



DNP Departamento
Nacional
de Planeación



Misión de crecimiento verde

Consultoría sobre productividad del uso del agua y la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y en el reúso del agua en Colombia

Resumen ejecutivo del diagnóstico

Septiembre de 2017

En el marco del Plan de Desarrollo 2014 – 2018 “Todos por un nuevo país”, el DNP se encuentra adelantando la Misión de Crecimiento Verde¹ con el fin de avanzar hacia la incorporación de un enfoque de sostenibilidad en la planificación del desarrollo económico, que promueva la competitividad económica, la protección y el uso sostenible del capital natural y de los servicios de los ecosistemas.

Entre los ejes temáticos priorizados para la Misión, relacionados con el uso sostenible de los recursos, están la productividad y la calidad del agua; para contar con los lineamientos y recomendaciones para mejorar estos aspectos al 2030, el DNP, la Agencia Francesa de Desarrollo y el Fondo Acción, contrataron una consultoría con el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia CTA, que tiene los siguientes objetivos:

- Identificar las causas y los factores determinantes que inciden en la productividad del uso del agua y las medidas de política para mejorarla.
- Identificar las causas y los factores determinantes que inciden en la eficiencia y cobertura del tratamiento de aguas residuales y las medidas de política para mejorarlas.
- Identificar el potencial, los factores determinantes y las regiones estratégicas para el reúso del agua y las medidas de política para su implementación.

El diagnóstico presentado en este documento tiene el objetivo de identificar las causas y los factores determinantes que inciden en la productividad y eficiencia del uso del agua y generación de vertimientos en los sectores agrícola, pecuario, agua potable y saneamiento básico, minería e industria manufacturera, así como en la eficiencia y cobertura de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

¹ La Misión de Crecimiento Verde tiene el objetivo de preparar y discutir los insumos técnicos necesarios para la formulación de una Política de Crecimiento Verde de largo plazo que defina objetivos y metas de crecimiento económico sostenible a 2030, según lo dispuesto en Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018.

1. DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN COLOMBIA

El análisis de la disponibilidad del recurso hídrico en Colombia y su relación con los sectores económicos, ha sido realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Con la aplicación de los indicadores IUA, IARC y IACAL² se determinan las presiones ocasionadas por los sectores económicos sobre la disponibilidad hídrica³. Con base en los resultados de estos indicadores se definen las subzonas hidrográficas (SZH) donde se debe priorizar el uso eficiente del agua y la reducción de la contaminación. En la Tabla 1, se presentan las SZH clasificadas en categorías Muy Alta y Críticas para los indicadores IUA, IARC y IACAL.

Tabla 1. SZH clasificadas en las categorías Crítico y Muy Alta de acuerdo al IUA, IARC y IACAL

Código	Subzona Hidrográfica	Ciudad asociada
2120	Río Bogotá	Bogotá
2630	Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo	Cali
1206	Arroyos directos al Caribe	Cartagena
2903	Canal del Dique margen derecho	
2904	Directos al Bajo Magdalena entre Calamar y desembocadura al mar Caribe (mi)	Barranquilla
2909	Ciénaga Mallorquín	

Fuente: (IDEAM, 2015)

2. PRODUCTIVIDAD DEL AGUA

En general Colombia presenta baja productividad del agua en relación a los demás países de América Latina, puesto que mientras el promedio examinado de América Latina y los países de ingreso medio alto producen respectivamente 20,31 y 27,38 dólares por cada metro cúbico de agua, Colombia produce apenas 18,91 dólares. Esta brecha es aún más sorprendente frente a la OCDE que produce seis veces más riqueza con el mismo metro cúbico de agua (114,44 dólares) (Fedesarrollo, 2016).

Si bien el país cuenta con abundancia de recurso hídrico, ésta no se traduce en un buen aprovechamiento en la producción de riqueza a partir de este recurso. Situación que se refuerza por la disminución de la disponibilidad de agua por persona en un 31% entre 1992 y 2014. Este bajo desempeño debe analizarse principalmente de acuerdo a las ineficiencias en los sectores que más consumen agua. Por ejemplo, mientras el sector agropecuario consumió más de la mitad del total de agua (55%) usada en Colombia (IDEAM, 2015), apenas logró producir 6,16% del PIB (Fedesarrollo, 2016). El comportamiento del indicador, desde el 2007 al 2014, según estimaciones del DANE (Departamento Nacional de Estadísticas, 2016), evidencia que la productividad económica del agua se ha venido incrementando desde el 2007 pasando de USD\$10,33 por metro cúbico a USD\$12,79 por metro cúbico en el 2014. Además, se observa un aumento importante entre el 2009 y 2010, donde pasa de USD\$10,12 por metro cúbico a USD\$11,81 por metro cúbico (Figura 1).

2 IUA: Índice de Uso de Agua; IARC: Índice de Agua no Retornada a la Cuenca; IACAL: Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua
3 La metodología de cálculo asociada a los indicadores hídricos puede ser consultada en el Estudio Nacional del Agua 2014 (IDEAM, 2015)

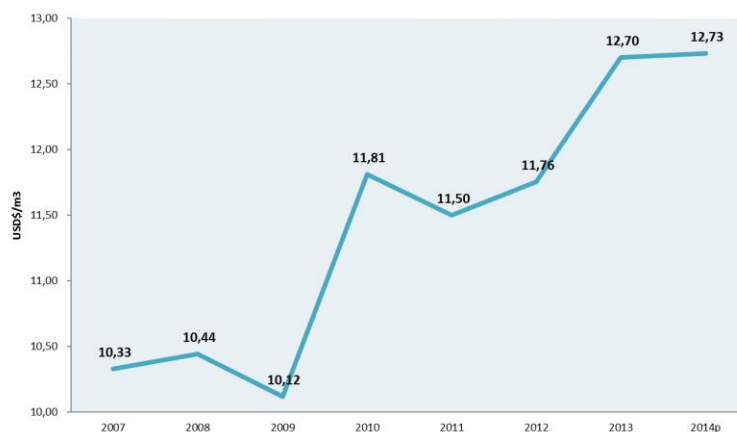


Figura 1. Productividad económica del agua estimada para Colombia desde 2007-2014

Fuente: (Departamento Nacional de Estadísticas, 2016)

Ahora bien, a partir de las variables que componen el análisis del indicador, se evidencia que la extracción ha venido incrementándose sustancialmente desde 2007, pasando de 23.355,2 millones de metros cúbicos a 25.590,3 millones de metros cúbicos en el 2014; mientras que el agua recibida y suministrada de y para otras unidades económicas, por ejemplo, a través de estrategias de reúso, sigue siendo muy precaria (Tabla 2). Lo anterior plantea oportunidades para los sectores económicos para mejorar la eficiencia de los procesos productivos e incrementar la productividad hídrica.

