

# AGRO-INDUSTRIA CAÑERA Y USO DEL AGUA: ANÁLISIS CRÍTICO EN EL CONTEXTO DE LA POLÍTICA DE AGROCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA

---

MARIO ALEJANDRO PÉREZ<sup>1</sup>  
MIGUEL RICARDO PEÑA<sup>1</sup>  
PAULA ALVAREZ<sup>2</sup>

## 1. INTRODUCCIÓN

Las políticas económicas tradicionales han tenido poco en cuenta los impactos sobre la base ecosistémica que soporta la producción de bienes y servicios requeridos por la sociedad. Por ejemplo, las decisiones de política relacionadas con la apertura económica impulsadas por el gobierno nacional, como respuesta al llamado Consenso de Washington de los noventa en el siglo pasado, no consideraron el aumento de los impactos ambientales que se produjeron, como resultado de haberse acentuado los procesos de especialización productiva en el Valle del Cauca (Colombia) hacia el cultivo de la caña de azúcar. Igualmente, la política actual de promoción de agrocombustibles como estrategia para enfrentar la crisis ambiental relacionada con el uso de la energía fósil, ha sido tomada sin pensar en la capacidad de soporte de los territorios para sostener esta actividad económica. Además, sus implicaciones no han sido consideradas en términos de los conflictos ecológicos distributivos generados tanto por la competencia para acceder a los recursos naturales, como por evitar los costos ambientales relacionados con el cultivo y la transformación de la caña de azúcar.

Para el caso colombiano, la dinámica de especialización productiva incrementó el área sembrada en caña de azúcar de 140 mil hectáreas (ha) en 1990 a 230 mil en 2009, teniendo como meta alcanzar al año 2020, un millón de ha sembradas en todo el territorio nacional, la mayoría dirigida a la producción de etanol. Estos propósitos no consideran si los territorios están en capacidad de proveer los recursos naturales (agua y tierra) y el uso de los sumideros de residuos para asimilar la producción de desperdicios y contaminación generados por dicha actividad.

---

<sup>1</sup> Instituto Cinara, Universidad del Valle. AA 25157 Cali, Colombia. E-mail: mario.perez@correounivalle.edu.co

<sup>2</sup> Grupo Semillas, A.A. 241662 Bogotá, Colombia.

En el caso particular del agua, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), autoridad ambiental de la región, señala un alto grado de concentración del uso del recurso en actividades agrícolas, en donde se destaca el cultivo de la caña de azúcar. Esta dinámica de uso no solo ha afectado su función abastecedora, como también la calidad del recurso, destacándose dentro de ello la contaminación dispersa asociada a la actividad agrícola (herbicidas, abonos y otros vertimientos), la contaminación de origen industrial, en donde vuelve a ser importante la industria azucarera y de sus derivados (melazas y etanol), y la contaminación por fuentes domésticas. Esto ha originado importantes conflictos ecológicos por el control del agua y por evadir la responsabilidad social que le corresponde al sector cañero, como gran contaminador y usuario del recurso.

El avance del monocultivo de caña en los últimos años se enmarca en el desarrollo de los grandes proyectos agroindustriales que el gobierno nacional ha impulsado como política de desarrollo agropecuario. En particular, los cultivos para agrocombustibles (principalmente caña de azúcar y palma aceitera) vienen recibiendo enormes incentivos, a través de una estructura normativa basada en tres pilares: i) la obligatoriedad en el consumo que promueve la mezcla de gasolina con etanol iniciando con un 10% (E10) a 2009 [Ley 693/2001], pero intensificándose al 85% (E85) para los nuevos motores a partir de 2012 con el Decreto 1135 de 2009; ii) exenciones tributarias en IVA, Impuesto Global y Sobretasa al componente de alcohol en combustibles (Ley 788 de 2002 de reforma tributaria); iii) precios de sustentación que permiten hacer atractivo el negocio a costa de un pago mayor por parte de los consumidores. Resultado de esta política, cinco de los 14 ingenios azucareros han instalado destilerías en sus plantas con una capacidad de producción de 1.050.000 litros diarios de etanol que abastecen el 60% del mercado interno. Se mencionan otras 7 plantas que entrarían en funcionamiento en el año 2012, que generarían más 1.250.000 litros diarios adicionales.

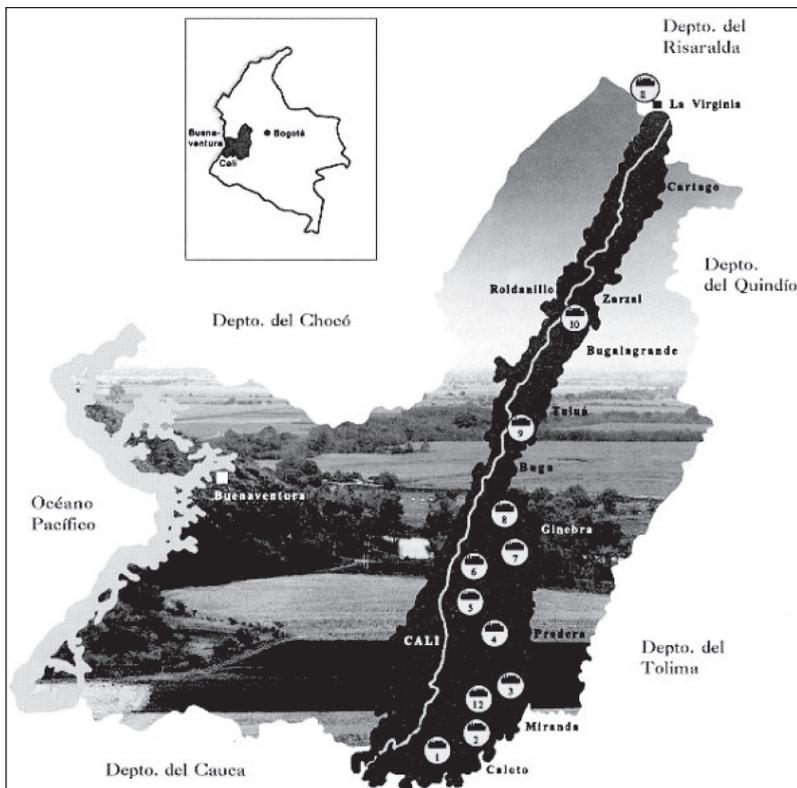
Bajo este contexto, este artículo tiene tres propósitos centrales: i) presentar un panorama general de la dinámica económica del sector cañero en Colombia en los últimos años, el cual concentra su producción en el valle geográfico del río Cauca (que representa más del 90% de la siembra de caña y de la producción de azúcar); ii) conocer la dinámica de uso del recurso hídrico por parte del sector cañicultor, tanto en su función abastecedora como en su función receptora; iii) examinar la capacidad de soporte del territorio en el valle geográfico del río Cauca (agua y suelo), si se extiende en esta región el cultivo de caña para alcanzar las metas de producción de etanol que el Decreto 1135/2009 propone a partir de 2012.

Para el desarrollo de esta investigación, se usó una combinación de metodologías analíticas e instrumentos de la economía ecológica, la ecología política y la ingeniería ambiental, trabajando tanto con *indicadores de estado* como con *indicadores de presión*. Mientras los primeros valoran el estado del ambiente o su calidad ambiental, los segundos hacen referencia a las actividades socio-económicas que afectan directamente los ecosistemas, posibilitando obtener información acerca del tamaño de la presión y de su origen en términos sectoriales. Esto permite cuantificar la cantidad de recursos naturales que son usados por las actividades de producción y de consumo.

## 2. DINÁMICA ECONÓMICA DEL SECTOR CAÑICULTOR

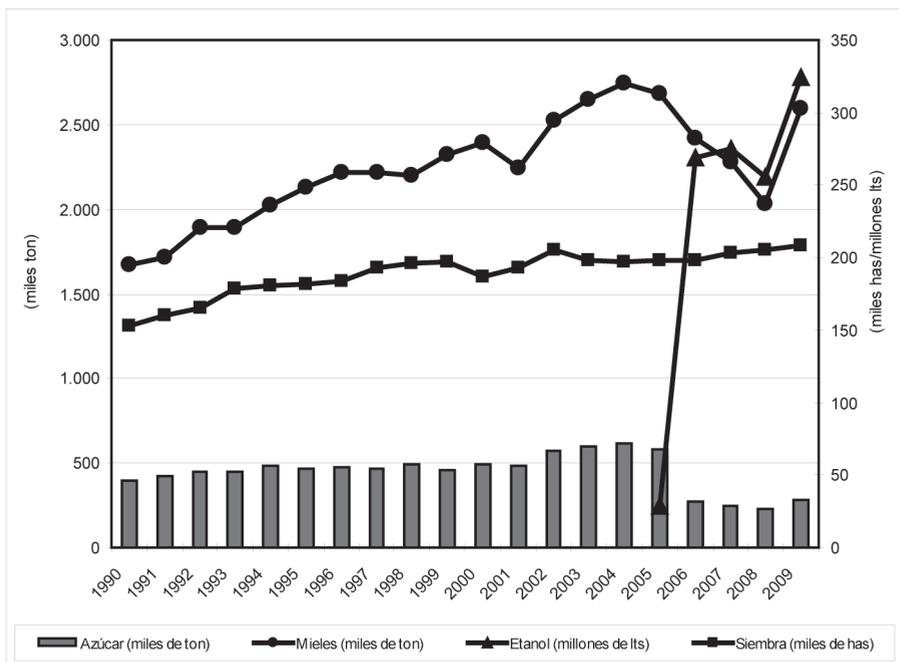
Las condiciones geográficas y ambientales del valle del río Cauca (Cauca, Valle y Risaralda) son excepcionales para el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar: 1000 metros sobre el nivel del mar, temperatura promedio de 25° C con oscilaciones de 12° entre el día y la noche, brillo solar superior a 6 horas diarias, humedad relativa de 76% y una precipitación promedio de 1.400 milímetros (ASOCAÑA, 2004) [ver Figura 1]. Estas condiciones han permitido el avance de la cañicultura en esta zona del país por más de 140 años, desde que en 1867 se construyó el primer trapiche en el antiguo departamento del Cauca, hasta convertirse hoy en la región de mayor producción azucarera de Colombia, pasando por varias etapas de auge. Casi se duplica el área sembrada entre los sesenta y los ochenta al pasar de 64 mil a 110 mil ha, debido al aumento de las exportaciones de azúcar a EEUU, que en los sesenta había cancelado sus compras a Cuba (RAMOS, 1994). Por su parte, la apertura económica de los noventa acentúa el proceso de especialización de la región hacia el cultivo de la caña de azúcar hasta alcanzar las actuales 220 mil ha sembradas en 2008, que representan la mitad de la disponibilidad de tierra del valle geográfico (Figura 2).

