del cero por ciento (0%), esto quiere decir que la contaminación generada por el sistema de beneficio convencional en el año 2001 no debe ser superada en el quinquenio referido, lo que constituye la Línea Base del proceso de implementación de las tasas retributivas en dicha cuenca. (Informe de Línea Base Cuenca del Río San Juan-Suroeste Antioqueño. Proceso de Implementación del Decreto 901 de 1997 Tasas Retributivas. Subdirección de Recursos Naturales CORANTIOQUIA. Noviembre de 2001). La línea base para BDO_s y SST se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14
Niveles de contaminación que conforman la Línea Base

Tipo de finca	DBO ₅				SST		
	Produc. prom.	Carga contam. Ben. Trad.	Línea base kg/año	Línea base kg/sem.	Carga contam. Ben. Trad.	Línea base kg	Línea base kg/sem.
	@ CPS	kg/@			kg/@		
Pequeña:	127	3,59	455,93	227,97	3,484	442,47	221,23
Mediana	759	3,59	2.724,81	1.362,41	3,484	2.644,36	1.322,18
Grande	3.189	3,59	11.448,51	5.724,26	3,484	11.110,48	5.555,24

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Comité de Cafeteros de Antioquia y el Informe de Línea Base Cuenca del río San Juan, CORANTIOQUIA.

5.2. Construcción de la base de datos para alimentar el modelo de Programación Lineal

Inicialmente se construyó la información de la cuenca para el año 2001 (año en que se comenzó a cobrar la tasa retributiva en la cuenca del río San Juan). Esta información tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- Producción promedio (arrobos de cps).
- Costos fijos y variables.
- Costos de la tecnología limpia.
- Carga contaminante total en kilogramos de DBO₅ y SST total para cada tamaño de finca y para los sistemas de beneficio considerados.
- Tasa retributiva, pesos por kilogramos de DBO₅ y SST.
- Costo de la contaminación total de DBO₅ y SST (Tasa retributiva x carga contaminante, para todos los tipos de beneficio).

Luego se procedió a proyectar los costos de producción, la tarifa mínima de la tasa retributiva y el costo de la contaminación hasta el año 2005, suponiendo una producción constante en el quinquenio. La proyección se realizó considerando la inflación esperada.

Cuadro 15
Costos totales de producción proyectados

Tipo de finca	Costos totales de producción \$				
	Año				
	2001	2002	2003	2004	2005
Pequeña	5.156.135	5.550.579	5.883.614	6.236.630	6.610.828
Mediana	14.129.792	15.210.721	16.123.364	17.090.766	18.116.212
Grande	53.276.385	57.352.028	60.793.150	64.440.739	68.307.183

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Comité de Cafeteros de Antioquia.

Cuadro 16
Tarifa mínima de tasa retributiva proyectada

Indicador de contaminación	Tarifa mínima de tasa retributiva \$/Kg.				
	Año				
	2001	2002	2003	2004	2005
DBO ₅	64,46	69,39	73,55	77,96	82,64
SST	27,58	29,68	31,46	33,35	35,35

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Comité de Cafeteros de Antioquia y CORANTIOQUIA.

Por último, se pasaron los datos totales obtenidos a cifras por arroba de cps con el fin de poder plantear el modelo de PL.

5.3. Escenarios de análisis y modelación

Para el planteamiento del modelo de PL se consideraron tres escenarios de cobro de tasa retributiva y por consiguiente, de costos de la contaminación.

El objetivo del modelo es poder mirar el impacto de la tasa retributiva en la implementación de tecnologías limpias tales como los sistemas BE1 y BE3 para las fincas pequeñas, y BE3 y BE5 para las fincas medianas y grandes.