Respecto a los retornos de agua hacia el medio, se evidencia un aumento pasando de 13.255,5 millones de metros cúbicos en el 2007 a 22.202,8 millones de metros cúbicos en el 2014. Es importante mencionar que más allá del retorno de agua hacia el medio, es necesario conocer la calidad del agua retornada, ya que ésta condiciona su disponibilidad. Respecto al valor agregado, se evidencia el incremento sustancial desde el 2007, pasando de 97.952 millones de pesos a 107.269 millones de pesos al 2014. Lo anterior es importante en términos de crecimiento económico a nivel sectorial, sin embargo, es necesario considerar aspectos adicionales al uso del agua, que pueden ser explicativos de estos comportamientos. Asociar la extracción de agua con el valor agregado de las diferentes actividades económicas, implica análisis de factores que pueden tener influencia sobre éste: tecnología, innovación, distribución geográfica, modos de producción, inversiones, entre otros.

Tabla 2. Productividad hídrica 2007-2014

Año	Extracción (Millones de m³)	Agua recibida de otras unidades económicas (Millones de m³)	Agua suministrada a otras unidades económicas (Millones de m³)	Retornos del agua de las unidades económicas al medio ambiente (Millones de m³)	Valor agregado (Miles de millones de pesos a precios constantes)	Productividad Hídrica (VA/m³) ⁴
2007	23.355,2	2.742,5	3.680,7	19.255,5	97.952,0	30.983,1
2008	24.286,2	2.710,9	3.657,4	20.202,8	98.259,0	31.324,0
2009	24.751,1	2.685,2	3.429,1	20.842,9	96.061,0	30.357,9
2010	24.338,1	2.444,0	3.333,4	20.692,4	97.680,0	35.438,9
2011	25.659,9	2.456,6	3.017,0	22.163,0	101.302,0	34.497,9
2012	25.480,7	2.448,9	2.977,4	22.047,8	102.434,0	35.268,5

⁴ Pesos generados en el valor agregado de las grandes ramas: agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca; industrias manufactureras y suministro de electricidad, gas y agua; por m³ usado en la economía.

Año	Extracción (Millones de m ³)	Agua recibida de otras unidades económicas (Millones de m ³)	Agua suministrada a otras unidades económicas (Millones de m ³)	Retornos del agua de las unidades económicas al medio ambiente (Millones de m ³)	Valor agregado (Miles de millones de pesos a precios constantes)	Productividad Hídrica (VA/m ³) ⁴
2013	24.854,7	2.321,9	2.930,2	21.482,4	105.340,0	38.110,6
2014	25.590,3	2.333,8	2.913,4	22.202,8	107.269,0	38.202,9

Fuente: DANE, Dirección de Síntesis y Cuentas Nacionales

A nivel de ramas de actividad económica, se encontró que aquellas con mayor productividad por metro cúbico fueron: actividades de servicios sociales, comunales y personales 615,8 pesos por metro cúbico, explotación de minas y canteras 60 pesos por metro cúbico, industria manufacturera 35,9 pesos por metro cúbico, en cuanto al sector agropecuario la productividad fue de 0,5 pesos por metro cúbico, y el suministro de electricidad, gas y agua 0,4 pesos por metro cúbico (DANE & IDEAM, 2015).

3. SECTOR AGRÍCOLA

Se priorizaron diez cultivos, con base en la demanda de agua, la rentabilidad económica, los mercados internacionales, la presión territorial y la importancia en la economía campesina. Los cultivos seleccionados corresponden a palma de aceite, plátano, caña de azúcar, pastos de corte y forraje, arroz de riego, flores y follajes, banano, papa y maíz. Entre estos cultivos se demanda el 84% de agua de riego, algunos de ellos son jalonados por mercados internacionales y la demanda interna, lo que ha inducido su crecimiento en área y producción, convirtiéndose en un renglón importante en la economía nacional, pero también en factor de presión al territorio y los recursos hídricos. Así mismo, cultivos como el plátano, papa, maíz y arroz, son reconocidos como alimentos prioritarios y han sido el sustento y base de la economía campesina.

En Colombia existen actualmente cerca de 731 distritos de riego financiados con recursos públicos, cuya área corresponde solo al 7% del potencial de adecuación de tierras del país (UPRA, 2014). La información sobre los distritos de adecuación de tierras es escasa en Colombia, existen bases de datos como el Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria – SIPRA (UPRA, 2014), en donde se ha realizado un esfuerzo por recuperar la información asociada a este subsector. Sin embargo, falta información sobre la gestión del recurso hídrico, como el tipo de sistema de riego, tipo de captación, capacidad de derivación, volumen de agua captada, pérdidas y flujos de retorno.

La eficiencia en el uso del agua está determinada por la eficiencia en los sistemas de riego. El riego por gravedad (inundación) utilizado en el cultivo de arroz es el menos eficiente, en el cual se estiman pérdidas aproximadas del 75% (FAO, 2004; IDEAM, 2010, 2015). Los sistemas localizados como el goteo y la microaspersión son los que mayor eficiencia presentan.

En el país no ha existido articulación entre las actividades en la adecuación de tierras, el desarrollo productivo del sector agrícola, la necesidad de los mercados ni la gestión integral del recurso hídrico y de cuencas (CEPAL & DNP, 2014). Así mismo, la adecuación de tierras ha estado a cargo de numerosas instituciones, algunas ya inexistentes, lo cual ha obligado a un traslado de funciones y competencias que aun parecen dispersas. Esto ha debilitado el avance en la adecuación de tierras, en la implementación de sistemas y tecnologías más eficientes y productivas, así como en la sistematización de información para una gestión adecuada del agua y el suelo.

Otros aspectos críticos en los distritos de adecuación de tierras, que influyen en la eficiencia y productividad del agua, corresponden al mal estado de la infraestructura, como los canales de conducción y distribución del agua, debido a la falta de mantenimiento y baja operatividad de los mismos. Así mismo, solo hasta el 2017, la ADR publicó una guía con criterios y rigurosidad técnica, para la priorización de proyectos en el subsector. También se deben considerar aspectos financieros, de participación pública y privada, y de la administración y manejo de los distritos de adecuación de tierras, algunos operados por Asociaciones de Usuarios, que no siempre tienen objetivos claros, estructuras organizacionales definidas ni las capacidades y conocimientos necesarios para su administración (CEPAL & DNP, 2014).

