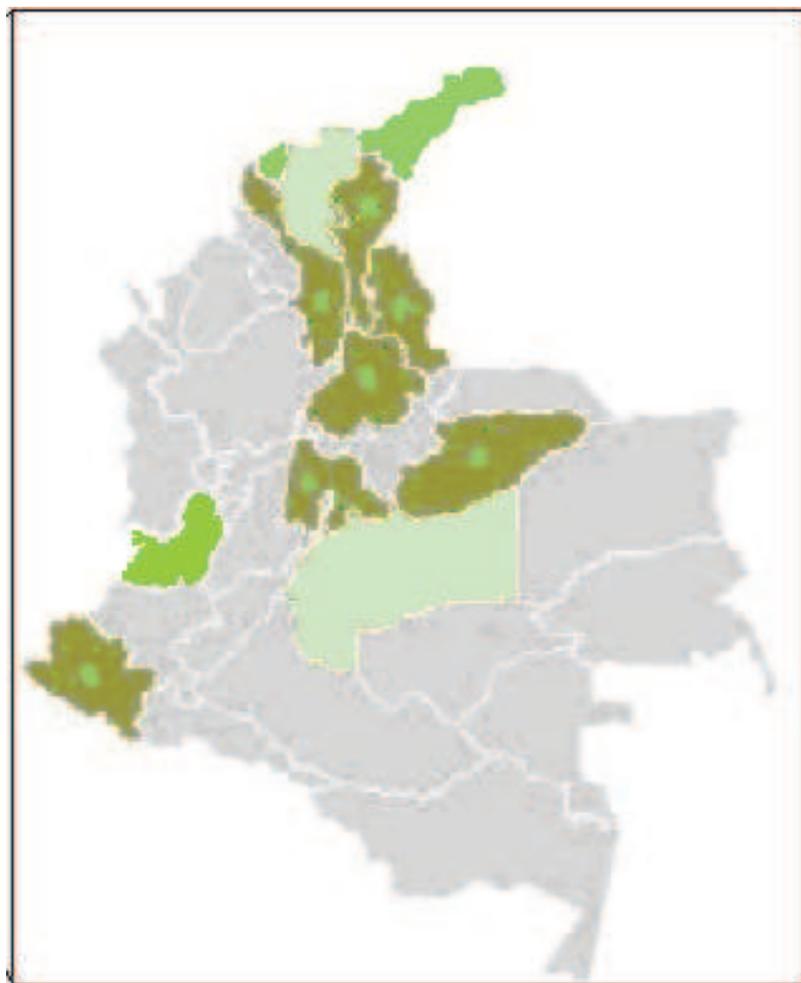


Perspectivas generales del efecto del reúso de aguas residuales para riego en cultivos para la producción de biocombustibles en Colombia



JULIÁN LASSO¹,
JOSÉ LUIS RAMÍREZ²

Resumen

En los últimos años, la producción de etanol y biodiesel ha crecido en Colombia de manera directamente proporcional al aumento del área de cultivos de caña de azúcar y palma de aceite. Este crecimiento se ha expandido a varios departamentos localizados a lo largo y ancho del territorio nacional, lo cual ha generado una mayor demanda hídrica y por tanto una amenaza a la disponibilidad de este recurso en los próximos años. Debido a que estos departamentos tienden a tener poca disponibilidad de agua a causa de periodos de sequía prolongados, a la deforestación en las partes altas de las cuencas hidrográficas y a los efectos del cambio climático mundial, es necesario

1 Ingeniero Agrícola, Universidad del Valle, Cali – Colombia email: lasso.julian@gmail.com

2 Ingeniero Mecánico, Msc. Universidad Autónoma de Occidente, Cali – Colombia e-mail: jlramírez@auo.edu.co

Fecha de recepción: Mayo 18 /11 • Fecha de aceptación: Mayo 30 /11

implementar estrategias que permitan mantener una oferta hídrica suficiente para suplir las necesidades poblacionales y agrícolas principalmente. Dado que estos cultivos no son de consumo humano directo y que una parte se destina al sector energético, hay entonces un alto potencial de reúso de aguas residuales para actividades de riego lo cual evita el vertimiento de estas en cuerpos de agua dulce. Esta práctica se ha empleado en países desarrollados y en vía de desarrollo como estrategia de manejo integral de sus recursos hídricos con soluciones concretas y sostenibles a largo plazo. Este trabajo es una aproximación desde una perspectiva ambiental, hidroclimatológica y normativa para determinar el potencial de reúso de aguas residuales para el riego de estos cultivos en Colombia, lo cual se encontró viable ya que las condiciones climáticas hacen que las aguas residuales sean vistas como un recurso que genera beneficios agronómicos y cuyos impactos ambientales son controlables si se lleva a cabo una adecuada gestión ambiental.

Palabras clave: Reúso aguas residuales, riego, etanol, biodiesel, producción.