Para el planteamiento de estos casos la producción anual de cada tipo de finca se repartió en los dos semestres del año, teniendo en cuenta el porcentaje promedio de producción cafetera en la cuenca del río San Juan, que corresponde en el primer semestre de cada año al 30% y en el segundo semestre al 70% de la producción total anual¹⁵. Los escenarios planteados son los siguientes:

- Escenario 1

Se mantienen los niveles de contaminación del año 2001 (línea base) por DBO₅ y SST durante el período 2001-2005. Se empieza con un factor regional de 1 para el primer semestre de 2001 y se deja constante durante todo el quinquenio. El valor a pagar por tasa retributiva está determinado por la tarifa mínima, la cual se incrementa cada año con el IPC. Este caso corresponde a la manera como CORANTIOQUIA ha implementado, hasta ahora, el cobro de la tasa retributiva en la cuenca del río San Juan.

15. La travesía se recoge en los meses de abril y mayo, corresponde en promedio el 30% de la producción total. La cosecha grande se recoge en los meses de octubre y noviembre y corresponde en promedio al 70% del total producido en el año. (FEDERACAFÉ).

- Escenario 2

Se determina una reducción de la contaminación por DBO₅ y SST del 50% para los cinco años considerados. Se empieza con un factor regional de 1 para el primer semestre de 2001 y se deja constante durante todo el quinquenio. El valor a pagar por tasa retributiva está determinado por la tarifa mínima, la cual se incrementa cada año con el IPC.

- Escenario 3

Se determina una reducción de la contaminación por DBO₅ y SST del 50%. Se empieza con un factor regional de 1 para el primer semestre de 2001, el cual se incrementa cada semestre en 0,5 con respecto al semestre anterior. El valor a pagar por tasa retributiva está determinado por la tarifa mínima (la cual se incrementa cada año con el IPC), multiplicada por el factor regional. Para este caso se asume que las fincas no cumplen con la meta de reducción de la contaminación.

Como se tienen ecuaciones lineales tanto en la función objetivo como en las restricciones, este problema es de hecho un problema de PL y como tal se resuelve para los tres escenarios planteados, para los tres tipos de fincas considerados y semestre por semestre para el quinquenio 2001-2005. Esto equivale a 90 corridas del programa de software QSB+, el cual permitirá determinar la mejor decisión en cuanto a la utilización de tecnologías limpias, representadas por los sistemas de beneficio ecológico, dependiendo de los costos de producción, pago por concepto de tasa retributiva y pago por implementación de la tecnología limpia.

5.4. Análisis de los resultados

Las salidas del modelo de PL se tradujeron en términos porcentuales con el ánimo de poder analizar la tendencia señalada por cada escenario de tasa retributiva en los tres casos planteados. Estas tendencias se presentan en los cuadros 17, 18 y 19.

- Escenario 1

El cobro de tasa retributiva planteado no es eficiente para permitir cambio a tecnologías limpias de beneficio del café. Si se considera el primer semestre de cada año en donde la producción cafetera es baja y solamente representa el 30% de la producción anual, la tarifa mínima por sí sola no hace que el costo de la contaminación incentive a los cafeteros a buscar opciones limpias, por lo que prefieren seguir beneficiando de manera convencional. Para el segundo semestre de cada año del quinquenio, en donde la producción cafetera es del 70%, se presenta una leve tendencia a tratar de implementar una tecnología más limpia, esto se debe a que la restricción de la línea base o carga máxima de contaminación permitida empieza a presionar el cambio. Lo importante de resaltar aquí es que la leve tendencia al cambio se mantiene

constante a lo largo del quinquenio, por lo que, la tasa retributiva así cobrada no incentiva a la sustitución de tecnologías convencionales por tecnologías limpias. (Véase cuadro 17).

- Escenario 2

El establecimiento de una meta regional de reducción de la contaminación del 50% para el quinquenio 2001-2005, permite obtener mejores resultados con respecto al escenario 1. Este nuevo escenario muestra una mejor tendencia al cambio de tecnología de beneficio. En el primer semestre de cada año, que como ya se había mencionado corresponde al de baja producción cafetera, sólo muestra tendencia al cambio en el último año del quinquenio en los tres tipos de finca considerados, siendo la tendencia mayor en las fincas mediana y grande.