Recomendaciones preliminares

- Mejoramiento de los sistemas y métodos de riego. Esta recomendación está enfocada a mejorar la gobernanza del agua de los sistemas de riego, promover la agricultura de precisión y el reúso del agua.
- Impulsar la agricultura de secano acorde con la oferta hídrica, como forma de aprovechar la disponibilidad de agua verde en el país.
- Evaluar los flujos de agua virtual de los diferentes productos agrícolas que se exportan con el fin de identificar oportunidades para aumentar la productividad del agua, ya sea, potenciando la exportación de aquellos que no representan altos requerimientos hídricos o importando aquellos que cuentan con un alto requerimiento hídrico y que constituirían un alto consumo de agua en el país.

4. SECTOR PECUARIO

En el sector pecuario se consideran la ganadería bovina, porcina y avícola, priorizados teniendo en cuenta aspectos como la disponibilidad de información, factores económicos y representatividad en el territorio. La carne es la principal fuente de proteína y la dinámica de consumo de la población mundial muestra el crecimiento de este sector, convirtiéndolo en el principal usuario del territorio, en uno de los más rentables y base de la economía de gran parte de la población rural. Así mismo, es considerado como uno de los principales causantes de problemas ambientales como el cambio climático, degradación del suelo, escasez y contaminación del agua (Steinfeld et al., 2006) y a su vez es uno de los principales sectores afectados por la escasez y la contaminación del agua.

El consumo vital del animal es el mayor uso del agua en este sector y está determinado por varios factores, entre ellos la especie y raza del animal, el peso, tipo de dieta, temperatura del agua, del ambiente y humedad a la que se encuentra el animal, entre otras. Adicionalmente, es necesario el uso del agua en servicios, que corresponden a las actividades de limpieza y eliminación de desechos, en donde se pueden presentar las mayores ineficiencias debido a la falta de control en el agua extraída, por fugas en las redes de tuberías y distribución y a la falta de tecnologías de uso eficiente como el barrido en seco.

Para este estudio no fue posible contar con un cálculo de eficiencia en el uso del agua en este sector, sin embargo, se buscaron algunas aproximaciones a las demandas para consumo vital de los animales y en el consumo de agua para servicios, según el inventario pecuario al año 2016. La disponibilidad de información de concesiones de agua específica para cada actividad pecuaria es una de las falencias que no permitieron cálculos más detallados, así mismo, no se cuenta con información confiable sobre el porcentaje de la actividad pecuaria que es industrializada o la que se realiza en pastoreo o traspato.

Con los cálculos generales realizados se estimó un consumo vital de agua para los animales de 726 millones de metros cúbicos, de los cuales el 81% corresponde a ganado bovino, el 12% a aves y el 7% a ganado porcino. Así mismo, se encontraron grandes diferencias en el agua empleada en servicios entre los subsectores avícola y porcícola; se estima que este último podría consumir más de 40 veces el volumen de agua empleado en limpieza que el usado en el subsector avícola.

El manejo de vertimientos es uno de los principales factores que inciden en la contaminación del agua. En el caso de ganadería bajo pastoreo o manejo de aves en traspatio, los vertimientos son difusos y ocurren como escorrentía superficial o directamente al suelo. Sin embargo, en la ganadería confinada es posible hacer un manejo adecuado de vertimientos y tecnologías de uso eficiente del agua y reúso. Igualmente, se ha avanzado en la tecnología de limpieza y desinfección en lugares de alojamiento, logrando que estas sean actividades que se realizan en seco, reduciendo los consumos del recurso y la disminución en la generación de vertimientos líquidos.

5. SECTOR DOMÉSTICO

El análisis de este sector incluye los subsectores de acueducto, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. La principal fuente de información corresponde a informes sectoriales y técnicos elaborados por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD.

Para el análisis de la productividad del agua, su eficiencia y pérdidas, se tuvieron en cuenta los volúmenes demandados en la captación, y posteriormente los volúmenes en la potabilización, almacenamiento y distribución, el agua recolectada en los sistemas de alcantarillado y su posterior disposición final, la cual puede incluir un sistema de tratamiento de agua residual. Un factor importante a considerar en el sector doméstico es en la Resolución 1207 de 2014⁵, el reúso de agua para consumo humano no está permitido, razón por la cual, este componente no es considerado dentro de las fuentes de agua para el sector.

Los consumos de agua potable en Colombia fueron de 878,9 millones de m³ en el año 2013 y de 855,6 millones de m³ en 2014, presentando una disminución del 3% a pesar del aumento del 1,8% de los suscriptores de acueducto. De estos consumos de agua producida en las PTAP, los usuarios residenciales son responsables de un 97% del total, lo que representa un consumo por usuario de 14,52 m³ en el año 2013. En cuanto a cobertura del servicio de acueducto, el promedio en Colombia es superior al 90%, sin embargo, para el caso de La Guajira en los municipios de Maicao y Riohacha se presentan coberturas promedio del 80% (SSPD, 2015).

En Colombia, aún existen grandes dificultades a nivel técnico en la reducción de los niveles de pérdidas, debido a que algunos prestadores alcanzan niveles mayores al 70% de acuerdo al índice de agua no contabilizada – IANC, lo cual es señal también de la eficiencia con la que se está prestando el servicio a los usuarios y los costos que deben asumir los prestadores del servicio. Se resaltan los municipios de Quibdó, Buenaventura, Ciénaga y Riohacha que registran pérdidas superiores al 80%.

El sector doméstico es el principal responsable del vertimiento de carga orgánica en el país, aportando el 65% de la carga contaminante total de DBO (IDEAM, 2015). Este panorama, acompañado de las bajas reducciones de dichos aportes en los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, genera la necesidad de grandes esfuerzos futuros en el sector.

⁵ por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas

6. SECTOR INDUSTRIA MANUFACTURERA

En el sector industrial, las principales fuentes de información sobre los usos del agua, son el Registro Único Ambiental (RUA) el cual registra el uso del agua en las industrias grandes, medianas y pequeñas que tienen permisos ambientales y la Encuesta Ambiental Industrial (EAI) realizada por el DANE; ambas con registros basados en autodeclaraciones.

En Colombia, el 71,9% de los establecimientos industriales están ubicados en las áreas metropolitanas de Bogotá D.C., Medellín-Valle de Aburra y Cali, y el 14,1% se concentra en Barranquilla, Bucaramanga, Pereira, Manizales, Cartagena y Cúcuta. De estos, el mayor número de establecimientos industriales corresponden a los sectores de: confección de prendas de vestir excepto prendas de piel, elaboración de otros productos alimenticios y fabricación de productos de plástico, los cuales representan más del 54,2% del total del país.