Abstract

In last years, the ethanol and biodiesel production in Colombia has increased directly with the oil palm and sugar cane cultures in departments located all over the national territory, generating a higher water demand and, therefore, projecting a threat of this resource availability in the next few year. Due this departments are vulnerable to having low

water availability due to prolonged periods of drought, upper watershed deforestation and effect of global climate change, it is necessary to implement strategies to maintain an enough water supply for the population and agriculture needs. Because these crops are not direct human consumption and some of them are destined to the energy sector, a high potential of wastewater reuse for irrigation are contemplating, avoid them dumping in freshwater bodies. This practice has been used in countries as a planning strategy an integrated management of water resources, getting specific and sustainable solutions to long term. This paper made an approach from an environmental, hydro-climatologically and normative perspective for determining the wastewater reuse potential in the irrigation of these cultures in Colombia, which was found viable because climatic conditions, to encourage waste water to be seen as a resource, generate estimated agronomic benefits and environmental impacts will be controllable if it's handling environmental management properly.

Keywords: Reuse, irrigation, biofuels, ethanol, biodiesel, production.

1. Introducción

La proyección en la producción de biocombustibles en Colombia se estimó en 2.384.562 l/día de biodiesel para el año 2009, a partir de palma de aceite y en 1.050.000 l/día de bioetanol para el año 2008 a partir de caña de azúcar (Castello, 2008), con una prometedora tendencia al alza durante los próximos años a raíz de la creciente demanda de combustibles, como resultado de la disminución de las reservas de

petróleo del país, las condiciones de clima y suelo ideales para la siembra en diversas zonas del país y la implementación de políticas de estimulación a la producción y el consumo (Minminas, 2007). Desde el punto de vista agrícola, dicho crecimiento se vio reflejado en el aumento de hectáreas sembradas (357.047 ha en el 2008 de 3.273.282 ha potenciales para palma de aceite y 449.480 ha en el año 2008 de 3.898.221 ha potenciales para caña de azúcar -MADR, 2009) en la adecuación de infraestructuras hidráulicas y de sistemas de riego para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

En Colombia, los cauces de los afluentes y los pozos subterráneos se ha convertido en las principales fuentes hídricas de abastecimiento para cultivos y poblaciones que se ubican sobre sus márgenes o en cercanías (Lasso & Perdomo, 2008). Por lo tanto, la agricultura se constituye en el sector que mayor demanda hídrica tiene en el país lo cual lleva a que en un mediano o largo plazo dicho sector entre en una crisis de tipo ambiental, económico y social a causa del crecimiento poblacional que genera un acceso *per cápita* de agua cada vez menor, al aumento del área cultivada (FAO, 2000; Lasso & Perdomo, 2008; Silva, 2008, Manga *et al.* 2001) y a la prolongación de periodos secos por efecto del cambio climático y a variabilidad climática que en el país se manifiesta por medio del fenómeno del *Niño* (Ideam, 2009). Estas razones llevan a que se implementen estrategias y mecanismos encaminados a compensar la escasez del recurso por medio de una gestión integral del recurso hídrico (GIRH) (Silva *et al.*, 2008), la implementación de una mayor eficiencia en los sistemas de riego y distribución del flujo y el reúso en el sector agrícola de efluentes de plantas de tratamiento de aguas resi-

duales –PTAR–.(Lasso & Perdomo, 2008). Este último se convierte en una de las soluciones más viables ya que ha mostrado resultados positivos en varios países como menores costos en fertilización (Acodal, 2000), mejor interacción suelo – planta, menores impactos ambientales generados y un tratamiento de aguas residuales en poblaciones medianas y pequeñas (Manga *et al.*, 2001). Este trabajo hace una aproximación general de tipo normativo, hidroclimatológico y ambiental sobre el reúso de aguas residuales en actividades de riego en cultivos de caña de azúcar y palma de aceite para la producción de biocombustibles con el fin de determinar su viabilidad para convertirse en alternativas auto sostenibles en el mediano y el largo plazo.

2. Antecedentes de reúso agrícola

La agricultura demanda el 70% del recurso hídrico mundial para sus necesidades de riego. La actividad industrial con 20% y las actividades domésticas con un 10%, consumen el 30% restante (Shuval, 1991). En Colombia, según Minambiente (2001) el 85% del agua disponible es empleada por el sector agrícola con el mismo propósito, por lo tanto este sector se convierte en un potencial usuario de aguas residuales ya sea de manera directa o indirecta.

Implementar el reúso controlado de efluentes en cultivos de caña de azúcar y palma de aceite trae consigo varios beneficios de índole agronómico, económico y ambiental, ya que reduce el vertimiento directo a los afluentes controlando con ello su contaminación y eutrofización (Silva, 2008) Además, se disminuyen los costos de producción por el contenido de nutrientes y la aplicación de fertilizantes. A continuación se enuncian casos aplicados

en varios países de reúso de aguas residuales con tratamiento y sin tratamiento en el sector agrícola.