Este resultado no es del todo satisfactorio ya que el cambio, en estas circunstancias todavía es lento. El segundo semestre del quinquenio, que corresponde a la mayor producción cafetera, muestra una situación un poco diferente aunque no resulta ser eficiente ya que si bien se evidencia una tendencia mayor y progresiva al cambio, éste no se logra completar al final el período, sin embargo, el cumplimiento de la meta regional estimula de manera progresiva el paso de la tecnología convencional a tecnologías limpias tal como se aprecia en el cuadro 18.

- Escenario 3

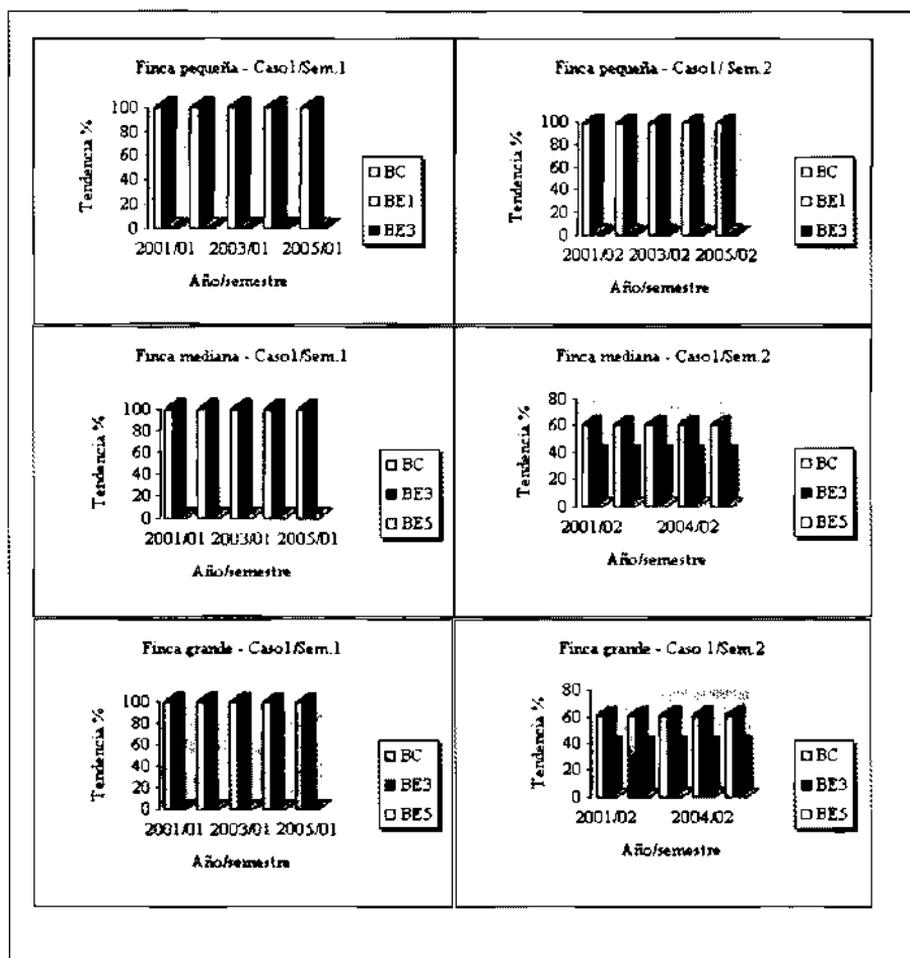
La inclusión del factor regional en la determinación del valor de la tasa retributiva semestral, permite analizar un escenario más riguroso de aplicación de este instrumento económico. Este último escenario, que asume un incremento en la tarifa mínima del 0,5 con respecto al semestre anterior por incumplimiento de la meta regional, lleva a resultados más contundentes en el proceso de sustitución del sistema convencional a uno más amigable con el medio ambiente. Tanto en el primero como en el segundo semestre del período considerado, los tres tipos de fincas establecidos muestran una tendencia al cambio más acelerada y definitiva. Con respecto a las fincas pequeña y mediana, este escenario conduce a que desde el primer semestre del año 2005 se esté beneficiando el café con el sistema BE3; mientras que la finca grande acogerá totalmente este sistema más rápido, desde el primer semestre de 2003. En cuanto a la implementación del BE5, por los altos costos de implementación, con este escenario aún no se logra establecer una tendencia que permita el paso a este sistema más ecológico. El cuadro 19, muestra la dinámica de sustitución hacia el BE3.