Figura 1. Localización zona productora de caña de azúcar en Colombia y sus ingenios azucareros (Valle Geográfico del río Cauca). Fuente: [www.asocaña.com.co](http://www.asocaña.com.co)



Los principales productos elaborados por el sector cañicultor, son el azúcar, las mieles y más recientemente el etanol, que le abre un nuevo panorama de negocios al sector. En términos de producción azucarera esta pasó de 1,2 a 2,6 millones de toneladas entre 1980 y 2009. Parte de este despeje azucarero, se explica por la dinámica exportadora, que se incrementó de 280 mil ton de azúcar y derivados en 1980 a 1,2 millones en 2005, para luego descender a 478 mil ton en 2008 por el desplazamiento del cultivo de caña hacia la producción de etanol. Para 2009, se produce una recuperación de las exportaciones azucareras a 1,1 millones de ton. La producción de miel, por su parte, se ha reducido al pasar de 321 mil ton en 1980 a 279 mil en 2009. Y el nuevo negocio del etanol, apoyado por las políticas gubernamentales, ha crecido en su producción desde su inicio en 2005 al pasar de 29 millones de litros a 325 millones en 2009 (ver Figura 2).

**Figura 2. Dinámica productiva de la industria cañera en Colombia (1990-2009).**  
Fuente: ASOCAÑA (2010). Cálculos nuestros.



Estos acontecimientos señalados han permitido crear y consolidar un gran conglomerado (*cluster*) en la región, que produce y vende actualmente una gran variedad de productos y servicios, compuesto por cerca de 1.200 proveedores de caña de azúcar, 14 ingenios, más de 40 empresas procesadoras de alimentos, bebidas y licores; dos co-generadoras de energía eléctrica; un productor de papel, tres industrias sucroquímicas, más de 50 grandes proveedores especializados y 100 empresas asociativas

de trabajo, que han constituido la columna vertebral del desarrollo económico y social del departamento del Valle del Cauca (CNP, 2002). Este complejo industrial le ha conferido al sector un gran poder político, que le permite incrementar su ingerencia sobre las autoridades en todos los niveles, y que se ha acrecentado con la producción de etanol, al mejorar su posición estratégica en la economía del país.

### 3. EL USO DEL AGUA POR PARTE DEL NEGOCIO CAÑICULTOR EN COLOMBIA

El éxito económico del sector cañicultor, mediante el cual se ha podido consolidar un importante *cluster* con poder político-empresarial, no ha sido gratuito en términos ambientales. Esta gran dinámica económica lleva aparejada una gran huella ecológica que se refleja en el uso de los recursos naturales y en sus procesos de contaminación asociados. El sector cañicultor es un usuario intensivo de agua, tanto en su función abastecedora, que le sirve como recurso productivo para sus actividades de cultivo y transformación industrial, como de la función receptora, que asimila los desechos que son arrojados a las fuentes hídricas.

#### 3.1 El uso intensivo del agua como factor de producción en el cultivo de caña de azúcar

En términos de recursos hídricos, el territorio donde se cultiva la mayor parte de la caña de azúcar del país está ubicado en la vertiente hidrográfica del río Cauca, que conforma el valle del mismo nombre, con una disponibilidad anual promedio de 467 m<sup>3</sup>/s, siendo aportados 272 m<sup>3</sup>/s por los diferentes ríos del departamento del Valle del Cauca. Esta zona se caracteriza por tener una elevada demanda de agua, dado que además de que la caña de azúcar es una usuaria intensiva del agua (10.300 m<sup>3</sup>/ha Vs. 3.600 m<sup>3</sup>/ha y 3.400 m<sup>3</sup>/ha respectivamente para el maíz y la soja por ejemplo. Ver Chapagain & Hoekstra, 2002), concentra sobre ella se concentra la mayor parte de la población y de la actividad económica. Así, de los 4,2 millones de habitantes del departamento del Valle para 2005, 3,5 millones (83%) vivían en la zona plana.

El uso intensivo del territorio y de sus recursos interrelacionados en esta zona, comienza a evidenciar importantes conflictos por el uso del agua entre el consumo agrícola y el consumo humano. Como lo señala la CVC (2001), sobre la vertiente del río Cauca existe un desequilibrio temporal entre la oferta y la demanda de agua en los períodos de invierno y verano, desequilibrios que son resaltados igualmente por el *Estudio Nacional de Aguas* del IDEAM (2000), al afirmar que 14 de las 42 cabeceras del departamento del Valle del Cauca, ubicadas en la zona plana, tienen un índice de escasez entre medio alto y alto.

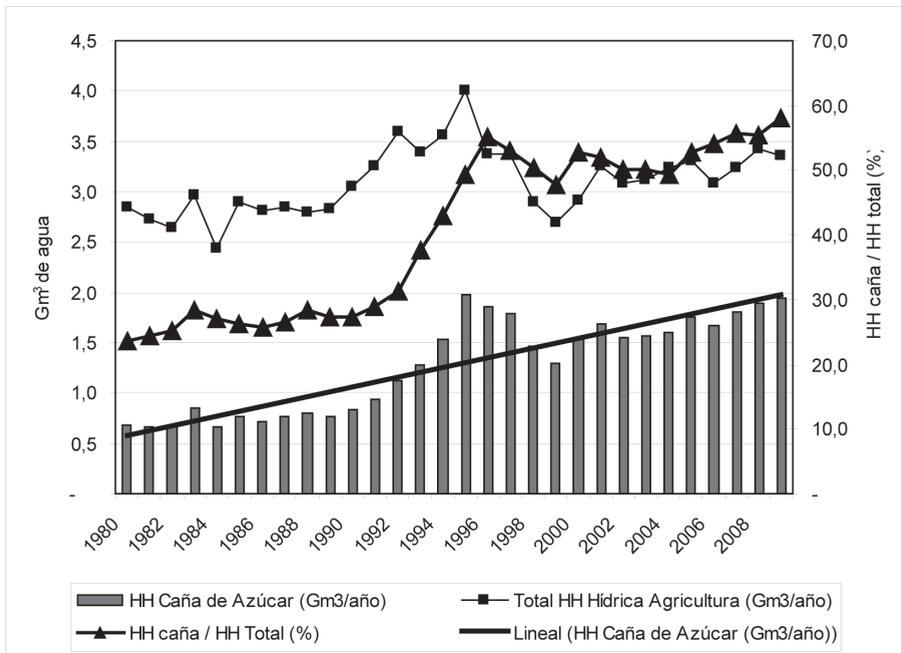
Para el análisis de la relación entre la actividad económica y el uso del agua, este artículo trabaja a partir del concepto de *Huella Hídrica Agrícola (HHA)*, el cual utiliza un enfoque orientado por la demanda y el consumo análogo al concepto de "huella ecológica", que fue introducido en la segunda mitad de los noventa

(WACKERNAGEL & REES, 1996; WACKERNAGEL *et al*, 1997). Mientras este último muestra el área necesaria para sostener determinado nivel de vida de las personas, la “huella hídrica” indica el volumen de agua anual requerido para sostener la población bajo ese estándar de vida. La *Huella Hídrica (HH)* [ $m^3/año$ ] es definida como el volumen de agua usada para producir los bienes y servicios consumidos por los individuos, las empresas o los países (CHAPAGAIN & HOEKSTRA, 2004). Ahora, la *Huella Hídrica Agrícola (HHA)*, resulta de la sumatoria de los Requerimientos de Agua de cada Cultivo ( $RAC_c$ ), dividido entre el *rendimiento* respectivo (ton/ha) y multiplicado por la *Producción* (ton/año) de dicho cultivo. Donde los  $RAC_c$  corresponden a parámetros climáticos (evapotranspiración) y al Coeficiente de Absorción del Cultivo ( $K_c$ ) [ALLEN *et al*, 1998].

Los últimos desarrollos en la metodología de la Huella Hídrica han desagregado este concepto en tres componentes que permiten entender mejor la dinámica del uso del agua en la agricultura y los conflictos ambientales implícitos. Estos corresponden a: agua verde, agua azul y agua gris<sup>3</sup> (ver Hoekstra *et al*, 2011). Este artículo no incluye el uso de estos conceptos, que podrán ser abordados en investigaciones posteriores.