En Colombia, el 97,29% de la demanda de agua para el uso en el sector manufacturero se realiza en el área hidrográfica Magdalena Cauca (97,29%) principalmente en las subzonas de las cuencas de los ríos: Arroyohondo – Yumbo - Mulalo-Vijes, Yotoco. Mediacanoa y Piedras, Bogotá, Palo, Ciénaga de Mayorquín y Porce. Esta demanda de agua representó un 5,9% del total nacional, equivalente a 2.106,0 millones de m³ siendo el quinto sector con mayor demanda hídrica en Colombia. El volumen de retorno fue de 2.000,7 millones de m³ lo que representó un 95% del agua demandada (IDEAM, 2015).

Según la EAI, realizada por el DANE en los años 2013 a 2015, en promedio el 60,4% de los establecimientos industriales usan el agua superficial como la principal fuente de abastecimiento, seguido del agua suministrada por las empresas de acueducto (21,8%) y del agua subterránea (16,7%). En esta misma encuesta, se señala que los grupos de divisiones industriales de mayor uso del agua son: el de alimentos, bebidas y tabaco; industria de la madera y el corcho; fabricación de papel y actividades de edición e impresión; fabricación de sustancias y productos químicos y coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear, que en promedio suman para el mismo periodo el 83% de la demanda de agua del sector.

La eficiencia en el uso del agua para el sector fue establecida para los principales grupos de divisiones industriales con mayor uso del agua en el proceso industrial (entradas y salidas). De las 39 actividades industriales priorizadas, 32 (82,1%) presentan una eficiencia en el uso del agua inferior al 60% (RUA, 2012). Siendo la fabricación de recipientes de madera, elaboración de productos de tabaco, procesamiento y conservación de pescados, crustáceos y moluscos, y la elaboración de macarrones, fideos, alcuquuz y productos farináceos similares las actividades con menor eficiencia en el uso del agua.

A nivel mundial se encuentra que la productividad industrial⁶ del agua, varía mucho de un país a otro. Según el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) no existe una relación simple entre el índice de producción industrial de un país (volumen, valor y puestos de trabajo) y el total de su demanda industrial de agua. Además, el aumento del consumo de agua para la industria y la energía coincide, cada vez más, con un rápido desarrollo que transforma los patrones de uso del agua en las economías de mercado emergentes (WWAP, 2016).

⁶ La productividad industrial del agua es la relación entre el valor del agua que se utiliza y el valor de la producción industrial obtenida con dicha agua. Es un indicador general de rendimiento en el uso del agua.

Según datos del Banco Mundial (UNESCO, 2006), la productividad del agua en el sector industrial depende de múltiples factores la intensidad en el uso del recurso, el tipo de producción, el nivel tecnológico. Se presentan los valores de productividad en algunos países: Alemania (23,43 \$USD/m³), Italia (20,44 \$USD/m³), Japón (119,42 \$USD/m³), España (31,54 \$USD/m³), Estados Unidos (9,73 \$USD/m³), Argentina (25,05 \$USD/m³), Brasil (22,48 \$USD/m³) y Colombia (63,10 \$USD/m³).

Recomendaciones preliminares

- Existen varios factores que pueden modificar la productividad del agua en el sector industrial, tales como las tecnologías que se implementan en las empresas, los costos de producción, la normatividad, entre otros. Como ejemplo, ARGOS ha reducido el consumo específico de agua en la producción de cemento en un 46% implementando medidas como la reconversión tecnológica en una de sus plantas, en la cual pasaron a la producción seca de cemento (ARGOS, 2015).
- Mejores instrumentos de política e Incentivos económicos. Las estrategias industriales de gestión del agua para llevar a cabo un mejor uso eficiente del agua pueden estar dirigidas en una compañía hacia factores internos o externos. A nivel interno se definen medidas que se enfoquen a nivel de consumo de agua y de generación de aguas residuales a controlar, como recirculación. Por otro lado, las estrategias externas son medidas que se requieren a nivel de la industria en el contexto de las políticas locales, regionales o nacionales de gestión del agua industrial. Algunas de estas estrategias son: contar con un marco normativo enfocado a reúso y recirculación del agua; la posibilidad de agrupación de industrias en un lugar determinado (parques industriales), aprovechar eficientemente el agua dentro de la industria, para que cada proceso cuente con las mejores medidas en términos de eficiencia y la aplicación de instrumentos económicos como multas, subsidios, créditos blandos y donaciones. Un ejemplo puede verse en Singapur, que impone un cobro del 15% sobre el consumo de agua, específicamente sobre aquellas operaciones que utilicen más de una cantidad específica. Las nuevas fábricas que utilizan más de 500 metros cúbicos de agua por mes deben contar con la aprobación del Concejo Municipal (Morales, 2015).
- Implementar sistemas de tratamiento eficientes que permitan dar cumplimiento a los criterios de calidad definidos en la resolución 631 de 2015.

7. SECTOR MINERO

Para el análisis de este sector, se priorizó el oro y el carbón sobre una base aproximada de 22 minerales (Ministerio de Minas y Energía, 2012), ambos tienen unas características relevantes en cuanto a factores económicos, hídricos y territoriales. Aunque la actividad minera no es uno de los mayores usuarios del agua en Colombia, solo representa aproximadamente el 2% del uso del agua (IDEAM, 2015), su relación con el recurso hídrico está más asociado al impacto en términos de calidad. Sin embargo, la escasez de información asociada al impacto en la calidad del recurso hídrico, no permiten tener un panorama agregado sobre el efecto de la actividad minera sobre el agua. En el caso del ENA 2014 (IDEAM, 2015) y en el estudio de la Cadena del Mercurio (IDEAM, 2015), se tienen datos preliminares del uso y vertimiento de mercurio. En el ENA se estima una carga vertida de 205 toneladas de mercurio al suelo y al agua asociada a la minería de oro y plata en 2012, principalmente en las SZH: directos al Magdalena (Brazo Morales), Bajo Nechí, directos al Bajo Nechí, río Tarazá – Río Man. Para el caso del estudio de la Cadena del Mercurio, se estima un consumo de mercurio de 338 toneladas para el año 2013, de las cuales se descargan 187 toneladas donde se destacan los distritos mineros de Nordeste y Bajo Cauca (90 toneladas de mercurio descargados) y Santa Rosa del Sur (33 toneladas).