2.1 Agua residual con tratamiento para reúso agrícola.

En *Israel* es una prioridad nacional el reúso de las aguas residuales en la agricultura debido a la escasez severa del recurso, la contaminación de los recursos hídricos y a los altos niveles de consumo de agua. El reúso constituye la fuente inmediata de agua adicional para riego y representa aproximadamente el 10% del total del agua de consumo de la nación. El objetivo para el 2010 es reusar el 20% del total de agua residual en riego de cultivos lo que corresponde a 430 millones de m³/año (EPA, 2004). En este país hay dos grandes proyectos de reúso de aguas residuales para la agricultura. El primero corresponde al agua residual del área metropolitana de Haifa el cual prevee tratar 3.47 m³/s usando un sistema de lodos activados convencional (Quipuzco, 2004). El agua después de ser tratada es recolectada en el Valle de Yiszre en donde es almacenada con aguas lluvias y en el verano irrigarían 15.000 ha de algodón y cultivos no aptos para el consumo. El segundo proyecto es el sistema de reúso de la región El Dan que sirve al área metropolitana de Tel Aviv, el cual cuenta con un tratamiento biológico mecánico y descarga a un acuífero para su recarga; posteriormente el agua es bombeada a las costas del sur y al norte al área de Negev. El punto más intensamente irrigado con aguas residuales corresponde de 10.000 a 20.000 m³/ha/año (EPA, 2004; Quipuzco, 2004).

En *Francia* en los últimos diez años el consumo medio de agua potable ha aumentado en un 21% y el del sector agrícola en un 42%.

Además, la calidad de las aguas superficiales se ha afectado por el exceso de nutrientes y por las deficiencias en el tratamiento de las aguas residuales lo cual causa eutrofización en los cuerpos receptores. De esta forma, el uso de las aguas residuales se ha considerado como potencial de abastecimiento para riego (EarthTrends 2006; Brissaud, 2005; citado por Silva, 2008). En la isla de Noirmoutier, debido al aumento de la población turística y de las actividades agrícolas intensivas se hizo necesario la reutilización de las aguas residuales las cuales son tratadas por dos plantas de tratamiento para el riego de 500 ha de cultivos de vegetales y en el futuro esperan reusar el 100% del caudal total tratado. Otro caso es el proyecto de Clermont Ferrand, implementado en 1999, el cual genera un caudal de 0.115 m³/s usados para irrigar 750 ha de maíz (EPA, 2004).

En *Australia*, en la granja de Werribee cerca a Melbourne, se optó por el uso las aguas residuales provenientes de uso doméstico desde 1940. Esta solución sigue hoy en funcionamiento y gracias a ella se irrigan aproximadamente 10.000 ha. El objetivo de estas “granjas de aguas residuales” es reducir al mínimo o prevenir la contaminación de los ríos y conservar el agua y los alimentos para mejorar la agricultura (FAO, 2002).

En *Brasil*, muchos municipios han reconocido los beneficios del reúso urbano y han optimizado la utilización del agua, particularmente para el reúso agrícola (EPA, 2004). En el nordeste de este país investigadores evaluaron el desempeño de un cultivo de pimentón irrigado con tres calidades de agua (efluentes de reactor *UASB*, de laguna de maduración y agua de pozo). A los tratamientos irrigados con agua de pozo les aplicaron tres formas de fertilización (sin fertilizante, con la adición de un

fertilizante mineral y un fertilizante orgánico). No se observó diferencia significativa entre los resultados de productividad de los tratamientos irrigados con agua de pozo y con fertilización mineral y orgánica y los tratamientos regados con el efluente del reactor *UASB* (Nunes *et al.* 2005; citado por Silva, 2008). En la ciudad de Curitiba, se reúsa el efluente de la planta de tratamiento Martinopoli en irrigación de hortalizas. Se observó que este es adecuado para la salud pública, pero se hace énfasis en la protección de los trabajadores que tienen contacto con dicho efluente (Ongley, 1997).

En *Argentina*, en el 2000 solo el 35% de la población se beneficiaba de un sistema de alcantarillado y parte de estas aguas residuales tenía un tratamiento apropiado. El reúso a gran escala se impuso debido a las altas densidades poblacionales en las ciudades y su principal uso fue en la agricultura (EPA, 2004). El sistema más grande de reúso en *Argentina* se localiza en la región árida de Mendoza donde alrededor de 2000 ha son irrigadas con el efluente del sistema de tratamiento. Dicho efluente se usa para riego de olivos, alfalfa, frutales, ajo, tomate y otros cultivos (EPA, 2004).