La Figura 3 muestra la evolución de la *cantidad de agua usada (HHA)* total, sin hacer distinción entre agua verde y agua azul, por la actividad agrícola en el departamento del Valle del Cauca, señalando una dinámica creciente a lo largo del periodo analizado (1980-2009), al pasar de 2,7 a 3,4  $Gm^3$  de agua. Esto significó un crecimiento total de 23,2% (0,8% promedio anual). Parte de esta dinámica es explicada por el incremento del consumo de agua por el cultivo de caña, al pasar este de 0,7 a 1,9  $Gm^3$ . Ello representó un crecimiento promedio anual de 6,9%, muy superior a la dinámica de consumo de agua agrícola total. Esta situación produce como resultado una creciente concentración del recurso hídrico (y del suelo) en manos de un solo sector productivo: la caña de azúcar. Mientras en 1980 la caña consumía el 23,6% del agua usada por la agricultura en la región, para 2009 ya se apropiaba del 58% (ver Figura 3). En esta misma gráfica se aprecia el importante efecto de la apertura económica de los noventa en la especialización productiva de la región hacia el cultivo de caña, así como sus efectos sobre la dinámica de uso del recurso hídrico, que pasó de 0,8  $Gm^3$  en 1990 a 2  $Gm^3$  en 1996, para descender después por la caída de los precios internacionales del azúcar. Se observa al tiempo, la recuperación del consumo de agua a partir del surgimiento del negocio de etanol, dinámica que se espera que continúe con las políticas de incentivos a los agrocombustibles.

Figura 3. Huella Hídrica Agrícola y de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca (1980-2009)



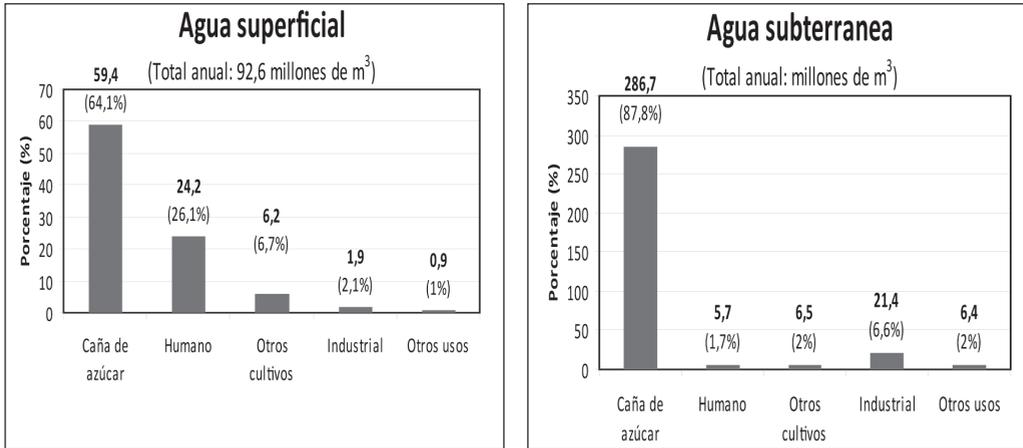
(Gm<sup>3</sup> de agua; 1 Gm<sup>3</sup> = mil millones de m<sup>3</sup>)

Fuentes: Cálculos propios con base en información de ASOCAÑA (varios años); CVC-IDEAM (varios años); GOBERNACION DEPARTAMENTAL, Anuario Estadístico del Valle del Cauca, URPA y CHAPAGAIN & HOEKSTRA (2004).

La gran dinámica de consumo de agua por parte del sector cañero ha producido una importante competencia por el recurso hídrico, la cual se acentúa en épocas de verano y al centro y sur de la región donde se concentra la actividad cañera, extendiéndose además hacia los acuíferos. La relativa baja pluviosidad de la zona plana (1.400 mm/año) frente a los grandes requerimientos de agua de la caña de azúcar, y la fragilidad de estos acuíferos por sus características hidrogeológicas (MEDINA *et al*, 2005), ponen en riesgo la sostenibilidad del recurso hídrico tanto superficial como subterráneo en la región.

El alto nivel de concentración del recurso hídrico en manos de los cañicultores se evidencia en la distribución de las concesiones de agua, tanto superficial como subterránea, para los diferentes usos en la cuenca del río Cauca en el Valle del Cauca (ver Figura 4).

**Figura 4. Distribución del caudal asignado de las fuentes superficiales y subterráneas en la cuenca del río Cauca en el departamento del Valle del Cauca según tipos de uso [2008] (millones de m<sup>3</sup>)**



FUENTE: CVC (2009). Informe 2008 al Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial (MAVDT) sobre las tasas de uso y concesiones. Estimaciones nuestras.

Nota: Otros usos incluye: consumo animal, artesanal (pesca, etc.), comercial, deportivos, fuerza hidráulica, ornamental y usos no consuntivos.

Así, mientras en 2008 el 64% (92,6 millones de m<sup>3</sup>) del caudal asignado de agua superficial fue para uso cañero, en el caso del agua subterránea este ascendió al 88% de los 327 millones de m<sup>3</sup> captados por los usuarios. Además, la mayor parte del agua asignada se concentra en las concesiones más grandes, las cuales pertenecen también en su mayoría a cultivadores de caña. El 76% del agua superficial asignada es para concesiones superiores a 100 mil m<sup>3</sup>/año, siendo de estas el 87% para caña de azúcar. Para aguas subterráneas, el 90% se asigna a concesiones superiores a este volumen, siendo el 92% de las mismas para caña.

De otro lado, hay un gran déficit entre el precio pagado por el acceso al agua por parte de los usuarios y los costos de mantenimiento de las cuencas hidrográficas y de los acuíferos. Así, mientras la Tasa de Uso de Agua (TUA) por m<sup>3</sup> promedio es de \$ 24,6/m<sup>3</sup> en agua superficial y de \$ 0,82/m<sup>3</sup> [USD\$ 0,0004] en agua subterránea para 2008, los costos anuales promedio para mantener una cuenca hidrográfica corresponden a cerca de \$ 51/m<sup>3</sup> [USD\$ 0,027] (ESCOBAR & GÓMEZ, 2008; PÉREZ & ALVAREZ, 2009) [ver Tabla 1]. Además, el costo promedio que los cultivadores de caña pagan por la TUA es inferior a la de otros cultivos, como se observa en la Tabla. Igualmente, el precio que se paga por m<sup>3</sup> de agua subterránea es bastante menor al del agua superficial, cuando la primera pertenece a acuíferos de formación terciaria, haciéndola

un recurso de lenta renovación. Ello hace que tenga un costo ambiental y de oportunidad alto, por el sacrificio que su extracción implica para la sociedad. Este desbalance se refleja en los bajos niveles de captación de recursos financieros a través de las TUA. Estos alcanzan cifras irrisorias: \$ 2.281 millones [USD\$ 1,2 millones] para el agua superficial y \$ 269 millones para el agua subterránea [USD\$ 142 mil], que en términos relativos representan una cuantía de \$ 62 millones [USD\$ 32,666] anuales de inversión por cada cuenca hidrográfica (sobre un total de 37 cuencas) y \$ 7 millones [USD\$3,688] por cada pozo profundo, lo cual resulta muy poco para el mantenimiento del recurso hídrico con criterios de sostenibilidad.

**Tabla 1. Tasa de uso de agua y dinero recaudado según tipo de uso y por tipo de fuente en la vertiente del río Cauca dentro del departamento del Valle del Cauca (2008)**

<b>Tipo de fuente</b>	<b>Caña de azúcar</b>	<b>Consumo humano</b>	<b>Industrial</b>	<b>Otros cultivos</b>	<b>Otros usos</b>	<b>TOTAL</b>
<i>Agua superficial</i>						
Costo por m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	27,6	11,6	43,4	37,1	47,5	24,6
Ingresos anuales recibidos (millones de \$)	1.638	279	81	231	24	2.281
Costo mantenimiento cuenca (\$/m <sup>3</sup> )						50,6 *
<i>Agua Subterránea</i>						
Costo por m <sup>3</sup>	0,84	0,61	0,68	0,81	0,95	0,82
Ingresos anuales recibidos (millones de \$)	240	3,4	14,5	231	0,03	269
Costo mantenimiento cuenca (\$/m <sup>3</sup> /año)						50,6 *

FUENTE: CVC (2009). Informe 2008 MAVDT sobre las tasas de uso y concesiones. Estimaciones nuestras.

Nota: No incluye las fuentes hídricas que corresponden a la vertiente del Pacífico. Sin embargo, estas son relativamente pocas (643 concesiones de un total departamental de 6.670); todas son superficiales; el volumen de agua concesionada es pequeña (933 mil m<sup>3</sup> frente a 424 millones de m<sup>3</sup> del total del departamento para 2008) y la captación de recursos de la TUA es también reducida (\$ 57 millones frente a un total de \$ 2,550 millones).

(\*) Con base en Escobar y Gómez (2008) y en Pérez y Álvarez (2009).

## 3.2 El uso intensivo de la función asimiladora del agua: la contaminación hídrica por fuentes puntuales y difusas en el cultivo y en la industria cañera

La actividad productiva de la caña de azúcar tiene esencialmente dos fuentes de contaminación del agua: **la fija y la difusa**. La primera, asociada a la producción de los derivados de la caña de azúcar (melazas, azúcar y etanol, principalmente), y que se ubica en descargas puntualmente localizadas en un emisor de alcantarillado o en un efluente de una PTAR; y la segunda está relacionada con el cultivo propiamente dicho.