En la información disponible, se destaca el trabajo adelantado por la UPME y la Universidad de Córdoba, donde caracterizaron el uso del agua y los vertimientos en 58 minas. Aunque estos resultados dan una primera idea de la relación minería – agua, los estudios son reiterativos en afirmar que los resultados obtenidos no pueden ser extrapolados a otras zonas de Colombia o ser utilizados para generar resultados agregados a nivel nacional. A partir de los datos disponibles, se realizó una aproximación sobre el uso del agua en los procesos mineros, cálculos de eficiencia y de pérdidas (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2015).

RECOMENDACIONES PRELIMINARES

- Fomentar la implementación de prácticas de producción más limpia en la minería, dichas prácticas generan beneficios ambientales, al consumidor, trabajadores, mejora la eficiencia y la productividad del sector (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2007).
- Financiación pública y privada para la implementación de prácticas de producción más limpia. Algunas instituciones que ya han financiado proyectos técnico-ambientales y económicos de Producción Más Limpia, son: Centro Nacional de Producción Más Limpia, COLCIENCIAS, FINDETER, Fondo de inversión para la paz, Fondo para la acción ambiental, Fondo nacional de regalías, Fondo nacional ambiental, FONADE, Banco interamericano de desarrollo, OMS, Corporación Oro Verde, entre otras (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2007).
- Es necesario construir e implementar un programa de monitoreo de la cantidad de agua usada en los procesos mineros como de los vertimientos generados, considerando los parámetros establecidos en la Resolución 631 de 2015 para este sector.
- Construcción, operación y adecuado mantenimiento en los STAR provenientes de las operaciones mineras, para remover las cargas contaminantes y dar cumplimiento a los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 631 de 2015 del MADS.

8. TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN COLOMBIA

8.1 FACTORES QUE INCIDEN EN LA DESCARGA DE VERTIMIENTOS CONTAMINANTES

Para el caso del sector agrícola, los vertimientos se caracterizan por tener altos contenidos de nutrientes. Dentro de los principales factores que inciden en los vertimientos contaminantes se encuentra el uso de fertilizantes y plaguicidas sin el conocimiento de los requerimientos propios de cada cultivo, así como la disposición inadecuada de los recipientes de dichos productos y las técnicas de aplicación de los mismos. Para el sector pecuario los vertimientos son ocasionados principalmente en operaciones de lavado. La mayoría de agua utilizada en el mantenimiento de los animales, regresa al ambiente en forma de orina, estiércol y aguas residuales, por lo cual éstas poseen alto contenido de nutrientes, materia orgánica, residuos de medicamentos y patógenos. Para ambos sectores, los vertimientos se ven influenciados por factores ambientales como el clima, el relieve y las propiedades del suelo los cuales pueden facilitar el escurrimiento de estas aguas residuales hasta fuentes superficiales.

Por otro lado, la industria tiene procesos muy variados de acuerdo con el tipo de producto fabricado, el tipo de insumos y materias primas utilizadas, procesos, instalaciones, modo de operación, tamaño de la planta, mantenimiento de equipos e instalaciones, ciclo de producción y actividades temporales. Por lo cual los vertimientos generados serán muy variados para las diferentes industrias y pueden poseer características como alta concentración de contaminantes, presencia de compuestos tóxicos, persistentes y bioacumulables, color y altas temperaturas.

Para el sector minero (oro y carbón), los vertimientos se ven influenciados por el uso de metales pesados en los procesos de extracción y la producción de sedimentos durante la remoción de suelos y material vegetal, así como por el tipo de explotación y las tecnologías utilizadas.

Finalmente, se puede decir, que para los diferentes sectores existen factores comunes que afectan los vertimientos como son el uso de STAR, los sistemas de recirculación, la capacitación de personal, la capacidad técnica de monitoreo y a nivel normativo la Resolución 2667 de 2012 que reglamenta el cobro de las tasas retributivas y la Resolución 631 de 2015 que modifica el enfoque anterior de control de cargas contaminantes por uno de control de concentraciones máximas para contaminantes diferenciados por actividad económica.

9. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En cuanto a los factores que inciden en la eficiencia de las PTAR, se identificaron 5 variables fundamentales que afectan su adecuado funcionamiento, ellas son: el desconocimiento en el arranque de las PTAR, la falta de capacitación de los operarios, procesos de tratamiento poco eficientes para el tipo de agua a tratar, sistemas de tratamiento obsoletos y falta de sanciones más estrictas desde el componente normativo.

- **Desconocimiento en el arranque de las PTAR:** el arranque de una PTAR es un proceso lento que incluso puede tardar 12 meses aproximadamente, en el cual una carga mínima de agua residual es ingresada con el objetivo de evaluar el funcionamiento de cada unidad. En el caso de tratamientos secundarios biológicos, las bajas cargas suministradas permiten a los microorganismos aclimatarse al nuevo sustrato y generar un crecimiento poblacional adecuado. En el caso de tratamientos secundarios fisicoquímicos, las bajas cargas permiten estandarizar las cantidades adecuadas de reactivos. A medida que se alcanzan eficiencias óptimas la carga se incrementa progresivamente y de esta manera se asegura un control total sobre el proceso.
- **Falta de capacitación en los operarios:** los operarios requieren un conocimiento específico sobre la PTAR que van a operar, cada sistema de tratamiento debe ser monitoreado a partir de diferentes parámetros *in situ* (carga orgánica, pH, caudal, etc.) que garanticen el correcto funcionamiento de los sistemas, a partir de los cuales se debe realizar la operación; además se requiere el mantenimiento frecuente de cada una de las unidades de tratamiento.
- **Procesos de tratamiento poco eficientes para el tipo de agua a tratar:** es fundamental realizar la caracterización adecuada del vertimiento y a partir de ésta plantear la alternativa de tratamiento óptima. En general, el tren de tratamiento está basado en primera instancia en los costos asociados al diseño e instalación, pero pocas veces se evalúa el costo asociado a las fallas que se presentan posteriormente, lo que representa inversiones mayores al costo inicial de la PTAR.
- **Sistemas de tratamiento obsoletos:** la innovación tecnológica ha permitido realizar modificaciones a los procesos de tratamiento convencionales. En Colombia, los STAR convencionales han sido usados durante años, mientras en países europeos prevalecen reactores anaerobios de tercera generación (EGSB o IC), en Colombia todavía se emplean reactores de primera generación y los de segunda generación (UASB). La inversión en procesos tecnológicos para el tratamiento de las aguas es indispensable para asegurar una mejor disposición de los vertimientos.
- **Normativos y falta de sanciones más estrictas:** el decreto de vertimientos vigente es el 1594 de 1984 fue reglamentado recientemente por la resolución 631 de 2015. Este cambio establece la exigencia de concentraciones máximas permitidas, específicas para cada tipo de sector industrial o doméstico. Sin embargo, los instrumentos de control como la TUA y la TR siguen siendo laxos y no promueven que las PTAR migren a sistemas más eficientes.

