

CONSIDERACIONES TÉCNICAS SOBRE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS TASAS POR USO DEL AGUA (TUA)

Carolina Ortiz P., María Victoria Vélez O. & Clara Inés Villegas P.
Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas
Universidad Nacional de Colombia, Medellín
cortizp@unal.edu.co, mvvelez@unal.edu.co

Recibido para evaluación: 20 de Mayo de 2006 / Aceptación: 30 de Junio de 2006 / Versión final: 07 de Julio de 2006

RESUMEN

Desde el año 1993 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial con la Ley 99 ha publicado decretos con el fin de implementar instrumentos económicos para la sostenibilidad del recurso hídrico. En este trabajo se pretende realizar un análisis de la pertinencia y aplicabilidad del Decreto 155 de 2004, por medio del cual se reglamenta el Artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre Tasa por Utilización de Agua (TUA). Se parte del análisis de la legislación vigente relacionada con el decreto y con el recurso agua. Posteriormente se hace un análisis técnico de cada uno de los factores y coeficientes presentes en él, para identificar algunas inconsistencias técnicas para la aplicación de la TUA y se sugieren soluciones a las mismas. Según este trabajo, uno de los principales problemas radica en que la metodología existente para el cálculo de la TUA y la valoración económica del recurso agua, presenta inconsistencias entre conceptos. El Decreto 155 de 2004 define muy someramente el manejo de la información y hace la metodología no aplicable a los casos de las cuencas en nuestros territorios.

PALABRAS CLAVES: Instrumentos Económicos, Tasa por Uso del Agua (TUA), Índice de Escasez, Decreto 155 de 2004, Gestión Ambiental, Colombia.

ABSTRACT

Since 1993, through Law 99, the “Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial” has published “decretos” with the end of implementing tools for economic water resources “sustainability”. This work performs an analysis of “applicability” of “Decreto 155 de 2004” which declares Article 43 de la Law 99 de 1993, about Water Using Costs (Tasa por Utilizacion del Agua, TUA). An analysis of actual legislation related with Water Resources is described. A technical analysis about each one of the parameters used in TUA estimation is performed, some technical “inconsistencies” for TUA estimation have been found, and some suggestions for this failures are proposed. This work concludes that there are many conceptual inconsistencies in TUA estimation methodology and economic water resoures procedures in Colombian legislation. “Decreto 155 de 2004 “ don’t make a clear definition about information handling and TUA methodology is not “applicable” for real status of Colombian Watersheds.

KEY WORDS: Economics Instruments, Use of the Water Rates, Scarity Index, 2004 Decree 155, Environmental Management, Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo muchos de los sistemas hídricos (superficiales y subterráneos) que actualmente abastecen a la población, evidencian una vulnerabilidad alta en su oferta, lo que crea la necesidad de implementar mecanismos que induzcan al uso eficiente del recurso.

Es de público conocimiento que Colombia, país catalogado con alta oferta hídrica, las condiciones no son muy diferentes. Día a día el recurso va disminuyendo, evidenciado esto en los últimos años con el decaimiento en calidad y cantidad de la oferta. Dado lo anterior las autoridades ambientales requieren del uso de instrumentos económicos para incentivar el uso eficiente del agua y promover su sostenibilidad, lo que justifica de inmediato la implementación de la Tasa por Uso del Agua (TUA).

Este trabajo pretende hacer un análisis integral a la Tasa por Uso de Agua, como instrumento de gestión ambiental y como opción para combatir el desabastecimiento de agua en muchas regiones. La evaluación del instrumento se hace desde el punto de vista de las variables técnicas involucradas. Se presenta además el caso de la cuenca

de la quebrada Doña María (Antioquia) como una cuenca piloto en la implementación de dicho instrumento.

Cuando se analiza el decreto propuesto para el cálculo de la TUA, se evidencian serios problemas, que deben ser corregidos para su implementación, de tal manera que el instrumento económico sea un mecanismo que refleje la escasez del recurso e induzca a los usuarios a hacer un uso eficiente del recurso hídrico. Este artículo presenta los problemas encontrados y las soluciones adaptadas y busca, entonces, responder a la pregunta: ¿Cuáles son y cómo se definen las variables e índices involucrados con el cálculo de la Tasa por Uso del Agua?.