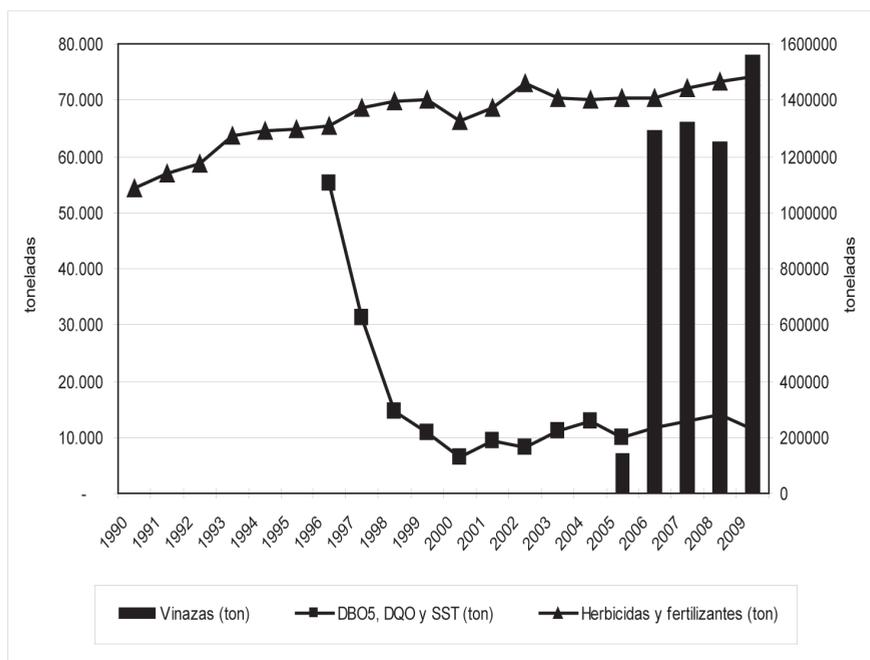
### 3.2.1 La contaminación hídrica del negocio cañero por fuentes fijas<sup>4</sup>

En la Figura 5, se puede observar como la **contaminación fija**, asociada a la fase industrial del proceso, se ha venido reduciendo. Se aprecia una disminución importante de la contaminación hídrica (i.e., DBO<sub>5</sub>, DQO y SST) asociada a la producción de azúcar y etanol en los últimos años, relacionada con las mejoras en el proceso productivo y con la construcción y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. A pesar de estas mejoras, se observa un pequeño incremento en las cargas contaminantes a partir de 2001, y sobre todo de 2005, que es un aspecto relacionado con el inicio de la producción de etanol. Sin embargo, entre 2008 y 2009 aparece un leve descenso en el nivel de contaminación. Una preocupación que surge de esta nueva actividad productiva es la presión por el incremento de los niveles de contaminación del suelo y el agua asociados a la producción creciente de vinazas como principal subproducto de la fabricación de etanol. Si bien la vinaza tiene un importante uso potencial como abono, también tiene un alto potencial contaminante por su riqueza en cationes metálicos, como el potasio y el magnesio.

La vinaza en pequeña y mediana escala utilizada en esquemas de ferti-irrigación líquida del cultivo no debiese presentar mayores problemas o inconvenientes con la fracción de materia orgánica, ya que esta fracción es rápidamente degradada por la flora microbiana nativa del suelo. Sin embargo, aun no se conocen, al menos públicamente, estudios de largo plazo (> 10 años) y a gran escala con mediciones sistemáticas sobre el balance de cationes metálicos en los suelos y sus posibles efectos en la permeabilidad y demás características físico-químicas de los mismos. Nótese además que cuando estos cationes se aplican sobre los suelos a través del sistema de riego, se está migrando el problema de una descarga fija hacia una contaminación de tipo difuso, afectada principalmente por el régimen hidrológico y la escorrentía superficial.

Otro subproducto líquido contaminante de la industria del etanol son las flemazas provenientes de la destilación de alcohol. Sin embargo, las destilerías de la región han implementado sistemas acoplados anaeróbico-aeróbico, que son altamente eficientes para el manejo de estas aguas residuales, y mantienen eficiencias promedio de eliminación de DBO<sub>5</sub> del 95%.

Figura 5. Uso de la función receptora del ambiente por parte del cultivo y procesamiento de la caña de azúcar, con énfasis en el recurso hídrico (1990-2009)



Fuentes: DBO5, DQO y SST (ASOCAÑA, 2010; incluye tanto la producción de azúcar como de etanol); Herbicidas y Fertilizantes (GÓMEZ, 1995; QUINTERO, 1995); Producción de vinazas (CHAVARRÍA, 2008 y ASOCAÑA, 2009).

### 3.2.2 La contaminación hídrica por fuentes difusas

La contaminación difusa (CD) se refiere a la que termina afectando un cuerpo de agua por el aporte de fuentes no específicamente localizadas. La CD se origina en diferentes fuentes y normalmente no existe una solución única o estándar para este problema, lo cual hace que su regulación y control sean difíciles. La CD es actualmente la primera causa de contaminación hídrica en EEUU, con la escorrentía agrícola contaminada como el primer aportante de carga contaminante (USEPA, 2007a; USEPA, 2003). Sin embargo, existen otras fuentes de contaminación difusa, como: las modificaciones hidrológicas y de hábitats naturales; la introducción de bosques cultivados (silvicultura); el escurrimiento urbano superficial; y la deposición atmosférica seca y húmeda de partículas y sus respectivos constituyentes (USEPA, 2007b; USEPA, 2005).

Para el caso de la contaminación por descargas difusas en la actividad cañera, es oportuno recordar que una publicación reciente, desarrollada conjuntamente por la CVC y la Universidad del Valle, recogió y sistematizó buena parte de los estudios e

investigaciones realizados en los últimos 53 años sobre el río Cauca (CVC & UNIVALLE, 2007). Esta publicación acopia y organiza los mejores datos históricos disponibles en el tramo La Balsa-Anacaro (Suarez-Salvajina, Cauca y La Virginia, Risaralda), y un análisis ecológico de los mismos lleva a conclusiones sobre la contaminación difusa en el valle geográfico del río Cauca, asociada a la agricultura y al cultivo de caña. Nótese que finalmente el río opera como el megaintestino que recibe y metaboliza todos los materiales de desecho generados por el gran metabolismo socio-económico de la región, donde la actividad cañera es un importante núcleo de la misma. Por lo tanto, y atendiendo al principio de conservación de la materia, todo aquello que está presente en el río debe tener su génesis en algún vector de contaminación localizado en su cuenca hidrográfica.

Un primer factor para discutir es la presencia y *concentración de nutrientes* en el río Cauca. Acá, las principales fuentes antrópicas de nutrientes en las aguas superficiales son precisamente las aguas de escorrentía agrícola con alta presencia de Nitrógeno y Fósforo, componentes fundamentales de los fertilizantes y abonos. En el caso de la cuenca alta del río Cauca, el segundo aportante en magnitud de estos elementos son las aguas residuales de origen municipal.

Según datos históricos del período 1998-2003 para el tramo La Balsa-Anacaro, las concentraciones de Nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) en el río arrojaron valores en más del 75% de las mediciones por encima de  $0,20 \text{ mg l}^{-1}$ . El valor típico para este parámetro en una fuente de buena calidad físico-química debe ser  $< 0,10 \text{ mg l}^{-1}$  (CVC & UNIVALLE, 2007). En el caso de los Fosfatos ( $\text{P-PO}_3^{3-}$ ), el 70% de las mediciones estuvieron por encima de  $0,06 \text{ mg l}^{-1}$ , cuando el valor típico para este parámetro debe ser  $< 0,02 \text{ mg l}^{-1}$ . Estos datos muestran que el río no es una fuente de agua limpia de acuerdo con el Índice de Contaminación Trófica (ICOTRO).

Bajo esta realidad, en un análisis comparativo entre el potencial contaminante del sector cañero y el del sector municipal en términos de nutrientes (N & P), se encontró que el primero equivale a tres cuartas partes del total cuando se lo compara con el segundo (ver Tabla 2). Pero además, la contaminación difusa por escorrentía agrícola es más difícil de controlar por su misma naturaleza, y puede verse incrementada por el uso intensivo de herbicidas y fertilizantes, en la medida que se dinamice la producción de caña para responder a la política de promoción de agrocombustibles. En contraste, las descargas del sector municipal corresponden a contaminación localizada, que es más fácil de controlar con estrategias de PTARs complementadas con reuso agrícola de efluentes.

Tabla 2. Estimaciones de flujos máxicos promedio anuales de Pesticidas, N y P para los sectores cañero y municipal (promedios con cifras del periodo 1988-2007)

Sector	Flujos máxicos ( $M T^{-1}$ )			%
	Pesticidas Ton / año <sup>-1</sup>	Nitrógeno <sup>a</sup> Ton / año <sup>-1</sup>	Fósforo <sup>b</sup> Ton / año <sup>-1</sup>	
Municipal*	Despreciable	15.189	1.975	23,8
Cañero**	1.124	49.008	6.000***	76,2
<b>Total</b>	1.124	64.197	7.975	100

<sup>a</sup> Producción doméstica per cápita de N: 10 g hab<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> calculada con datos de la región.

<sup>b</sup> Producción doméstica per cápita de P: 1.3 g hab<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> calculada con datos de la región.

Población del Valle al año 2005: 4'161,425 hab según estadísticas del DANE.