En conclusión, los tres escenarios analizados de cobro de la tasa retributiva permiten apreciar diferentes tendencias de sustitución de la tecnología altamente contaminante del recurso hídrico (sistema convencional de beneficio) a tecnologías limpias para el beneficio del café. El escenario 3 conduce a resultados de mayor eficiencia en la aplicación de este instrumento económico, puesto que el proceso de adopción del sistema BE3 se realiza, para los

tres tipos de finca, dentro del período estipulado de cinco años, siendo acogido más rápidamente por la finca grande. El sistema de beneficio BE5 no se logra implementar por causa de sus altos costos.

Cuadro 17

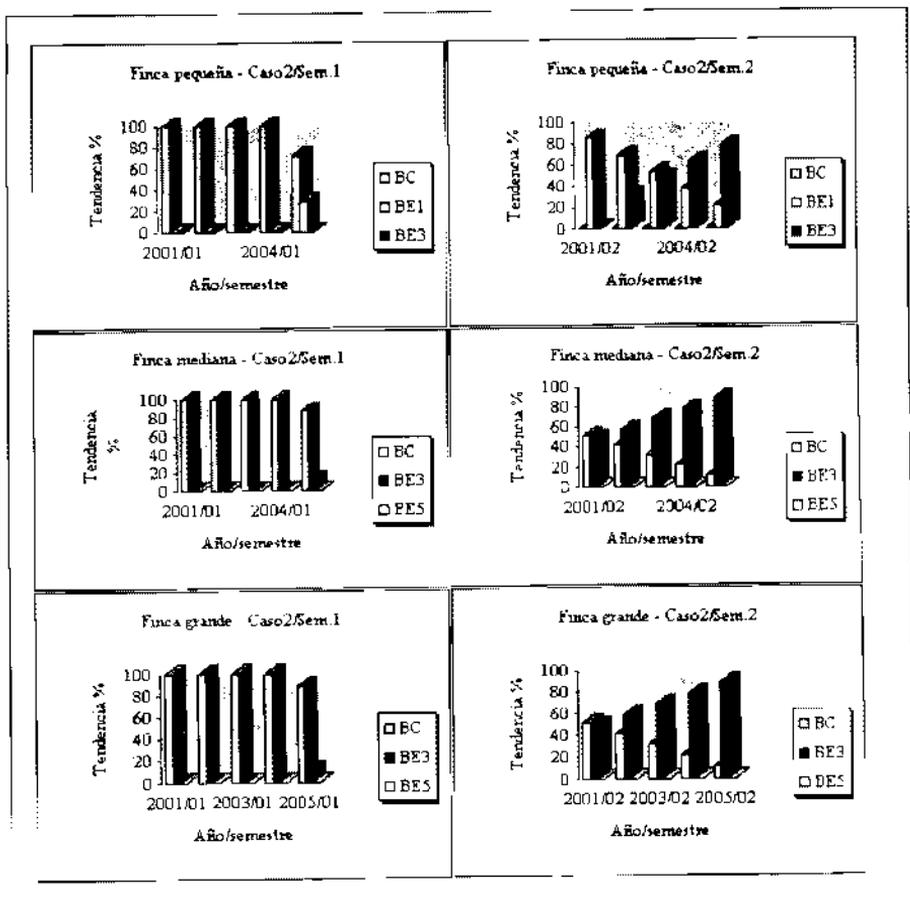
Tendencia al cambio para los tres tipos de finca en el escenario 1



Fuente: Elaboración propia con base en resultados del modelo de PL.