2. LEGISLACIÓN ACTUAL Y ANÁLISIS

El recurso hídrico en nuestro país esta conformado por las aguas superficiales, subterráneas, los lagos y las aguas marinas. Este trabajo se orientará a las aguas superficiales y subterráneas, particularmente en el análisis del Decreto 155 de 2004.

En la Figura 1 se presentan todos los decretos y resoluciones relacionadas con el recurso hídrico y en especial con la TUA.

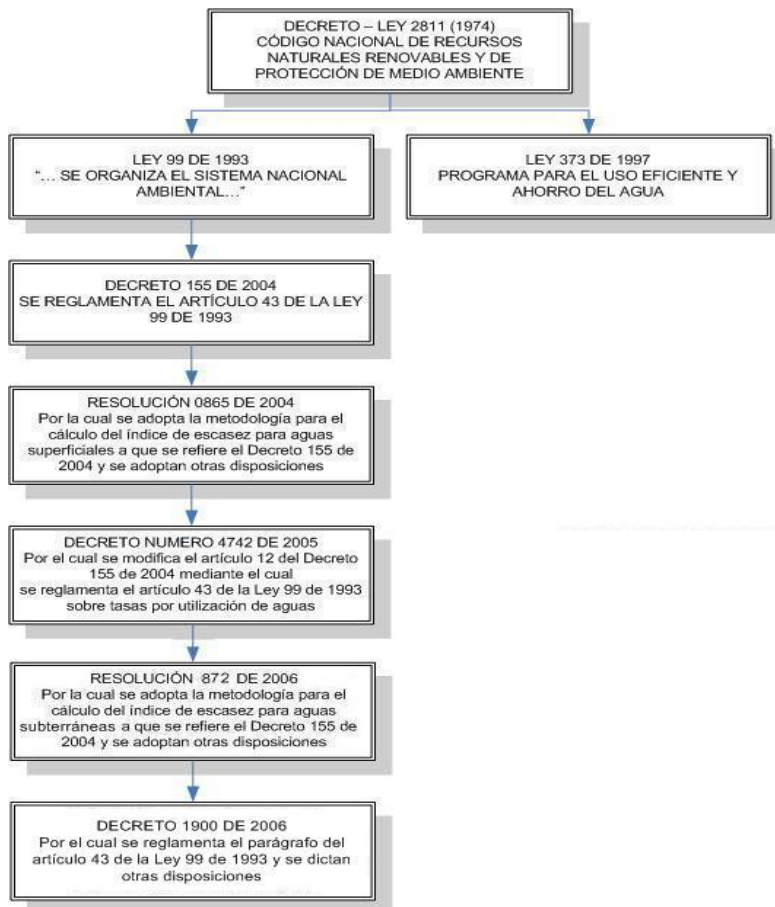


Figura 1. Esquema de la legislación vigente.

2.1. Decreto 155 de 2004

“Por medio de este decreto se reglamenta el Artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan disposiciones”. Este decreto es la base para la aplicación del cobro de Tasa por Uso del Agua. Para aguas superficiales, aguas estuarias, aguas subterráneas, y acuíferos litorales.

El Decreto se aplica en lo que se denomina *Unidad Hidrológica de Análisis*, definida por lo demás con poca claridad, como el área natural de concentración y recolección de aguas superficiales y/o subterráneas. Según el mismo decreto es posible aplicar también la TUA a tramos de cauces y a cuencas de cualquier orden.

Desde el punto de vista físico la *Unidad Hidrológica de Análisis* debe ser definida como la CUENCA, en la cual se calcula la oferta hídrica natural. Se definen las demandas más significativas en los afluentes de diferente orden de la cuenca.

El decreto también define lineamientos administrativos y de manejo de recurso tales como la competencia de las autoridades ambientales para el recaudo de la tasa y los requerimientos legales para la aplicación del decreto: “*el cobro se hará en virtud de una concesión considerando el volumen de agua efectivamente captada*”.

Según la Ley 99 de 1993 los recursos obtenidos por el cobro de la tasa se destinarán a la protección y recuperación del recurso hídrico en conformidad con el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca. Esto en la mayoría de las cuencas no es posible, ya que donde se ha implementado o se está implementando la TUA se generan pérdidas con sólo facturar dada la alta inversión necesaria para la implementación del Decreto (CORANTIOQUIA, 2005 – UNALMED, 2006).