\* Sector municipal se refiere a las cargas contaminantes generadas por la población, el comercio y las instituciones asentadas en los 41 municipios del Valle del Cauca. Se excluye Buenaventura porque vierte al Océano Pacífico.

\*\* Cifras calculadas con datos tomados de las referencias citadas en el pie de página 11. Con base en estos promedios se calcula el total de pesticidas y fertilizantes usados por el cultivo de caña anualmente.

\*\*\* Esta cifra se estimó adoptando que la cantidad de Fósforo presente en la dosificación de otros nutrientes diferentes al N, esto es, K, Ca y P, equivale al 30% de dicha aplicación.

Fuente: Cálculos autores.

Un segundo factor relevante para la discusión es la presencia y magnitud de *materia orgánica refractaria* en el río, la cual es cuantificada dentro de la DQO, pero su estimación gruesa se logra por la diferencia con la DBO<sub>5</sub>. La materia orgánica refractaria hace referencia a los compuestos orgánicos de difícil degradación biológica, que normalmente son los agroquímicos utilizados para el control de plagas y malezas (i.e., herbicidas, insecticidas, fungicidas). Nótese que los agroquímicos se aplican a los cultivos y una gran fracción de los mismos puede terminar depositada en los suelos. Es, por lo tanto, a través de la precipitación y la subsecuente escorrentía superficial agrícola, que toda esta carga contaminante termina en los cauces de agua como contaminación de origen difuso. Es de aclarar que en el grupo de los agroquímicos también están incluidos los fertilizantes y algunos factores de crecimiento aplicados a los cultivos. Los primeros son importantes desde el punto de vista de los nutrientes (N & P), los cuales ya fueron mencionados, y los segundos no hacen parte de la discusión aquí presentada.

En las Figuras 6 y 7 se tiene que la  $DBO_5$  y la DQO variaron entre  $[2,0$  a  $9,0$   $mg\ l^{-1}]$  y  $[18,0$  a  $40,0$   $mg\ l^{-1}]$ , respectivamente. La relación DQO:  $DBO_5$  para esta serie de datos varió entre 5 y 9. Esto deja ver que en el río Cauca existe más materia orgánica refractaria que biodegradable. Además, la curva de DQO para el periodo lluvioso siempre estuvo por encima de la curva para los periodos secos y de transición. Entre tanto, la curva de la  $DBO_5$  para el periodo seco está en una posición intermedia respecto a la más alta, que es la del periodo de transición, y la más baja, que es la del periodo lluvioso. Las altas relaciones de DQO (respecto a la  $DBO_5$ ) y su aumento de concentración, precisamente en las épocas de transición e invierno, evidencia el comportamiento típico de un parámetro que está influenciado por escorrentía superficial de origen agrícola. En estas condiciones, la concentración en el cauce receptor aumenta, como consecuencia del arrastre difuso de contaminantes y su aporte o vertido a lo largo de las riveras del río. De este modo, se pone evidente que no solo la carga contaminante de carácter urbano es un factor importante de afectación de la calidad del agua del río Cauca, sino que el agua de escorrentía superficial asociada a la actividad agrícola también lo es, donde el cultivo de caña toma papel primordial por ocupar la mayor porción de la frontera agrícola de esta parte de la cuenca hidrográfica.

Figura 6. Variación media de la  $DBO_5$  en el río Cauca tramo Salvajina-La Virginia

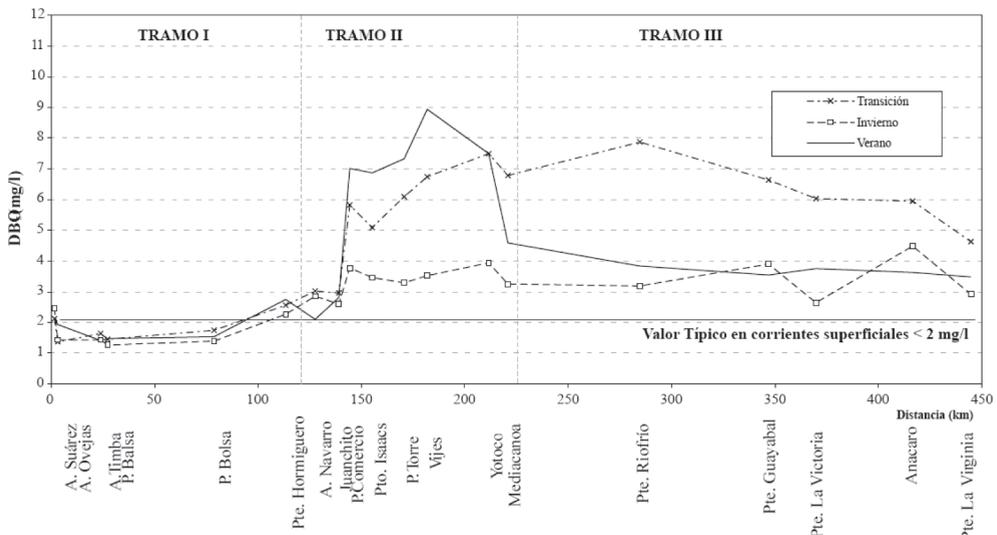
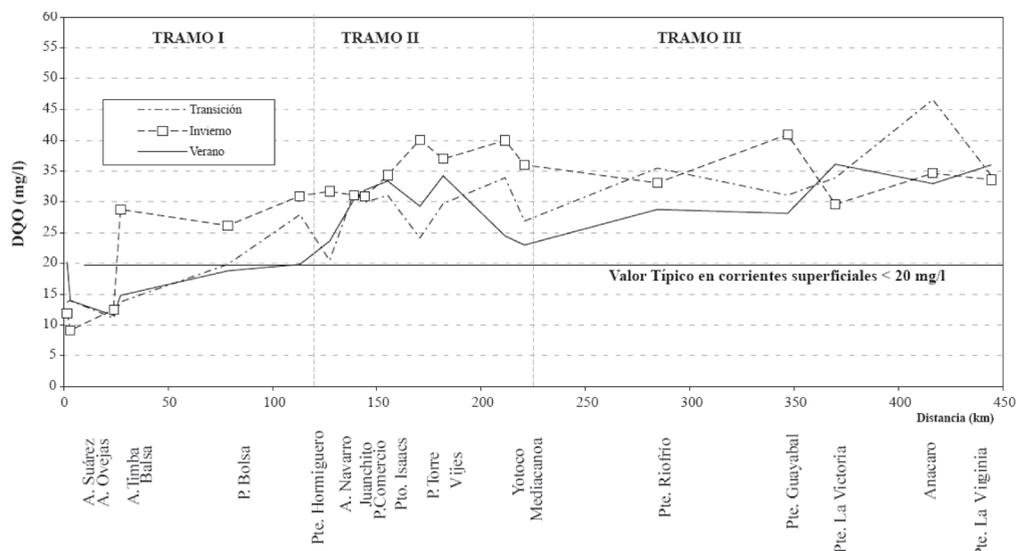


Figura 7. Variación media de la DQO en el río Cauca tramo Salvajina-La Virginia.



Fuente: Datos tomados de (CVC & UNIVALLE, 2007) de promedios multianuales para el periodo 1998-2003.

Finalmente, otro elemento a evaluar son los *residuos altamente tóxicos* en el río Cauca. En este caso, la aplicación de aproximadamente 1.187 toneladas de pesticidas al año (para 2009) en el cultivo de caña de azúcar en la región, más el resto de pesticidas que se aplica a los otros cultivos, puede estar generando un riesgo potencial de tipo crónico y de naturaleza química, ya que plausiblemente una fracción nada despreciable de esta carga terminará en los cauces de agua superficial y finalmente en el río Cauca. En este punto es pertinente recordar que en varios casos los compuestos o metabolitos secundarios de los pesticidas son más peligrosos que el compuesto activo original. Este hecho, sumado a la vida media de estas sustancias y a su persistencia en el ambiente, es lo que se convierte en un factor de riesgo eco-toxicológico potencial, tanto para el ecosistema acuático como para la salud humana.

En este sentido, otros proyectos de investigación desarrollados recientemente por la Universidad del Valle, en la zona plana del municipio de Cali, que se ubica en la vertiente izquierda del río Cauca, han encontrado una primera evidencia de micro-contaminantes de interés eco-toxicológico y de salud pública (MÉNDEZ *et al.*, 2009). En este momento, sería inexacto y poco científico asignar estos micro-contaminantes a una fuente o actividad económica específica, ya que en el tramo del río donde se hizo esta medición es posible tener la influencia de otros vectores de contaminación como el basurero de Navarro, la escorrentía urbana superficial de una parte del sur de la ciudad y la contaminación de fondo que el propio río transporta desde antes de llegar a la ciudad. La Tabla 3 presenta los datos de un tamizaje de compuestos orgánicos refractarios, encontrados y clasificados recientemente como micro-contaminantes en las aguas del río Cauca.