10. REÚSO DEL AGUA

Las aguas residuales tratadas pueden ser reutilizadas para una variedad de propósitos, actualmente, la mayor parte del agua recuperada se utiliza para aplicaciones no potables, tales como irrigación agrícola y paisajística (UNESCO, 2006). En términos de normativa, en América se identificaron seis países que tienen normatividad referente al reúso de agua residual, de los cuales Estados Unidos se destaca como el de mayores avances. En el contexto colombiano, se tienen dos referentes normativos la Ley 373 de 1997 y la Resolución 1207 de 2014, ésta última reglamentó el reúso de agua y definió las actividades en las que se puede reusar agua, así como los criterios de calidad que se deben considerar para los respectivos usos. En la Tabla 3, se presentan las actividades en las cuales está permitido el reúso de agua.

Tabla 3. Sectores y actividades en los que puede usarse agua residual tratada

Agua de reúso para uso agrícola:	Agua de reúso para uso Industrial:
<ul style="list-style-type: none"> • Pastos y forrajes para consumo animal • Cultivos no alimenticios • Cultivos de Fibras y derivados • Cultivos obtención de biocombustibles • Cultivos Forestales • Cultivos alimenticios de uso no directo para humanos y animales, sometidos a procesos físicos o químicos, con cumplimiento de la norma sanitaria y agrícola competente • Áreas verdes, ornato y mantenimiento • Jardines en áreas no domiciliarias 	<ul style="list-style-type: none"> • Intercambio de calor en torres de enfriamiento y calderas • Descarga de aparatos sanitarios • Limpieza mecánica de vías • Riego de vías para el control de material particulado • Sistemas de redes contraincendio.

Fuente: adaptada de Resolución 1207 de 2014⁷

Con relación a la implementación del reúso, datos reportados en las Cuentas del Agua (DANE & IDEAM, 2015), indican que para el año 2014 en Colombia, el reúso fue de 2.204,3 millones de metros cúbicos, lo cual corresponde al 2,9% del agua utilizada en los diferentes sectores económicos.

Para el sector agrícola se prohíbe el uso de aguas residuales en cultivos alimenticios y se reglamentan los parámetros de calidad que deben cumplirse para el reúso.

A escala mundial, el principal usuario de agua de reúso es el sector agrícola. Se estima que el riego con agua residual sin tratar o parcialmente tratada se emplea en cerca de 50 países, en el 10% de las tierras de regadío, lo cual corresponde a aproximadamente 20 millones de hectáreas, mientras que alrededor de 525.000 hectáreas son regadas con agua de reúso (Jaramillo, 2014).

En la Tabla 4 se identifican las SZH que presentan restricciones de acuerdo a los indicadores hídricos IUA, IARC y IACAL y en las cuales existen cultivos priorizados, estas subzonas son de especial interés para la priorización e implementación de medidas para uso eficiente, ahorro del agua y reúso.

Tabla 4. Subzonas hidrográficas con restricciones hídricas debido a criticidad en los índices IUA, IARC e IACAL y alta presión por los cultivos priorizados

⁷ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

AH	Código	Subzona Hidrográfica	Demanda hídrica (Millones de metros cúbicos al año)
Caribe	1206	Arroyos Directos al Caribe	467,0
	2120	Río Bogotá	496,5
Magdalena Cauca	2903	Canal del Dique margen derecho	383,4
	2904	Directos al Bajo Magdalena entre Calamar y desembocadura al mar Caribe (mi)	129,7
	2909	Ciénaga Mallorquín	24,2
	2630	Ríos Lilí, Meléndez y Cañaveralejo	6,0

Fuente: Elaboración propia

Para el sector pecuario, el uso de agua residual tratada y la recirculación de agua están sujetos a la normativa sobre sanidad e inocuidad. Tanto para consumo animal como para actividades de limpieza y desinfección es necesaria agua potable. Sin embargo, del sector pecuario se han encontrado experiencias de entrega de agua residual para otras actividades, como el riego de pastos y cultivos agrícolas.

El reúso de aguas residuales tratadas en el sector industrial se restringe a los usos establecidos en la Resolución 1207 de 2014, correspondientes a actividades específicas que no requieren altos niveles de calidad de agua como: Intercambio de calor en torres de enfriamiento y calderas, descarga de aparatos sanitarios, limpieza mecánica de vías, riego de vías para el control de material particulado y sistemas de redes contraincendio. Para cada una de estas actividades se establecen ciertos parámetros de calidad de agua que deben cumplir las aguas residuales tratadas; parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, químicos, biocidas, iones, metales, metaloides, no metales y otros.

El análisis que se hace a continuación, presenta un comparativo entre las 20 subzonas con mayor actividad industrial⁸ y las subzonas con restricciones hídricas. En la Tabla 5 se incluyen las 12 SZH con mayor demanda hídrica del industrial y que tienen con restricciones según la evaluación de los indicadores del ENA 2014.

Tabla 5. Subzonas hidrográficas con restricciones hídricas que reportan actividad industrial

Código	Subzona hidrográfica	Código	Subzona hidrográfica
1601	Río Pamplonita	2622	Río Desbaratado
2120	Río Bogotá	2630	Ríos Lilí, Meléndez y Cañaveralejo
2607	Río Guachal	2631	Ríos Arroyohondo - Yumbo - Mulalo - Vijes - Yotoco - Mediacanoa y Piedras
2609	Ríos Amaime y Cerrito	2637	Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando
2610	Ríos Tuluá y Morales	2701	Río Porce
2612	Río La Vieja	2904	Directos al Bajo Magdalena entre Calamar y desembocadura al mar Caribe (mi)

Fuente: (IDEAM, 2015)

⁸ Este análisis se realizó solamente para las 20 subzonas hidrográficas con mayor demanda hídrica para la actividad industrial, las cuales representan aproximadamente el 93% de la demanda hídrica industrial total para Colombia

En la Tabla 6 se presentan las actividades industriales con mayor consumo de agua para las SZH 2120, 2630, 2701 y 2904 en la cuales se encuentran los principales corredores industriales de Colombia.