El Decreto presenta la metodología del cálculo de la tarifa en función de variables y constantes de tipo cualitativo, las cuales escalan entre 0 y 1 las necesidades del usuario sobre el recurso. A continuación se hace un análisis detallado de la estructura tarifaria y se definen cada uno de los índices y variables, se presentan los problemas encontrados y las recomendaciones.

3. ESTRUCTURA DE LA TASA POR USO DEL AGUA

Según el Decreto 155 de 2004 el valor a pagar (VP) por el usuario, dado el uso del recurso hídrico esta definido como:

$$VP = TUA * V * F_{op} \quad (1)$$

Donde a TUA es la Tasa por Uso del Agua (\$/m³), V corresponde al volumen base del cobro y F_{op} al Factor de costo de oportunidad.

3.1. Factor costo de oportunidad

Según el decreto, este factor tiene en cuenta el tipo de uso que el usuario le está dando al recurso: consuntivo o no consuntivo, lo cual genera un costo de oportunidad para los demás. Analizando este factor se puede decir que el Decreto diferencia el tipo de uso según el porcentaje de agua consumido (balance de volúmenes captado y vertido), lo cual no diferencia tipos de uso del agua. El factor está definido como la relación entre magnitudes de volúmenes captados y retornados (Ecuación 2) en la misma *Unidad Hidrológica de Análisis*, lo cual involucra nuevamente la definición del área de aplicación. Dado que este factor representa la oportunidad que tienen los usuarios, aguas abajo del vertimiento, de mayor disponibilidad del recurso es fundamental tener en cuenta la calidad del volumen vertido, hecho considerado en este Decreto. Es por esto que se puede concluir que el Decreto 155 de 2004 (Tasa por Uso del Agua) debe aplicarse en paralelo con el Decreto 3100 de 2004 (Tasas Retributivas)¹, de lo contrario nunca se llegará al equilibrio de tal oportunidad en cantidad y calidad. Así, se define:

$$F_{op} = \begin{cases} \frac{V_c - V_v}{V_c} & \text{Para usuarios que retornen el} \\ & \text{recurso hídrico a la misma cuenca} \\ & \text{o unidad hidrológica de análisis} \\ 1 & \text{Para los demás casos} \end{cases} \quad (2)$$

1. La tasa retributiva es un instrumento económico reglamentado en el año 1997 a través del Decreto 901 de 1997 y actualmente por los decretos 3100 de 2003 y 3440 de 2004, que permite realizar el “cobro por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales”. (MINAMBIENTE, 2004)

Donde:

F_{op} : Factor de costo de oportunidad.

V_c : Volumen de agua capturada o concesionada durante el periodo de cobro

V_v : Volumen de agua vertido a la misma cuenca o unidad hidrográfica de análisis durante el periodo de cobro.

Se acota el factor de oportunidad así: $0.1 < F_{op} < 1$, y se aplica para cada punto de captación.

Definido de tal manera, este factor presenta los siguientes problemas de aplicación:

Abastecimiento de otras fuentes: es común que muchos usuarios, en especial los industriales, tengan captaciones superficiales, subterráneas, aguas lluvias y acueductos (dada la no existencia de reglamentación en las cuencas). Cuando esto sucede se puede obtener un valor negativo del factor, cuando los volúmenes vertidos llegan a ser mayores que los registrados como captados por el usuario al que se le va a hacer el cobro. Tal situación puede ser contraproducente ya que según el decreto, $F_{op} = 0.1$, lo cual representa mayor disponibilidad en cantidad aguas abajo, y menor valor a pagar por la TUA, sin tener en cuenta que la calidad del agua disminuye.

Múltiples captaciones y vertimientos: Es posible que un usuario tenga concesionado más de un permiso de captación y vertimiento de agua, tanto superficial como subterránea, lo cual hace imposible la identificación, del origen, de cada uno de los caudales captados y retornados, por lo cual se propone que se sumen todos los volúmenes captados (o en su defecto concesionados) y todos los vertidos para calcular un F_{op} único para el usuario. En este punto se aclara que los volúmenes de agua captados de agua subterránea son objeto de otro cobro ya que la TUA se cobra separadamente para los dos recursos.

Falta de declaración de los volúmenes vertidos al cauce: en el caso de la no aplicación de las Tasas Retributivas en la CUENCA de estudio, se requerirá la declaración de volúmenes vertidos, de lo contrario el decreto dice que $F_{op} = 1$, lo cual no evaluará nunca el factor calidad que es fundamental en la disponibilidad.