Cuadro 18

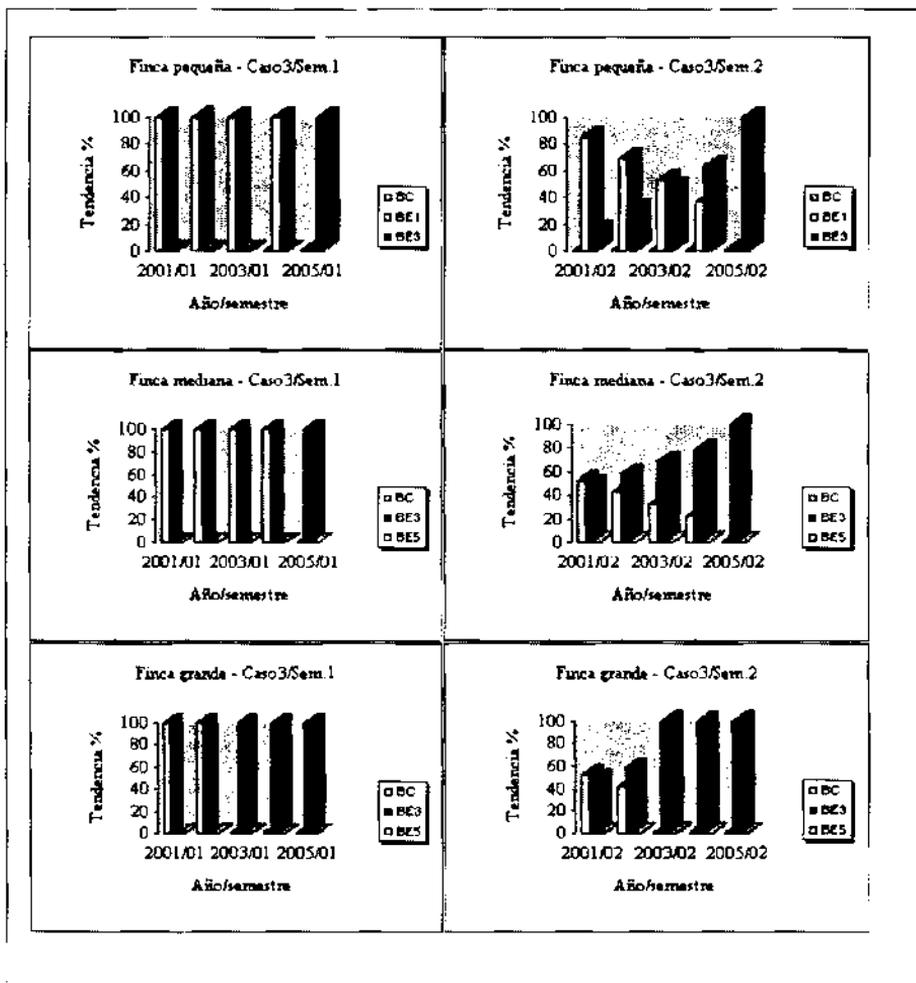
Tendencia al cambio para los tres tipos de finca en el escenario 2



Fuente: Elaboración propia con base en resultados del modelo de PL.

Cuadro 19

Tendencia al cambio para los tres tipos de finca en el escenario 3



Fuente: Elaboración propia con base en resultados del modelo de PL.