En *Perú*, en la ciudad de Tacna se vienen utilizando los efluentes de las lagunas de estabilización para el riego de 200 ha cultivadas con papa, maíz, alfalfa y olivos, entre otros. Desde 1975 los agricultores reportan incrementos del 20% al 100% de su producción agrícola cuando regaban con dichas aguas, en comparación con los cultivos tradicionales irrigados con aguas de río que además recibían aplicación de fertilizantes químicos. Cerca de San Bartolo al sur de Lima, se proyecta regar cerca de 4.000 ha con el efluente del tratamiento de un sistema de lagunas que incluye lagunas de maduración (EPA, 2004). En Lea

usan el efluente tratado para el riego restringido de 400 has cultivadas principalmente con algodón, maíz y algunos vegetales (Blumenthal *et al.*, 2000).

En *Colombia*, además de las aguas residuales crudas o parcialmente tratadas de origen doméstico, se reúsan para riego de cultivos las aguas residuales de origen industrial y agroindustrial. En la sabana de Bogotá en el distrito de riego y drenaje de La Ramada, se riegan 3.500 ha de cultivos de hortalizas, flores y pastos para lo cual se utiliza un caudal de 1.5 m³/s bombeados del río Bogotá (Gradex, 1996; citado por Silva, 2008).

3. Criterios normativos de reúso de aguas residuales en cultivos con fines de producción de biocombustibles

En *Colombia*, actualmente no existen políticas o normas que impidan el reúso de aguas residuales en agricultura o que establezcan parámetros mínimos de calidad de manera que esta no genere impactos ambientales o sobre la salud humana. Por lo tanto para el reúso en irrigación en caña de azúcar y en palma de aceite se pueden utilizar como referente los parámetros o directrices internacionales que establecen entidades como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Por lo tanto para implementar estrategias de reúso de efluentes derivados de actividades realizadas por los sectores antes mencionados como alternativas de GIRH en agricultura, se deben considerar aspectos como la calidad con el fin de evitar riesgos a la producción, las condiciones físico-químicas del suelo y a la salud pública (principalmente en lo que se refiere a sus características microbiológicas). Por ende, estas se

consideran las razones principales para el establecimiento de guías y regulaciones para el reúso seguro del efluente (Metcalf y Eddy, 2003; Gaviño, 2008).

Las directrices de la OMS se aplican a la calidad microbiológica de las aguas residuales para riego y se clasifican en tres categorías según sus niveles de parásitos y coliformes fecales, indicadores de la presencia de patógenos lo cual se expresa en la Tabla 1 (OMS, 1989). También se aplican las características físico-químicas para calidad de las aguas de riego de la FAO (1985) expresadas en la Tabla 2; estos criterios dependen también del tipo de cultivo. Por ejemplo, cuando el reúso se realiza en cultivos que se consumen crudos y no se procesan comercialmente, se asume que el riego es *restringido*, y cuando se aplica en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente y en cultivos que no se consumen por el hombre, como los biocombustibles, el riego es *no restringido* (OMS, 1989).

Para la evaluación de la calidad agronómica de las aguas residuales

se sugiere acatar las recomendaciones de la FAO (1985) que establecen los parámetros físico químicos para los usos en riego por gravedad y aspersión y riego localizado. Ver Tabla 2.

3.1 Tasas de cobro por uso

La Ley 373 de 1997 establece que la actividad del reúso es una práctica obligatoria y por lo tanto para fomentarla se debe establecer una tarifa diferencial entre el agua captada directamente de corrientes y cuerpos de agua naturales y los efluentes con fines de reúso y es esta última la alternativa de menos costo (Minambiente, 2001). En el departamento del Valle del Cauca, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Acodal) estimó en el 2000 que el costo por metro cúbico en el departamento del Valle del Cauca para reúso agrícola es de U\$0.40 para el riego de caña de azúcar. Esta cifra pueden ser extensiva o servir de referencia para cultivos de palma de aceite dadas las condiciones

Tabla 1. Relación de aprovechamiento de aguas residuales tratadas con presencia o concentración de patógenos según OMS, para sector agrícola y forestal.

Categoría de aprovechamiento	Condiciones de aprovechamiento	Grupo expuesto	Nematodos intestinales. (Media aritmética N° de huevos por litro)	Coliformes fecales (Media geometría N° por 100 ml)	Tratamiento de aguas residuales necesario para lograr la calidad microbiológica exigida
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos	Trabajadores, consumidores, público.	< 1	< 1000	Serie de estanques de estabilización que permite lograr la calidad microbiológica indicada o su tratamiento equivalente.
B	Riego de cultivos de cereales industriales y forrajeros, pradera y arboles.	Trabajadores.	< 1	No se recomienda ninguna forma.	Retención de estanques de estabilización por 8 a 10 días, o eliminación equivalente de helmintos.
C	Riego localizado de cultivos en la categoría B cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos.	Ninguno.	No es aplicable.	No es aplicable.	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego por sedimentación primaria.

Fuente: (CEPIS, 1998; Blumenthal *et al.*, 2000).

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de calidad de agua para riego por gravedad y riego localizado.