Captaciones subterráneas: este factor no aplica, ya que a excepción de las petroleras (en proceso de recuperación de crudo) no es permitido verter volúmenes líquidos en

el acuífero, lo cual podría afectar el recurso superficial, dado que todo el volumen vertido iría a él.

3.2. Tasa por Uso del Agua

La TUA es el producto de dos componentes: la Tarifa Mínima (TM) y el Factor Regional (FR).

$$TUA = TM * FR \quad (3)$$

Donde la TM (\$/m³) será fijada mediante resolución por el Ministerio. El FR integrará los factores de disponibilidad, necesidades de inversión en recuperación de la cuenca hidrográfica y condiciones socioeconómicas de la población, mediante variables cualitativas.

3.2.1. Tarifa mínima

Se define por resolución del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial anualmente y tendrá en cuenta para su cálculo la depreciación del recurso, lo cual incluirá costos sociales, ambientales y de recuperación del recurso hídrico. En la Oficina de Análisis Económico e Investigación del Ministerio, se obtuvo el documento de las memorias de cálculo para la tarifa mínima de la Tasa por Utilización del Agua. Actualmente el valor de la tarifa mínima es de 0.50 \$/m³.

El valor es el mismo para todas las regiones de Colombia y para todos los sectores de la economía, lo que es inconveniente desde el punto de vista económico pues no en todo el país se presentan los mismos niveles de escasez de agua y su productividad marginal es distinta para los distintos sectores de la economía lo que plantea serios problemas de inequidad. Otra observación importante es que la propuesta que presentó la firma Econometría S.A. y admitida por el Ministerio tiene dificultades pues no señala la manera cómo fue hallada esta tarifa, procedimientos y métodos de cálculo (Cortes, 2006).

Es importante mencionar que se tiene una nueva resolución modificatoria de esta constante (TM), dada la presión del sector agrícola colombiano, ya que por sus necesidades de riego son los usuarios mayoritarios del recurso y los que se ven más afectados económicamente.

3.2.2. Factor regional

El Factor Regional (FR) es el término de la TUA que define las particularidades de las regiones a las cuales se les va a aplicar la tasa. En el estudio, la definición de la escala de trabajo (*Unidad Hidrológica de Análisis*) es

fundamental. Para tal fin se ha hecho un estudio del documento “*Estimación de la fórmula de cálculo del Factor Regional*” de la oficina de Análisis Económico del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual analiza el *FR* bajo las siguientes consideraciones:

La tasa por utilización del agua deberá estar en un rango que no tenga mayor afectación sobre el sector regulado, tales como las actividades correspondientes al sector agropecuario.

La tasa por utilización del agua deberá estar en un rango que oscile entre las tarifas mínimas y máximas cobradas

“actualmente” (antes del Decreto 155 de 2004) por las autoridades ambientales competentes.

El análisis netamente económico y estadístico se hizo de tal forma que, recolectando la información de los cobros que se realizaban por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), se obtuvieran unos valores extremos para la TUA tanto para aguas superficiales como subterráneas. Conocido el valor de la $TM = 0.5 \text{ \$/m}^3$ y los valores extremos de la TUA, se definieron los valores máximo y mínimo para el Factor Regional.

En la Tabla 1 se presentan los valores extremos calculados.

Tabla 1. Valores extremos de la TUA y el *FR*

RECURSO	CONCEPTO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Agua Superficial	TUA ($\text{\$/m}^3$)	0.5	3.5
Agua Subterránea	FR	1	7
Agua Superficial	TUA ($\text{\$/m}^3$)	0.5	6.0
Agua Subterránea	FR	1	12

La estructura del *FR* corresponde a un valor adimensional (Ecuación 4) que incluye C_k : Coeficiente de Inversión, C_E : Coeficiente de Escasez y C_s : Coeficiente socioeconómico. Matemáticamente no es claro por qué en tal fórmula se decide sumar la representación de las condiciones de Escasez (C_E) y condiciones de inversión de las corporaciones (C_k); es algo así como mayorar la escasez con dinero. En la investigación realizada no se encuentra ninguna justificación técnica para esta estructura:

$$FR = 1 + [C_k + C_E] * C_s \quad (4)$$

También se definen las características de los coeficientes socioeconómicos y de inversión, para luego hallar la fórmula de Coeficiente de Escasez.