**Tabla 3. Resultados de análisis de compuestos orgánicos microcontaminantes en muestras de agua del río Cauca en Cali.**

Parámetro	Concentración	Familia	Observaciones
Minerales equivalentes de Aceite	184 $\mu\text{g/l}$	Hidrocarburos pesados	
Hidrocarburos equivalentes totales	172 $\mu\text{g/l}$	Hidrocarburos pesados	
Índice Hidrocarburos (*)	172 $\mu\text{g/l}$	Hidrocarburos pesados	
2,4-D (*)	0,030 $\mu\text{g/l}$	Herbicida	Límite:<0,03 mg/l *
Dinosebe (*)	Presencia $\mu\text{g/l}$	Herbicida dinitrofenol	
Dinoterbe (*)	0,560 $\mu\text{g/l}$	Herbicida dinitrofenol	
Fénuron	Presencia $\mu\text{g/l}$	Herbicida	
Pirimicarbe	Presencia $\mu\text{g/l}$	Insecticida Carbamato	
Terbutryne (*)	Presencia $\mu\text{g/l}$	Herbicida Triazinas	
Nonyphenols	0,340 $\mu\text{g/l}$	Alquilfenol & Nonyfenol	
Diocetylétain (*)	0,097 $\mu\text{g/l}$	Organostonneux	
Monooctylétain (*)	0,050 $\mu\text{g/l}$	Organostonneux	
Di 2 ethylhexilphtalate	1835,0 $\mu\text{g/l}$	Otros plastificantes	Límite: < 0,008 mg/l**
Diuron (*)	0,040 $\mu\text{g/l}$	Herbicida	
Hydroxyatrazine (*)	Presencia $\mu\text{g/l}$	Metabolito secundario	
Hydroxyterbuthylazine (*)	0,020 $\mu\text{g/l}$	Metabolito secundario	Límite: < 0,007 mg/l*

\* No hay resultados consistentes sobre sus efectos en la salud humana.

\*\* Posible carcinogénico del grupo 2B.

Fuente: Méndez *et al.* (2009)

Nota: Los análisis químicos de las muestras de agua fueron realizados en colaboración con investigadores y laboratorios de la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL) de Suiza.

Lo verdaderamente importante de esta información, y tomando como marco de análisis un enfoque ecológico de la contaminación ambiental, es que el río Cauca presenta niveles de contaminantes específicos cuyas concentraciones deberían empezar a preocupar a la comunidad vallecaucana. De este modo, las instituciones regionales y municipales encargadas del control de la contaminación hídrica deberían iniciar estudios detallados y serios sobre esta problemática, para comenzar a generar información que permita la toma de decisiones acertadas para su prevención y reducción.

Nótese que, en este sentido, el trabajo de Méndez *et al* (2009) encontró que: *“con base en el análisis de muestras de agua, suelos y peces de consumo se pudo concluir que, un área de valle aluvial del río Cauca cercana a Cali, es un ecosistema con niveles apreciables de contaminación por xenobióticos del tipo metales pesados (Cu, Pb, Cd y As) y herbicidas (Glifosato y Ametrina) en las matrices agua (principalmente superficial) y suelo. Y aunque en la zona misma existen dos vectores claros de contaminación ambiental: el botadero de Navarro y el canal CVC sur, la contaminación difusa asociada a la escorrentía superficial de suelos urbanos y rurales es un factor que también aporta a toda la problemática de contaminación en la zona de estudio”*.

### 3.2.3 Capacidad de soporte del territorio y política de agrocombustibles

Para la economía ecológica (EE), el desarrollo sostenible está relacionado con la necesidad de mantener los aspectos funcionales de los sistemas naturales, de tal manera que lo que debe sostenerse es la capacidad del ambiente para soportar los patrones de desarrollo que se quieren alcanzar. Para lograr esto, es necesario considerar la existencia de límites y leyes naturales que deben ser respetadas. Los límites que la visión de la sostenibilidad fuerte, asociada a la EE, impone al aprovechamiento de los recursos naturales y servicios ambientales, están definidos por la capacidad de la naturaleza para reproducirse y para autodepurarse y absorber o eliminar la contaminación (PÉREZ & ROJAS, 2008). Así, el sistema económico no debe exceder los límites establecidos por el sistema ecológico circundante.

Este planteamiento se basa en un enfoque de teoría de sistemas, según la cual el sistema económico es una parte integral de un sistema ecológico global, que es la biosfera, y son sistemas que se hallan interrelacionados a través de flujos de energía y materiales, caracterizados por un complejo mecanismo de retroalimentación, y por repercusiones retardadas. Las restricciones para el crecimiento infinito del subsistema económico se describen con un término derivado de la ecología poblacional: **la capacidad de soporte**. La capacidad de soporte de un ecosistema se define como “la máxima población de una determinada especie que un área puede soportar sin reducir su capacidad de soportar la especie en el futuro”. El exceder dicha capacidad lleva a la destrucción de la base de recursos naturales y, de esta forma, al colapso de la población total. El desarrollo sostenible, desde esta perspectiva, puede ser definido como el desarrollo económico que no excede la capacidad de soporte del ecosistema global (MALDONADO, 2009).

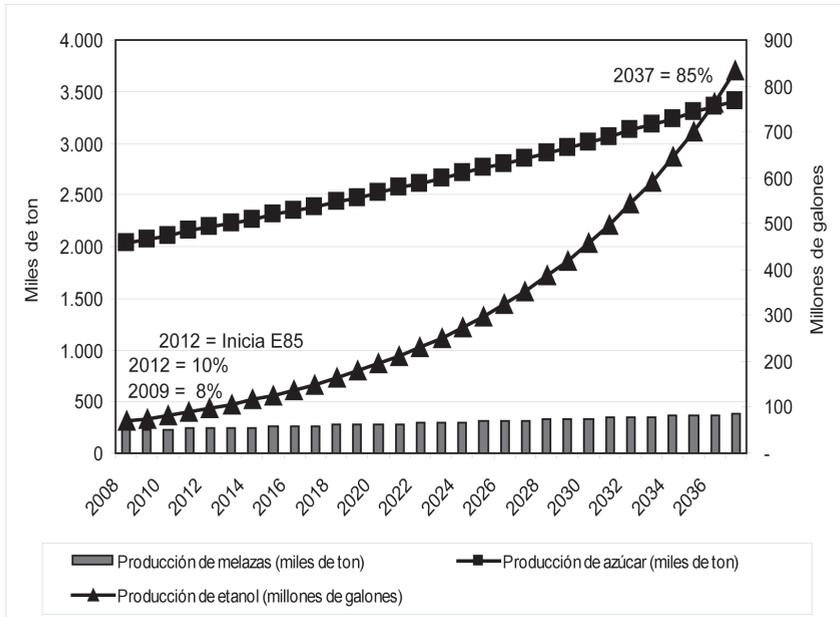
Desde esta lógica, los estudios de sostenibilidad buscan evaluar la capacidad de un territorio para soportar la actividad económica y social que es ejercida sobre el mismo. En este caso específico, se quiere evaluar la capacidad del valle geográfico del río Cauca de soportar una creciente ampliación de la frontera cañera y un aumento de la producción de sus diferentes subproductos; esto con relación a la oferta de agua y a la disponibilidad de tierra. Puntualmente, se quiere evaluar el impacto de la expresión más agresiva de la política agroenergética para el caso del etanol (Decreto 1135/2009), que obliga a partir de 2012 a todos los vehículos nuevos de hasta 2000 cm<sup>3</sup> que usen gasolina, a tener motores que puedan funcionar normalmente con al menos el 85% de alcohol carburante (E85).

Así, el presente ejercicio prospectivo tiene como objetivo estimar la cantidad de agua y tierra requerida para producir el volumen de etanol necesario para alcanzar las metas del gobierno a 2012. Igualmente, se estimará la cantidad de fertilizantes y herbicidas necesarios para alcanzar esos propósitos y la producción subsecuente de vinazas que ello implica. Este tipo de análisis permitirá: a) visualizar las amenazas ambientales que implican para la región alcanzar estos objetivos, suponiendo que esta actividad se realice enteramente en el valle geográfico del río Cauca; b) identificar los retos que tienen la autoridad ambiental y la sociedad si esto sucede; c) evidenciar los límites de la capacidad de soporte de la región y los conflictos ecológicos que conlleva esta política. Para ello se parte de los siguientes supuestos: i) en 2012 se alcanzará la meta de cubrir el 10% del parque automotor planteada por la ley 693/2001. En 2009 solo se ha cubierto el 8% con una producción de etanol de 325 millones de litros; ii) el parque automotor del país se reemplazará totalmente en 25 años a partir de 2012. Así, en 2037, todos los vehículos menores a 2000 cm<sup>3</sup> tendrán motores Flex-fuel (E85); iii) conservando la dinámica exportadora, la producción de azúcar y melazas mantendrán un crecimiento de 1,8%; iv) se mantiene la base tecnológica del cultivo de caña en términos de uso de fertilizantes, consumo de agua y producción de vinazas; v) no habrá importaciones de etanol.

Los resultados de esta dinámica productiva se observan en la Figura 8, mostrando que, para abastecer la demanda de etanol para todo el parque automotor menor a 2000 cm<sup>3</sup> bajo la política del E85, se requerirá una producción de 833 millones de galones de etanol en 2036.