Tabla 6. Actividades con mayor consumo de agua en subzonas hidrográficas con restricciones hídricas

Nombre subzona – ciudad asociada	Actividades industriales con mayor consumo de agua	Consumo de agua (m ³ /año)
Río Bogotá – 2120, Bogotá	Elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y de otras aguas embotelladas	1.701.846
	Elaboración de otros productos alimenticios n.c.p.	1.423.380
	Producción de malta, elaboración de cervezas y otras bebidas malteadas	929.480
Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo – 2630 - Cali	Elaboración de almidones y productos derivados del almidón	554.609
Río Porce – 2701 - Medellín	Producción de malta, elaboración de cervezas y otras bebidas malteadas	900.492
	Tejeduría de productos textiles	440.928
Directos al Bajo Magdalena entre Calamar y desembocadura al mar Caribe (mi) – 2904 - Barranquilla	Producción de malta, elaboración de cervezas y otras bebidas malteadas	832.820
	Elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y de otras aguas embotelladas	311.809

Fuente: Elaboración propia a partir de (IDEAM, 2015)

Con relación al reúso del agua en la minería, la Resolución 1207 de 2014, solo permite el reúso en determinadas actividades que son comunes a la minería, por ejemplo, en el vaciado de sanitarios, sistemas de redes contra incendios y en el control de material particulado. Sin embargo, no se consideraron otras actividades o procesos que no requieren altos estándares de calidad y que son los más representativos en cuanto al uso de agua, caso específico en la minería de oro el proceso de clasificación, el cual representa aproximadamente el 96% del uso de agua.

En total se presentan 20 SZH (Tabla 7) con restricciones hídricas en las cuales se identificó actividad minera de acuerdo a la base de datos del Sistema de Información Minero Colombiano SIMCO y al estudio elaborado por la UPME en el año 2016 (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2016).

Tabla 7. Algunas SZH con restricciones hídricas que reportan actividad minera

Área Hidrográfica	Código	Subzona hidrográfica
Caribe	1506	Río Ranchería
	1601	Río Pamplonita
Magdalena Cauca	2106	Ríos directos Magdalena (md)
	2108	Río Yaguará y Río Iquira
	2109	Juncal y otros Ríos directos al Magdalena
	2110	Río Neiva
	2111	Río Fortalecillas y otros
	2118	Río Luisa y otros directos al Magdalena
	2120	Río Bogotá

Área Hidrográfica	Código	Subzona hidrográfica
	2121	Río Coello
	2125	Río Lagunilla y Otros Directos al Magdalena
	2208	Bajo Saldaña
	2601	Alto Río Cauca
	2612	Río La Vieja
	2615	Río Chinchiná
	2627	Río Piendamó
	2630	Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo
	2631	Ríos Arroyohondo - Yumbo - Mulalo - Vijes - Yotoco - Mediacanoa y Piedras
	2634	Ríos Cali
	2701	Río Porce

Fuente: (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2016); (IDEAM, 2015)

11. INSTRUMENTOS ECONÓMICOS

Existen cuatro instrumentos económicos identificados: *mercados del agua, precio volumétrico del agua, tarifa sobre el área irrigada e instrumentos de transferencia de responsabilidad*; los cuales hacen referencia a tres metodologías para establecer precios por el recurso hídrico: *métodos de mercado, métodos volumétricos y métodos no volumétricos respectivamente*. El factor común de estos tres instrumentos es que utilizan los precios con el fin de incentivar a los individuos a realizar un uso eficiente del agua ya que, a través de su precio, los agentes económicos internalizan el costo de oportunidad del recurso hídrico y en este sentido al percibirlo como un recurso escaso, tenderán a usarlo de manera más eficiente.

- Mercados del agua: este instrumento económico pretende generar un mercado para el recurso hídrico que se asemeje las propiedades de un mercado competitivo los cuales se caracterizan, entre otros aspectos, por asignar los recursos escasos a los usos con mayor valor (o individuos que más lo valoran) generando de esta manera, mayor eficiencia en el uso del recurso hídrico.
- Precio volumétrico del agua: Este instrumento consiste en establecer una tarifa de acuerdo al volumen de agua consumido, el cual hace referencia al costo marginal de distribuir una unidad adicional de agua. En este sentido, el precio variaría de acuerdo a los patrones de consumo y producción de bienes y servicios. Sin embargo, a pesar de ser un mecanismo que refleja los costos de oportunidad reales de abastecimiento, puede tener serias consecuencias en términos de equidad, debido a las fluctuaciones del precio del agua especialmente sobre individuos con bajos ingresos o empresas con bajas rentabilidades.
- Tarifa sobre el área irrigada: cobra a los usuarios del recurso hídrico sobre el área que utilizan para desempeñar las actividades agrícolas. Dentro de las consideraciones para tarifar el área se tienen consideraciones como las necesidades técnicas de los cultivos y el clima.
- Instrumentos de transferencia de responsabilidad: Estos instrumentos tienen como objetivo transferir la responsabilidad del recurso hídrico parcial o completamente a los usuarios y/ o comunidades que lo utilizan con el fin de que ellos den respuesta de manera más eficiente a los problemas de este recurso utilizando la información local que cada uno de estos usuarios tiene. En este sentido, el instrumento comúnmente utilizado ha sido el de Manejo Participativo en la irrigación el cual está enmarcado dentro de la política de transferencia de la irrigación. Este mecanismo legal tiene como objetivo crear incentivos a los agricultores para que tomen el control de la operación y mantenimiento del riego mientras que el gobierno se enfoca en

promover la eficiencia global del sistema a través de la participación activa de los usuarios del recurso en todos los aspectos del manejo del agua, los cuales van desde el diseño de la infraestructura y planeación, hasta la operación y mantenimiento.

Algunas propuestas para la implementación de instrumentos económicos en Colombia:

- Fomentar la creación de Asociaciones Usuarios del Agua por cuenca con el fin de construir las instituciones necesarias para la implementación de medidas de gestión del recurso hídrico descentralizadas que consideren la oferta y la demanda regional.
- Diseñar políticas de apoyo técnico y financiero para la adquisición de tecnologías de riego más eficiente para pequeños, medianos y grandes agricultores, así como para los distritos de riego.
- Si bien en Colombia ya se ha implementado un mecanismo para la transferencia del manejo del riego (Federriego) este tipo de iniciativas se recomienda que se extiendan a los acueductos y alcantarillados municipales, así como al sector industrial con el fin de incentivar un mejor uso del recurso hídrico.
- Si bien la tarifa de la TUA incluye factores climáticos y de disponibilidad de agua, esta tasa podría incluir descuentos si se realizaran inversiones verificadas en infraestructura verde con el fin de promover la conservación.

12. CASOS EXITOSOS

Se identificaron 67 casos exitosos para los diferentes sectores, con base en su resultado respecto a la reducción en el uso de agua en los procesos productivos o la reducción en los vertimientos generados con la implementación de las diferentes medidas técnicas, institucionales, políticas o económicas. A continuación, se presenta un resumen de los aspectos más relevantes encontrados (Tabla 8). En la Tabla 9 se presentan casos donde se han evidenciado mejoras en la productividad del agua por sector económico.