Parámetro	Unidad	Parámetro FAO (1985)	
		Riego gravedad	Riego localizado
Conductividad eléctrica (CE)	Mmhos/cm	< 0.7	
Sólidos Suspensos (SS)	mg/l	< 100	< 50
Sólidos Totales (ST)	mg/l	< 600	
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/l	< 450	
Sodio (Na)	meq/l	< 3	
Boro (B)	meq/l	< 4	
Hierro (Fe)	meq/l	< 5	< 0.1
Magnesio (Mg)	meq/l	0 - 5	
Manganeso (Mn)	meq/l	< 0.2	
pH		6.5 - 8.4	< 7.0
Fósforo (P)	mg/l	0 - 2	

climáticas y edafológicas de los departamentos donde actualmente se siembra. Por lo tanto el reúso para su riego trae ventajas agronómicas que se reflejan en menores costos ya que permite por medio de los efluentes tener aportes de nutrientes (Manga *et al.*, 2001) lo que incide en un menor uso de fertilizantes, y por ende se reducen los costos de siembra.

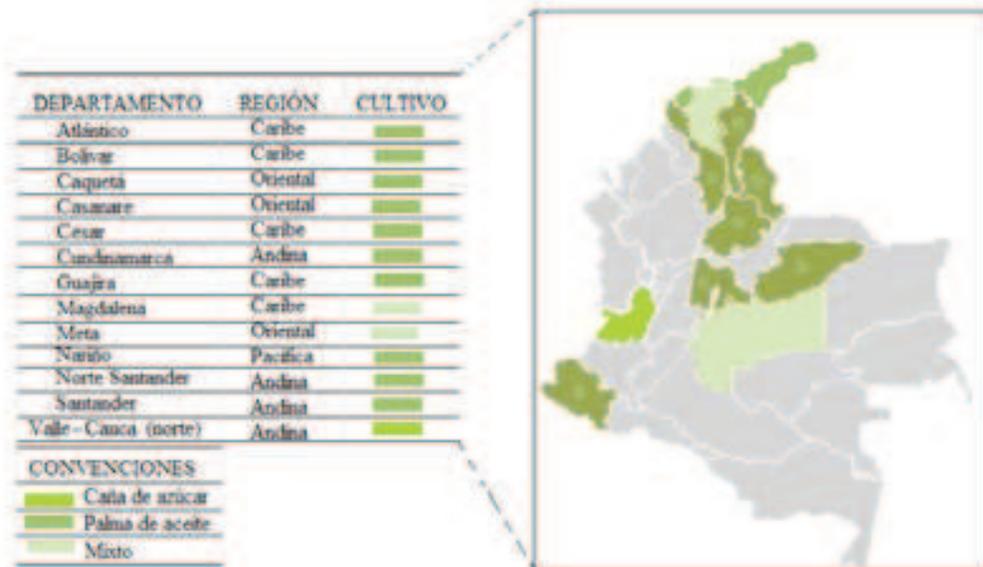
Además, al igual que la caña de azúcar el fruto que se cosecha de la palma de aceite para la obtención de biocombustibles también requiere de un proceso poscosecha distinto al del consumo humano. Asimismo, el sistema de riego (aspersión) que se emplea en la palma de aceite tolera una mayor cantidad de elementos presentes en un efluente en comparación con otros sistemas de riego, como el riego localizado, lo cual se torna de alta viabilidad para el reúso y aún más si dicho efluente tiene un tratamiento previo.

4. Observación climatológica

En Colombia, los sectores productores de biocombustibles se centran en el departamento del Valle

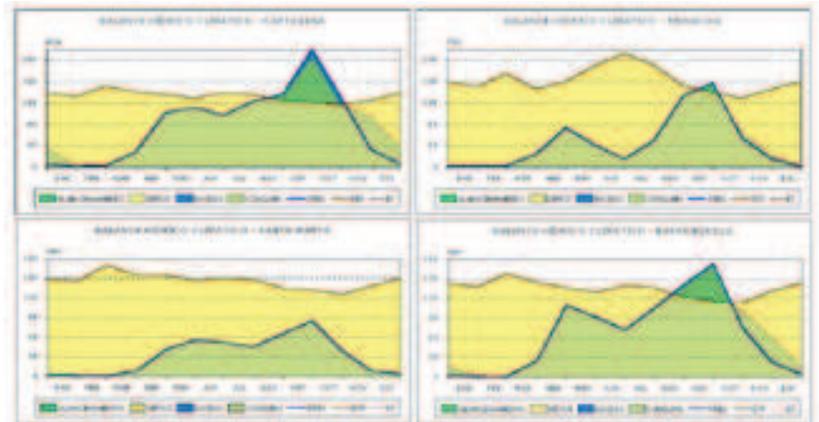
del Cauca (caña de azúcar), parte de la región Oriental y gran parte de la costa caribe (palma de aceite y caña de azúcar). Estas zonas difieren en cuanto a la disponibilidad de fuentes hídricas superficiales durante el año, debido sobre todo al régimen de lluvias que presenta cada una de ellas (ver Figura 1).