Para poder realizarse ésta dinámica productiva se requiere una determinada cantidad de agua y de tierra y el uso de la capacidad de sus funciones ambientales. Sin embargo, el valle geográfico del río Cauca posee una dotación dada de recursos. Así, mientras la extensión aproximada del valle es de 420 mil hectáreas, la oferta hídrica superficial total promedio es de 11,8 Gm<sup>3</sup> (1 Giga = mil millones de m<sup>3</sup>) y el aporte departamental (Valle del Cauca) de 6,9 Gm<sup>3</sup>. La Figura 9-A, presenta las estimaciones de agua y tierra requeridas para poder producir la cantidad de caña de azúcar que permite cumplir las metas de producción de etanol para abastecer los motores Flex-fuel (E85) que estipula el Decreto 1135/2009. En el caso del territorio, se requieren un poco más de 820 mil ha y, en el caso del agua, 9 Gm<sup>3</sup> totales para cubrir las demandas de etanol en 2037. Estos resultados señalan los límites ambientales de la

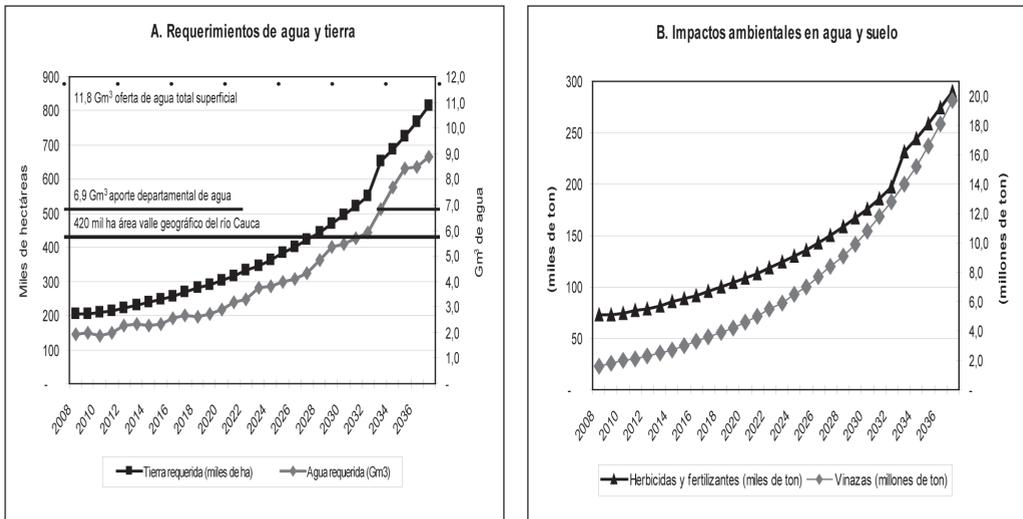
Figura 8. Proyecciones de producción de derivados de la caña de azúcar (2008-2037)



región frente a la extensión del cultivo de caña en todo el valle geográfico del río Cauca.

Por otro lado, cuando se observan los impactos ambientales agregados de esta dinámica (Figura 9-B), la preocupación sobre la sostenibilidad del territorio se incrementa. Por una parte, la contaminación dispersa que generaría el uso de fertilizantes y herbicidas los cuales alcanzarían a 2037 un volumen total de 290 mil toneladas. Ello significa usar 690 kilos/ha en todo el valle geográfico del río Cauca, con las implicaciones ya analizadas en el punto 3.2.2. Por su parte, la producción de vinazas sería otra gran preocupación. Esta se incrementaría en forma alarmante hasta alcanzar un poco más de 19,7 millones de toneladas en 2037, las cuales, si se utilizaran como fertilizantes en las 420 mil hectáreas de tierra disponible en la zona plana, equivaldrían a una cifra cercana a las 47 ton/ha. Ello muestra en la práctica el llamado “efecto masa”, que convierte la producción de un subproducto con valor económico, en un peligroso problema que resulta difícil de manejar por sus altos niveles de contaminación y su elevada producción.

Figura 9. Capacidad de soporte del territorio en el caso del valle geográfico del río Cauca asociadas a las dinámicas impulsadas por el Decreto 1135/2009 para etanol



Fuente: Estimaciones a partir de datos de ASOCAÑA (2010) en área sembrada; CHAPAGAIN & HOEKSTRA (2004) y PÉREZ (2008) para el cálculo de la huella hídrica de la caña. Los fertilizantes se estiman con base en QUINTERO (1995) [Kg/ha = 350] y los herbicidas, acorde a GÓMEZ (1995, pp. 150) [Kg/ha = 5,7]. Para vinaza se suponen 4,8 unidades por cada unidad de etanol (CHAVARRÍA, 2008) y una densidad de 1.3 kg/litro (QUINTERO et al, 2008).

## 5. CONCLUSIONES

Se hace evidente que la dinámica de uso del territorio, basado en el monocultivo cañero en el valle del río Cauca, genera una importante presión sobre el recurso hídrico, tanto en su función abastecedora como en la receptora, la cual se incrementará con las políticas de apoyo y promoción de agrocombustibles. En esta investigación se evidencian los riesgos que la ampliación de la frontera agrícola cañera por todo el valle geográfico implica para la gestión del agua y la sostenibilidad ambiental de la región. Si se profundiza esta dinámica, se plantea un reto de gestión para la autoridad ambiental, que tiene implicaciones sociales al incrementarse los conflictos ecológicos por el acceso al agua y por los impactos asociados a la contaminación. En este contexto, la gestión ambiental debe incorporar el concepto de *capacidad de carga* de los territorios frente a las políticas de fomento de ciertas actividades como los agrocombustibles. En este sentido, la debe entenderse planificación hidrológica como un instrumento al servicio de la política territorial que sea consecuente con su capacidad de carga.

Hay fuerzas mundiales que influyen la dinámica del uso de los territorios y de los recursos interrelacionados. La liberalización de mercados y el libre comercio

impulsaron en Colombia y el valle del río Cauca procesos de especialización productiva hacia la producción de bienes intensivos en recursos naturales; en este caso, hacia la caña de azúcar. Esto se reflejó en un aumento del área sembrada de la gramínea, concentrando ahora la mitad del territorio del valle geográfico. Tal dinámica ha generado cinco efectos perversos sobre el recurso hídrico: i) incremento de la demanda de agua agrícola de 2,8 a 3,4 Gm<sup>3</sup> entre 1980 y 2009; ii) aumento de la apropiación del agua por parte de los cañeros: de 24% de las asignaciones se pasó al 54%; en términos del caudal concesionado, concentran para 2008 el 64 y 84% del agua asignada superficial y subterránea, respectivamente; iii) el patrón de producción agrícola de la caña de azúcar, basado en el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas de origen químico, es un factor importante de contaminación difusa del agua y el suelo en el valle del río Cauca, convirtiéndose en un elemento que afecta la salud de los habitantes que usan agua para consumo humano del río Cauca o de sus afluentes, en especial la población de Cali; iv) todo este panorama ha intensificado los problemas y conflictos ambientales por el acceso al agua y por las externalidades generadas debido a la dinámica productiva de la caña de azúcar.

La solución de estos problemas y conflictos ecológicos son parte de los retos que tienen que asumir las instituciones ambientales, en un contexto donde la importancia estratégica del negocio cañicultor para la economía de la región y del país generan el fenómeno de “captura de la autoridad ambiental”, limitando la independencia de la institución encargada de la gestión de los recursos naturales. Esta situación dificulta resolver los *conflictos ecológicos distributivos* por el acceso a los recursos y servicios ambientales, bajo un enfoque de *justicia hídrica*. Por ello, la política ambiental debe estar guiada tanto por la defensa del interés general como por el propósito de disminuir la vulnerabilidad de los grupos más débiles de la población. Ello podrá garantizar un desarrollo más sostenible y equitativo para las regiones donde se cultiva caña de azúcar.

El gran dinamismo del consumo de agua en la región, liderado por el sector cañero, amerita la implementación de políticas de Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), en que las actividades de gestión de la demanda jueguen un rol protagónico. Las soluciones a los problemas de gestión del agua, en el valle geográfico del río Cauca, no pasan solo por estrategias técnico-administrativas, para asignar mejor los caudales entre los diferentes usuarios, o el desarrollo de actividades en la parte alta de las cuencas para conservar la calidad y continuidad de la oferta hídrica. Debe además implementarse un paquete de acciones, movidas por el enfoque de gestión de la demanda, que tenga como objetivo una reducción de los niveles de consumo de los diferentes usos, en particular el cañero, donde las mejoras en las eficiencias de riego, el revestimiento de canales, la implementación de sistemas de aspersión y goteo, e incluso el cambio de cultivos, jueguen un papel importante en la estrategia de manejo del recurso hídrico. Además, para contribuir a la reducción del consumo de agua y a un uso más eficiente, resulta imperativa una reestructuración de la política de cobros por el agua. La Tasa de Uso de Agua (TUA) actual es muy baja para convertirse en un instrumento que promueva el uso eficiente, pero tampoco es un mecanismo financiero adecuado que contribuya a sufragar los costos de mantenimiento y conservación de las cuencas y acuíferos.

Con respecto a la contaminación difusa, la exigua evidencia disponible a la fecha en la región, apunta a que este problema, sus posibles fuentes y efectos sobre el río Cauca y la salud de la población usuaria de este recurso, configuran una situación que está tomando importancia y debe caracterizarse de la mejor manera posible para tomar los correctivos necesarios. Se deben adelantar estudios serios y exhaustivos para su caracterización e identificación de fuentes, donde los resultados logrados por el proyecto PMC-Río Cauca desarrollado por la Universidad del Valle para la CVC, deberían conducir a una etapa siguiente, en que se estudie la dinámica de contaminantes específicos como los agroquímicos y los metales pesados.

Por último, aunque se reconozcan dificultades de monitoreo y control de la contaminación difusa, existen estrategias que permiten reducir su extensión y magnitud. La implementación y monitoreo de programas que mejoren las prácticas agrícolas, el impulso a la agroecología, la agricultura de precisión y la restauración de zonas *buffer* naturales (i.e., guadales) a orillas de las fuentes receptoras, son algunas de ellas.