6. Conclusiones y recomendaciones

La valoración de la contaminación producida por la caficultura que se desarrolla en la cuenca del río San Juan, se estimó a través de datos presuntivos de carga contaminante de Sólidos Suspendidos Totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno suministrados por CENICAFÉ y CORANTIOQUIA. Para llevar a cabo una valoración real se hace necesario la aplicación de censos cafeteros con el fin de determinar, de una manera más precisa, el sistema de beneficio empleado en cada una de las fincas y la disposición final que éstas hacen de los desechos del beneficio del café.

En los municipios de Andes y Jardín, que poseen una caficultura especialmente de minifundio, las fincas pequeñas (hasta tres hectáreas en café) son las que contribuyen en primer lugar a la contaminación hídrica. En los municipios de Betania y Ciudad Bolívar la contaminación es generada principalmente por la producción cafetera de las fincas grandes (mayores de 10 hectáreas). En el municipio de Salgar la mediana caficultura (más de 3 hectáreas hasta 10) es la que más aporta a la contaminación de los cuerpos de agua.

Comparando con la contaminación que genera el sistema de beneficio convencional, la implementación de sistemas BE3 y BE5 realizada hasta el año 2001, ha implicado una mitigación de la contaminación del 25,4% para DBO₅ y 34,1% para SST. Por lo tanto, estos sistemas de beneficio ecológico, constituyen una opción efectiva como mecanismos de mitigación de la contaminación producida por el sector cafetero en la cuenca del río San Juan.

Se realizó la valoración económica de la contaminación hídrica producida por el sector cafetero en el año 2001, teniendo en cuenta el método de los costos de mitigación, considerando los costos incurridos en la transformación de los sistemas convencionales de beneficio a los sistemas de beneficio ecológico de tipo 3 y 5, solo utilizando los datos reportados por la Federación Nacional de Cafeteros, en el programa de adopción del beneficio ecológico. La valoración económica con este método se complementó con una estimación de los costos por pago de tasa retributiva, para todo tamaño de finca y bajo el supuesto de que todas están obligadas a pagar dicha tasa. En total para la cuenca los costos de mitigación ascendieron al año 2001 a \$4.016.732.448 (a precios constantes de 2001). El monto por tasa retributiva para el año 2001 representó la suma de \$1.202.129.716.

El resultado final de la valoración del impacto contaminante en la cuenca del río San Juan, sumando los costos de mitigación y los costos por concepto de pago de tasa retributiva fue igual a \$5.218.862.164 (a precios de 2001). Esto representa lo que le cuesta a los productores internalizar al asumir los costos de implementar teniendo como base los costos de reducción (limpieza), costos de implementar tecnología (beneficio ecológico) y el pago de la tasa retributiva por emisiones de DBO y SST.

Para evaluar el desempeño de la tasa retributiva como incentivo para que las fincas cafeteras adopten la tecnología limpia, se planteó un modelo de Programación Lineal que minimizara los costos totales de los cafeteros, con-

siderando la suma de los costos de producción, costos de implementación de sistemas de beneficio ecológico y costos por concepto de pago de tasa retributiva por emisiones que no logran controlar. Para resolver este problema de minimización de costos se utilizó el software QSB+.

En los tres escenarios simulados se obtuvieron los siguientes resultados: En el primero, donde se tuvo en cuenta la tarifa mínima de tasa retributiva y los niveles de contaminación del año 2001 (línea base), sólo se presentó una leve tendencia a la adopción de tecnologías limpias de beneficio del café, en los tres tipos de finca considerados. En el segundo, en el que además de la tarifa mínima se determinó una meta regional de reducción de la contaminación del 50%; se presentó una tendencia mejor y progresiva hacia el paso a tecnologías limpias de beneficio, debido a que para el segundo semestre de 2005, la finca pequeña mostró una tendencia al cambio hacia el sistema BE3 del 79% y las fincas mediana y grande del 88%, pero sin lograr el cambio total. El tercero, donde la tarifa mínima y la meta de reducción del 50% se complementaron con aumentos semestrales del factor regional, resultó ser el escenario más eficiente porque permitió el paso de todas las fincas al sistema de beneficio ecológico de tipo 3; siendo adoptado totalmente por las fincas pequeña y mediana en el primer semestre del 2005 y por la finca grande desde el primer semestre del 2003. El sistema de beneficio BE5 no logra ser implementado por ninguna de las fincas por causa de los altos costos.