La costa caribe presenta un régimen de lluvias unimodal (IDEAM, 2009) que se expresa en un periodo húmedo pico entre septiembre, octubre y noviembre (ver Figura 2) y un periodo seco prolongado que va de diciembre hasta el mes de abril con un leve ascenso de mayo a agosto lo cual hace que se mantenga el déficit hídrico. Estas condiciones hacen viable el reúso de efluentes, en especial durante el periodo seco (mayor demanda hídrica) lo cual permite el manejo hídrico mixto que comprende el uso tanto del efluente como del afluente, ya sea por medio de una fuente de almacenamiento (reservorio) o de la captación de una fuente superficial con el propósito de cubrir un área de riego mayor.



Fuente: Adaptado de (Fedepalma, 2009; Perafán, 2009)

Figura 1. Distribución de departamentos productores de caña de azúcar y palma de aceite en Colombia.



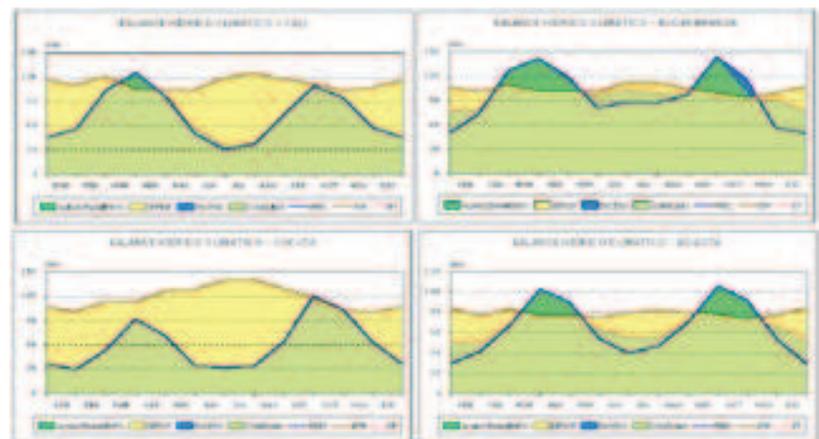
Fuente: IDEAM, 2010

Figura 2. Comportamiento mensual histórico de lluvias en la región caribe colombiana.

En la región andina se presenta un régimen de lluvias bimodal (IDEAM, 2009; Lasso & Perdomo, 2008), con dos periodos húmedos (marzo – abril – mayo y septiembre – octubre – noviembre) y dos periodos secos (junio – julio – agosto y septiembre – octubre – noviembre) durante el año. El reúso de efluentes para riego se vuelve importante durante los periodos secos en los cuales se presentan los menores niveles de caudal en los afluentes. En los periodos húmedos el reúso de aguas residuales se hace en el transcurso del segundo periodo húmedo (septiembre – octubre – noviembre) ya que históricamente el promedio de precipitación es

menor que el presentado durante el primer periodo húmedo (marzo – abril – mayo); además, (ver Figura 3) el comportamiento hidrológico permite emplear herramientas o mecanismos de gestión y planificación de GIRH encaminados a combatir la escasez de agua en los próximos años.

En la región de los Llanos Orientales (orinoquia), el comportamiento de las lluvias promedio histórico mensual es menor a medida que hay un desplazamiento hacia el oriente (ver Figura 1). Aunque esta zona presenta promedios históricos mensuales menores al de otras zonas del país como la zona andina,



Fuente: IDEAM, 2010.

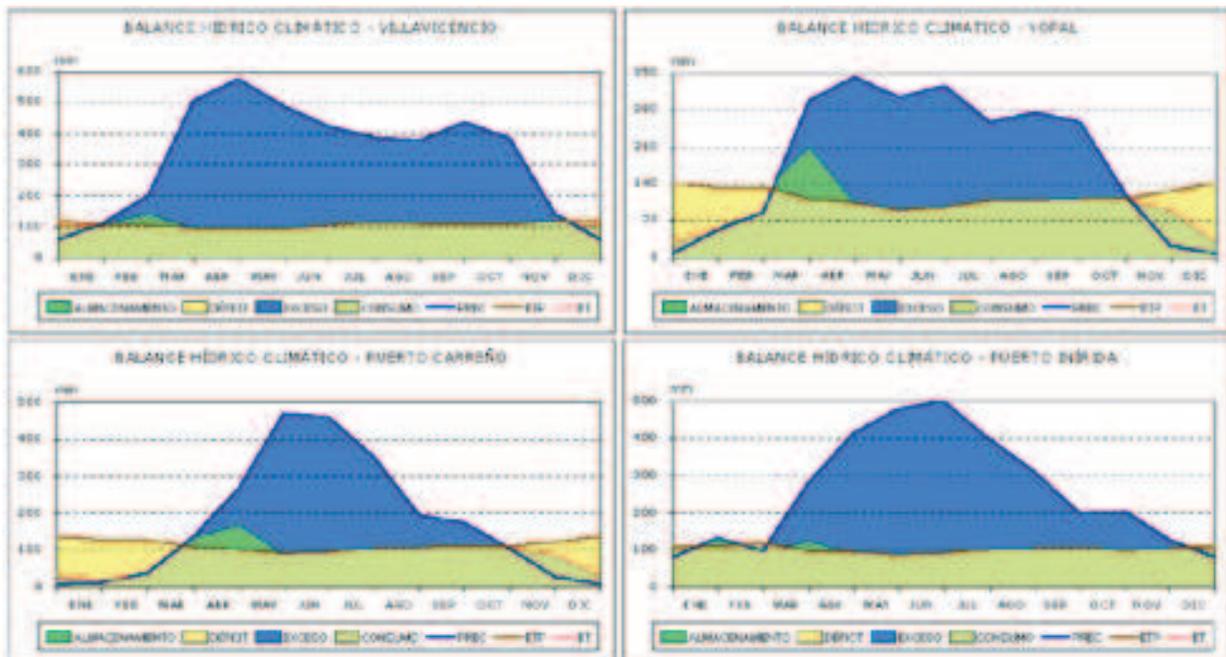
Figura 3. Comportamiento mensual histórico de lluvias en la región andina colombiana.