## REFERENCIAS

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L. S., RAES, D., & SMITH, M.. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements* – FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 1998 Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm>. Acceso: 4 de agosto de 2010.
- ASOCAÑA. Asociación de cultivadores de la caña. Varios años. Disponible en: <http://www.asocana.com.co>. Acceso: 30 de agosto de 2010.
- ASOCAÑA. Informe anual 2003-2004. Cali, Colombia, 2004.
- ASOCAÑA. Informe anual 2009-2010. Disponible en: <http://www.asocana.com.co> Acceso: 22 de agosto de 2010
- CHAPAGAIN, A. K. & HOEKSTRA, A.Y. *Water Footprints of Nations. Volume 1: Main Report*. Value of Water, Research Report Series No. 16, November. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. 2004. Disponible en: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16.pdf>. Acceso: 24 de agosto de 2010.
- CHAVARRÍA, J. C. *Etanol una solución para la industria azucarera*. 2008. Disponible en: <http://www.agroinsumos.net>. Acceso: 3 de agosto de 2010.
- CNP, CENTRO NACIONAL DE PRODUCTIVIDAD. *El conglomerado del azúcar del Valle del cauca, Colombia*. CEPAL, Santiago de Chile, 2002.
- CVC, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. *Diagnóstico Ambiental del Recurso Hídrico en el Valle del Cauca*. Subdirección de Gestión Ambiental, Cali, Colombia, 2001.
- CVC. *Boletín Hidrológico 2000-2001*. Cali, Colombia, 2002b.

- CVC-IDEAM. *Serie sobre evaporación estaciones hidrometeorológicas del Valle del Cauca*. Varios años.
- CVC & UNIVALLE. *El río Cauca en su valle alto*. Programa Editorial de la Universidad del Valle, Cali, 2007.
- DANE. *Censo Nacional Agropecuario*. Bogotá, 1960, 1972, 1977.
- ESCOBAR, L. & GÓMEZ, A. *El valor económico del agua para riego: un estudio de valoración contingente*. Revista de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad del Valle-EIDENAR, No. 6, 2008.
- GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA. *Anuario Estadístico del Valle del Cauca*, Cali. Varios años.
- GÓMEZ, J. Control de malezas en el cultivo de caña de azúcar. En: CENICAÑA, *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*, Editores: Clímaco Cassalett, Jorge Torres y Camilo Isaacs. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cali, 1995, p. 143-152.
- HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A.K., ALDAYA, M.M. and MEKONNEN, M.M. *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, Earthscan, London, UK, 2011.
- IDEAM. *Estudio Nacional del Agua*. República de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia, 2000.
- MALDONADO, C. *La Ecología y la Economía Frente al Desarrollo Sostenible*. Universidad de Huelva. 2009. Disponible en: <http://cidbimena.desastres.hn/ri-hn2/pdf/doch0004/pdf/doch0004.pdf>. Acceso: 3 de agosto de 2010.
- MARTÍNEZ-ALIER, J. *The Environmentalism of the Poor. A Study of Ecological Conflicts and Valuation*. Edward Elgar, Cheltenham, 2002.
- MEDINA, G., PÁEZ, G., VARGAS, M. C. & TAUPIN, J. D. *Estudio hidrogeológico con énfasis en hidrogeoquímica de los acuíferos en la zona sur del departamento del Valle del Cauca (Colombia)*. En: VII<sup>th</sup> IAHS Scientific Assembly VII<sup>e</sup> Assemblée Scientifique de l'IAISH: Workshop on isotope tracers and remote sensing techniques for assessing water cycle variability. 3 - 9 April, Foz do Iguaçu (Brazil) Raphain Palace Hotel, 2005.
- MENDEZ, F., ISAZA, C., DE PLATA, C., PEÑA, M., BENITEZ, N., ZARANTE, I., & OTROS. *Factores ambientales asociados a la ocurrencia de Malformaciones Congénitas en la ciudad de Cali*. Informe Técnico Final, Presentado a Colciencias: Programa Nacional de Salud., Facultades de Salud, Ingeniería, y Ciencias Naturales y Exactas., Universidad del Valle, Cali, 2009.
- PÉREZ, M. & ROJAS, J. *Hacia el desarrollo sostenible en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia y Congreso de la República. Proyecto "Piensa Colombia", Bogotá, 2008.
- PÉREZ, M. & ALVAREZ P. *Deuda social y ambiental del negocio de la caña de azúcar en Colombia*. Semillas Editorial, Bogotá, 2009.

Programa de Investigación interdisciplinaria y capacitación sobre gestión local del agua y políticas hídricas en la región Andina. Proyecto "Justicia Hídrica". Disponible en: <http://www.concertacion.info/index.php>. Acceso: 24 de agosto de 2010.

PROQUIP S.A. (Brasil). Disponible en: <http://www.elparanaense.com.ar/pdf/metanizaciondestileriaIngenioSanJavier.pdf> . Acceso: 23 de agosto de 2010.

QUINTERO, R. Fertilización y nutrición en el cultivo de caña de azúcar. En: CENICAÑA, *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*, Editores: Clímaco Cassalet, Jorge Torres y Camilo Isaacs. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cali, 1995, p. 153-177.

RAMOS, O. *La evolución de la industria azucarera en el Valle del río Cauca*. Mimeo, 1994.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. *Decreto 1135 de 2009* (marzo 31). Por el cual se modifica el Decreto 2629 de 2007, en relación con el uso de alcoholes carburantes en el país y con las medidas aplicables a los vehículos automotores que utilicen gasolinas para su funcionamiento. 2009.

QUINTERO, R., CADENA, S. & BRICEÑO, C. *Proyectos de investigación sobre uso y manejo de vinazas*. Cenicaña, Cali, 2008.

RØPKE, I. Trends in the development of ecological economics from the late 1980s to the early 2000s. *Ecological Economics*, 55: 262-290, 2005.

TAFUR, H. *No hay agua para tanta caña*. En: Ciencia Al Día (AUPEC) .Universidad del Valle, Cali, 2005.

TORRES, A., CRUZ V., R. & VILLEGAS, F. *Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar*. Segunda Edición, Cenicaña, Cali, 2004.

USEPA. *National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Agriculture*. Washington DC: EPA, 2003.

USEPA. *National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Forestry*. Washington DC: EPA, 2005.

USEPA. *National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Hydromodification*. Washington DC: EPA, 2007a.

USEPA. *National water quality inventory: Report to Congress*. Washington DC: EPA, 2007b.

WACKERNAGEL, M. & REES, W. *Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth*. New Society Publishers, Gabriola Island, B.C., Canada, 1996.

WACKERNAGEL, M., ONISTO, L., LINARES, A.C., FALFAN, I.S.L., GARCÍA, J.M., GUERRERO, I. S.& GUERRERO, M.G.S. *Ecological footprints of nations: how much nature do they use? How much nature do they have?* Centre for Sustainability Studies, Universidad Anahuac de Xalapa, México, 1997.

## Notas

<sup>3</sup> **Huella Hídrica Verde.** Volumen de agua de lluvia consumida durante el proceso de cultivo o de producción. Esta es relevante para los productos agrícolas y forestales. Se refiere al total de evapotranspiración del agua lluvia más el agua incorporada dentro del cultivo; **Huella Hídrica Azul:** Volumen consumido de agua de fuentes superficiales o subterráneas para la producción de un bien o servicio. Este consumo se refiere al volumen de agua fresca usada y luego evaporada o incorporada dentro del producto. Corresponde al monto de agua captada del subsuelo o superficial utilizada a través de los sistemas de riego que no retorna a la fuente de la cual fue captada; **Huella Hídrica Gris:** Indica la cantidad de agua contaminada para la elaboración de un producto a lo largo de su cadena de producción. Se define como el volumen de agua fresca requerido para diluir los contaminantes de tal manera que la calidad del agua resultante corresponda a los acuerdos de calidad establecidos (Hoekstra *et al.*, 2011: 187-190).

<sup>4</sup> Este punto puede ser complementado con la estimación de la huella hídrica gris que es la cantidad de agua fresca requerida para diluir los contaminantes (Hoekstra *et al.*, 2011: 187-190). Futuros trabajos pueden abordar este tema.

# AGRO-INDUSTRIA CAÑERA Y USO DEL AGUA: ANÁLISIS CRÍTICO EN EL CONTEXTO DE LA POLÍTICA DE AGROCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA

---

MARIO ALEJANDRO PÉREZ  
MIGUEL RICARDO PEÑA  
PAULA ALVAREZ

**Resumen:** Este artículo muestra la relación entre las políticas económicas que han promovido al sector cañicultor y su impacto sobre el uso del agua en Colombia, haciendo énfasis en el Valle del Cauca, tanto en su función abastecedora como en la asimiladora. Además, examina la capacidad de soporte del territorio en el valle del río Cauca, asociado a la dinámica futura del cultivo de caña como resultado de las nuevas políticas de apoyo a los agrocombustibles.

**Palabras clave:** Caña de azúcar; Capacidad de soporte; Conflictos e impactos ambientales; Valle del río Cauca (Colombia); Sostenibilidad fuerte.

**Abstract:** *This work shows the relationship amongst economic policies that have promoted the sugar cane sector and its impact on the water resources supply and assimilatory functions in Colombia, with emphasis on the Valle del Cauca. Furthermore, it examines the land support capacity in the Cauca river valley related to the future dynamics of sugar cane crops as a result of the new policies supporting biofuels production.*

**Keywords:** *Sugar cane; Carrying capacity; Environmental conflicts and impacts; Valley on Cauca River (Colombia); Strong sustainability.*

---