El esquema planteado por la autoridad ambiental para el cobro de la tasa retributiva en la cuenca del río San Juan, el cual se representó en el escenario 1 y cuyos resultados no lograron la adopción de tecnologías limpias, debe ser revisado y cambiado. Por los resultados obtenidos en los escenarios simulados se recomienda como óptimo para el cobro de la tasa retributiva el escenario 3, pues éste permite el cambio a sistemas de beneficio ecológico durante los cinco años para los cuales está estipulada una meta de reducción de la contaminación.

7. Bibliografía

- AZQUETA O., Diego. *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*. Mc Graw Hill, 1995.
- BAUMOL, W. J. y OATES W. E. *La Teoría de la Política Económica del Medio Ambiente*. Antoni Bosch, editor. Capítulo 3.
- CENICAFÉ. Programa de Postcosecha. En: *Beneficio ecológico del café*. Chinchiná, 1996.
- COMITÉ DEPARTAMENTAL DE CAFETEROS DE ANTIOQUIA. *El Beneficio del Café*. Primera edición. Medellín, Colombia, 1991.
- CORANTIOQUIA. *Plan de Gestión Ambiental, 1998-2006*.
- CHIANG, Alpha C. *Métodos Fundamentales de Economía Matemática*. 3ª ed. España: McGraw-Hill, 1996, pp. 665-698.
- DAVIS, Roscoe and McKEOWN, Patrick. *Modelos Cuantitativos para Administración*. Méjico: Editorial Iberoamericana, 1986, pp. 24-113.

- HAGILLA and KOPP. "Social Cost of Environmental Quality Regulations. A General Equilibrium Analysis". En: *Journal of Policy Economic (JPE)*; vol. 98. 1950.
- HOWALD, Félix Adrián y BARRAGÁN C., Carlos Humberto. *Los Impactos Financieros de los Instrumentos Económicos sobre la PYME de Colombia. Con ejemplo de las curtiembres de San Benito*, Santafé de Bogotá. PROPEL, 1997, pp. 25-80.
- KLAUS, Conrad and SCHRÖDER, Michael. "Choosing Environmental Policy Instruments Using General Equilibrium Models". En: *Journal of Policy Modeling (JPM)*; vol. 15 (1993), pp. 521-543.
- LARS, Bergman. Energy and Environmental Constraints on Growth: A CGE Modeling Approach. En: *Journal of Policy Modeling (JPM)*, Vol. 12. 1990, pp. 671-691.
- MENDIETA, Juan Carlos. *Manual de Valoración Económica de Bienes no Mercadeables*. Universidad de los Andes. Facultad de economía. Bogotá, 1999.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. *Aguas Limpias para Colombia al Menor Costo. Implementación de las Tasas Retributivas por Contaminación Hídrica*, Bogotá.
- MUÑOZ RODAS, Dorian Alberto. *Implementación del Decreto 901 de 1997 en la Cuenca del Río San Juan-Suroeste Antioqueño. Tasas Retributivas por Vertimientos Líquidos*. Corporación Autónoma Regional de Antioquia CORANTIOQUIA.
- PEARCE W., David y TURNER, Kerry. *Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente*. Celeste ediciones, 1995.
- SÁNCHEZ C., José Miguel. "Instrumentos Económicos de Protección Ambiental". En: *Planeación y Desarrollo*. Bogotá: vol. XXVII, Nº 2, abril-junio, 1996.