dichos promedios se mantienen constantes a lo largo del año al presentar un régimen de lluvias unimodal, con un largo periodo húmedo y de exceso y un déficit hídrico entre los meses de diciembre y enero debido a la presencia de un periodo seco pequeño. Es indispensable realizar una planeación y gestión de GIRH y de reúso de efluentes, especialmente en cultivos cercanos a las principales capitales de esta región ya que durante los periodos de sequía prolongados se presenta una reducción en la precipitación que oscila entre el 40% y el 70% (IDEAM, 2010) y las temperaturas diarias presentan registros de 2°C y 3°C por encima del promedio mensual (ver Figura 4).

5. Impactos ambientales estimados

Las ventajas de emplear los efluentes de aguas residuales en el riego de cultivos son mayores que las desventajas ya que evitan la contaminación de las fuentes

hídricas superficiales (ver Tabla 3). Otra de las ventajas es la reducción en el uso de fertilizantes artificiales dado el gran contenido de nutrientes que tienen estas aguas. Es importante de todos modos tener en cuenta la calidad del agua que se está tratando ya que esta puede tener un alto contenido de elementos salinos que a mediano plazo genera una alteración en el tipo de suelo (salinización) y provoca un encostramiento de este que afecta la infiltración del agua y por ende el crecimiento de los cultivos debido a que las sales disueltas aumentan la cantidad de energía empleada por las plantas para la absorción de agua. Ello produce un bajo rendimiento en los cultivos y afecta la calidad de los productos. También al emplear estos efluentes se puede presentar concentración de malos olores a causa de la materia orgánica diluida presente no removida durante el tratamiento.



Fuente: Ideam, 2010.

Figura 4. Comportamiento mensual histórico de lluvias en la región oriental colombiana.

Tabla 3. Matriz de impactos asociados al reúso de aguas residuales en caña de azúcar y palma de aceite para la producción de biocombustibles.

Impactos	Corto	Mediano	Largo
Sociales			
Poca presencia población	+		
Asentamiento poblacional cerca de la zona de estudio			-
Capacitación personal (adecuación)	+	+	
Marcación zona agrícola		+	+
Generación de empleo		+	+
Económicos			
Ahorro (rentabilidad)	+	+	+
Reducción de costos en producción y riego		+	+
Cobertura (posibilidad de ampliación)		+	+
Empleo fertilizantes	+	+	
Deficiencia de sistemas de riego		+	+
Ambientales			
Suplemento demanda hídrica de azúcar		+	+
Mezcla con aguas subterráneas			-
Aparición de metales pesados (aumento de uso industrial del agua)			-
Degradación de suelos			-
Malos olores		-	-
Disminución de fertilizantes químicos		+	+
Amenazas de infecciones y enfermedades hepáticas e intestinales			-

Evaluación		Total general
+	Positivos	22
-	Negativos	7

Fuente: Ideam, 2010.

6. Conclusiones

Colombia, desde un punto de vista normativo, brinda oportunidades para el reúso directo y planeado de aguas residuales tratadas en la irrigación de caña de azúcar y de palma de aceite para la producción de biocombustibles siempre y cuando se cumpla con los parámetros microbiológicos y físicoquímicos establecidos. Ello otorga al productor ventajas de tipo económico ya que se reducen las prácticas de fertilización y el costo de uso de agua es menor según la Ley 373 de 1997 de Minambiente, lo cual redundará en una mayor rentabilidad por hectárea.

Se evidenció la importancia que presenta para Colombia el reúso de

aguas residuales, por lo cual es prioritario que se establezcan políticas y mecanismos de gestión integrados del recurso hídrico en cada una de las regiones y departamentos analizados, donde las características del agua residual, su tipo de tratamiento, al igual que la calidad requerida, jueguen un papel importante.