Tabla 8. Resumen principales aspectos encontrados en casos de éxito analizados

Principales problemáticas identificadas		
<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación de cuerpos de agua • Altos consumos de agua en procesos productivos • Sobreexplotación de acuíferos • Falta de inversión en saneamiento 		
Medidas adoptadas		
Técnicas	Reúso de aguas residuales tratadas	Agrícola, industrial
	Recirculación dentro de los procesos productivos	Industrial, minero
	Construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales	Todos
	Campañas de sensibilización respecto al uso del agua	Industrial
	Identificación y reparación de fugas	Todos
	Tecnificación de riego	Agrícola
	Aprovechamiento de aguas lluvia	Industrial
Políticas	Instituciones que trabajan en el tema de uso eficiente del agua	Todos
	Alianzas entre universidades	Todos
	Investigación científica	Todos
	Financiación por parte de gobiernos	Agrícola, doméstico

	Formulación de leyes, guías, protocolos para el reúso y uso eficiente del agua	Todos
Económicas	Instrumentos económicos	Agrícola
	Incentivos	Agrícola, industrial
Beneficios		
<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en cargas contaminantes de vertimientos • Reducción en el consumo de agua para los diferentes sectores productivos • Generación de conocimiento • Ahorros monetarios • Incremento en la inversión en temas de tratamiento de aguas residuales 		

Tabla 9. Casos exitosos por sector económico

Sector	Caso exitoso
Agrícola	Uno de los casos analizados es el de la Comarca Lagunera en México. Una de las principales actividades es la producción de leche (bovino), por lo que existe una alta demanda de forraje, el cual se produce en condiciones de riego, pero con escasa disponibilidad de agua. Se incorporaron especies alternativas en los sistemas de producción forrajeros y se compararon los rendimientos de forraje y la productividad del agua de tres sistemas de especies alternativas respecto a dos sistemas tradicionales utilizados en el sitio de estudio. Se obtuvo un aumento en la productividad del agua del 60 al 75% (Reta Sánchez et al., 2010)
Pecuario	Los casos de la granja porcícola INCAFOS y la empresa avícola incubadora Santander, ambas empresas colombianas implementaron medidas como automatización de los bebederos y cambios en el tipo de limpieza de los establecimientos de los animales, lo cual contribuyó a la reducción en el consumo de agua para la producción.
Doméstico	Un caso corresponde a la iniciativa NEWater desarrollada en Singapur. El permiso de operación y abastecimiento de esta iniciativa se basó en los estándares de la OMS y la EPA. En Singapur operan cinco plantas que tratan agua residual, el agua producida es usada principalmente por la industria, sin embargo, durante períodos secos, se agrega NEWater a los embalses para mezclar con agua cruda, ésta es tratada en la planta antes de ser suministrada a los consumidores como agua potable .
Industrial	La sede de la compañía Coca-Cola-FEMSA en Brasil, ubicada en el estado de San Pablo, es la de mayor volumen en ventas a nivel mundial y la que utiliza menor cantidad de agua por cada litro de bebida producida (1,4 litros), siendo un 25% más eficiente que países como Canadá, España y Alemania. Dentro de las iniciativas para lograr lo anterior estuvo la construcción de un nuevo STAR para el abastecimiento de líneas en el año 2013. Entre los impactos y beneficios más prácticos y palpables de esta iniciativa está la reducción del 90% del agua utilizada en los procesos de sanitización (FEMSA, 2016).
Minería	El grupo Peñoles en México concentra su actividad en la explotación de minerales con contenidos metálicos. La empresa recibe aguas residuales municipales para luego tratarlas y utilizarlas en sus procesos productivos. Su PTAR tiene capacidad de tratar las aguas residuales municipales, neutralizar sus propios efluentes industriales y reutilizarla internamente. Adicionalmente, devuelve un porcentaje al municipio para temas de riego. Su sistema consta de tratamiento primario, secundario, terciario y manejo de lodos (Eduardo Chaparro A., 2007).

BIBLIOGRAFÍA

- ARGOS. (2015). Reporte integrado ARGOS.
- CEPAL, & DNP. (2014). Diagnóstico y prospectiva de la adecuación de tierras en Colombia. Bogotá D.C.
- DANE, & IDEAM. (2015). *Hacia la construcción de la cuenta del agua a nivel nacional*. Bogotá D.C.
- Departamento Nacional de Estadística. (2016). *Relación de indicadores generados a partir de las cuentas ambientales y económicas*.
- Eduardo Chaparro A. (2007). *Buenas prácticas en la industria minera: el caso del grupo Peñoles en México. Serie: Recursos naturales e infraestructura*. Santiago de Chile.
- FAO. (2004). El Arroz y el Agua: Una Larga Historia Matizada.
- Fedesarrollo, C. de investigación económica y social. (2016). *Evaluación de potencial de crecimiento verde para Colombia (GGPA)*.
- FEMSA. (2016). 11º Prêmio Conservação e Reúso da Água.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua - ENA, 2010*.
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua. Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá.
- Jaramillo, M. (2014). *Potencial de reuso de agua residual doméstica como Estrategia para el control de la contaminación en el valle geográfico del río cauca Maria. Esucela de recursos naturales y del medio ambiente*.
- Ministerio de Minas y Energía. (2012). Censo Minero Departamental 2010-2011. Bogotá.
- Morales, B. (2015). El mercado del agua en Singapur. *España Exportación E Inversiones, ICEX*, 173.
- SSPD. (2015). *Informe sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado. Grandes prestadores. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios*.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options. Livestock's long shadow: environmental issues and options*.
- UNESCO. (2006). Water a shared responsibility The United Nations World Water Development Report 2. New York. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001454/145405e.pdf#page=291>
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2007). *Producción más limpia en la minería del oro en Colombia mercurio, cianuro y otras sustancias. Unidad de Planeación Minero Energética UPME*. Bogotá.
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2015). *Incidencia Real de la Minería del Carbón, del Oro y del Uso del Mercurio en la Calidad Ambiental con Énfasis Especial en el Recurso Hídrico- Diseño de Herramientas para la Planeación Sectorial*. Bogotá. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2016). Aproximación metodológica y conceptual a la evaluación de la huella hídrica en el sector minero colombiano. Bogotá.
- UPRA. (2014). Adecuación de tierras - Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria – SIPRA. Bogotá D.C.
- WWAP. (2016). *The United Nations World Water Development Report 2016 - Waters and Jobs*.