Para cada una de las regiones que se dedican al cultivo de la caña de azúcar y de la palma de aceite el empleo de prácticas de reúso de aguas residuales tratadas involucra un compromiso y una participación interactiva entre el gobierno, los entes ambientales y el productor, ya que el gobierno debe ser el responsable del tratamiento de aguas residuales, pues dichos efluentes

en las regiones de producción en Colombia son de actividades urbanas (domésticas e industriales) y vigilados por los entes ambientales correspondientes: Departamentos de Gestión del Medio Ambiente (Dagma) y Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) según la Ley 97 de 1993 de Minambiente en la que el principal beneficiario sea el productor. 🌱

Bibliografía

- [1] Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental –Acodal. (2000). *Proyecto del distrito de fertirrigación para el valle del cauca*. Proyecto presentado en 43 Congreso Nacional de Acodal. Cali, Colombia.
- [2] Blumenthal, U.J., D.D. Mara, A. Peasey, G. Ruiz-Palacios y R. Stott. (2000). “*Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines*”. Bulletin of the World Health Organization 78 (9), 1104-1116.
- [3] Castello, L. (2008). *Biocombustibles y seguridad alimentaria*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y el Alimento – FAO -. Colombia.
- [4] Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite –Fedepalma (2009). *Estadísticas Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite*. Disponible en: <http://www.fedepalma.org/estadisticas.html>
- [5] Food and Agricultural Organization of United Nations –FAO- (2002). “*Mas producción agrícola con menos agua*”. Disponible en <http://www.fao.org>, consultada: Octubre 2011.
- [6] Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO – (2000). “*Wastewater treatment and use in agriculture*”. Disponible en: www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm, consultada: Enero 2010.
- [7] Food and Agricultural Organization of the United Nations –FAO-.(1985). *Water quality for agriculture. Irrigation and drainage*. Technical paper N°29. Rome, Italy.
- [8] Gaviño, M. (2008). “*Curso regional itinerante en Gestión Integral del Recurso Hídrico*”. Memorias Curso pre-seminario VIII Congreso Seminario Colombiano de Limnología y I Reunión Internacional de Cuencas Bajas y Zonas Estuarinas. Cali, Colombia.
- [9] Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Medio Ambiente – Ideam. (2008). “Mapas de disponibilidad hídrica”. Disponible en: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1006>.
- [10] Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Medio Ambiente – Ideam -. (2010). *Mapas de disponibilidad hídrica*. Disponible en: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1006>.
- [11] Lasso, J.; Perdomo, M. (2008). “Una aproximación integral al sistema de distribución de aguas residual proveniente del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residual de Cali (PTAR-C) para el sector cañero en el Valle del Cauca, Colombia”. *Memorias VIII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola* (CLIA 2008). Managua, Nicaragua.
- [12] Manga, J; Logreira, N; Serralt, J.(2001). “Reúso de aguas residuales. Un recurso hídrico disponible”. *Revista Ingeniería y Desarrollo*. Universidad del Norte 9: 12-21.
- [13] Metcalf and Eddy.(2003). *Waste engineering: treatment, and reuse*. Fourth Edition Ed. Mc Graw Hill. New york. 1819p.
- [14] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR -. (2009). *Producción de biocombustibles en Colombia*. Disponible en: <http://www.minagricultura.gov.co/02componentes/05biocombustible.aspx>
- [15] Ministerio del Medio Ambiente – Minambiente -. (2001). *Guía técnica para el desarrollo de proyectos de reúso de aguas residuales domésticas municipales*. Bogotá, Colombia.
- [16] Ministerio de Minas y Energía. (2007). *Programa de biocombustibles en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- [17] Ongley, E.D.(1997). *Lucha contra la contaminación de los recursos hídricos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y el Alimento – FAO -. Roma, Italia.
- [18] Organización Mundial de la Salud – OMS -. (1989). “Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura”. *Serie Informes Técnicos*, 778. Ginebra: OMS, 93p.
- [19] Perafán, F. (2009). *Azúcar de caña*. Colombia. Disponible en: <http://www.perafan.com/azucar/ea02cana.html>.
- [20] Quipuzco, L. E. 2004. “*Valoración de las aguas residuales en Israel como un recurso agrícola: consideraciones a tomar en cuenta para la gestión del agua en Perú*”. *Revista del instituto de investigación FIGMMG*. San Marcos. 7 (13), 64-72.
- [21] Silva, J. 2008. *Reúso del agua residual tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales de cañaveralejo PTAR-C en el cultivo de caña de azúcar*. Tesis de maestría en ejecución. Universidad del Valle. Posgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- [22] U. S. Environmental Protection Agency – EPA -. (2004). “*Guidelines for Water Reuse*”. Technology Transfer and Support Division National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development Cincinnati, O. 245p.