Se definen los valores máximo y mínimo de C_E en función de la fórmula de TUA y se consideran las variaciones de los otros coeficientes en un análisis estadístico en el cual se ajusta una función matemática a un comportamiento deseado de los índices.

3.2.3. Coeficiente de escasez

Se calcula con el fin de definir las condiciones de oferta y demanda de una Unidad Hidrológica de Análisis

determinada, diferenciando aguas superficiales y subterráneas.

Según el Decreto 155 de 2004 (22 de Enero), el Ministerio daría a conocer, dentro de los seis meses siguientes a su publicación, las metodologías para el cálculo del Índice de Escasez de aguas superficiales y subterráneas, lo cual fue cumplido parcialmente. La metodología en el caso de las aguas subterráneas fue publicada el 18 mayo de 2006, con la Resolución 872. La metodología para el Índice de Escasez de Aguas Superficiales se presenta en la Resolución 0865 de 2004.

Matemáticamente el coeficiente de escasez se define como se presenta en las Ecuaciones 5 y 6.

Agua Superficial:

$$C_E = \begin{cases} 0 & \text{Si } I_{ES} < 0.1 \\ \frac{5}{6} \left[1 - \frac{5}{3} I_{ES} \right] & \text{Si } 0.1 < I_{ES} < 0.5 \\ 5 & \text{Si } I_{ES} > 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

Donde:

C_E : Coeficiente de escasez para aguas superficiales

I_{ES} : Corresponde al Índice de Escasez para aguas superficiales estimado para la cuenca, tramo o unidad hidrológica de análisis.

Agua Subterránea:

$$C_E = \begin{cases} 0 & \text{Si } I_{EG} < 0.1 \\ 40 & \text{Si } 0.1 < I_{EG} < 0.5 \\ [40 - 90I_{EG}] & \\ 10 & \text{Si } I_{EG} > 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

Donde:

C_E : Coeficiente de escasez para aguas subterráneas

I_{EG} : Corresponde al Índice de Escasez para aguas subterráneas estimado para el acuífero o unidad hidrológica de análisis.

En el caso de las aguas subterráneas, en estudios realizados, pero aun no aprobados por el Ministerio, el Índice de Escasez se define como:

$$I_{EG} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_c}{Q_e} \quad (7)$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n Q_c$: es la sumatoria de los caudales captados en el acuífero.

Q_c : es el caudal del recurso hídrico que es explotable del acuífero .

I_{EG} : corresponde al Índice de Escasez para aguas subterráneas.

Haciendo análisis de la expresión y definiendo claramente que el caudal explotable en el acuífero debe relacionarse con un porcentaje de la recarga, de tal forma que no haya afectación del mismo a largo plazo. Para el cálculo de los caudales captados se tienen dos opciones, una correspondiente al reporte de las medidas volumétricas en cada captación y en caso de no existencia del medidor, se definirá una metodología para el cálculo aproximado del volumen captado; la información para tal fin será obtenida de la encuesta aplicada para el levantamiento de los pozos.

Caudal Explotable del acuífero

Los recursos explotables representan el volumen de agua, expresado en forma de caudal, que se puede captar de un acuífero a largo plazo (oferta hídrica subterránea), sin causar alteraciones indeseables en el régimen de aguas subterráneas, teniendo en cuenta condiciones técnicas y económicas. En general, los recursos explotables no deben exceder la recarga asegurada del acuífero, o recursos disponibles (IDEAM, 2005).

La recarga de agua subterránea se define como la entrada de agua dentro de la zona saturada, donde comienza a hacer parte de las reservas subterráneas de agua (Bradbury et al., 2000; Balek, 1988; Scanlon et al., 2002; De Vries y Simmers, 2002). Esta entrada se dá de dos maneras, la primera por un movimiento descendente del agua debido a las fuerzas de gravedad y la segunda comprende la entrada de agua al acuífero luego de presentarse un movimiento horizontal del flujo debido a las diferentes condiciones hidráulicas de las capas que constituyen el perfil del suelo (Balek, 1988); Simmers (1990) la definen de manera similar como el flujo descendente de agua que alcanza el nivel freático y que comienza a formar parte de las reservas subterráneas de agua. La recarga puede definirse también como el volumen de agua que penetra en un cierto período de tiempo en las reservas subterráneas o como el flujo unitario que alcanza el nivel freático (Custodio, 1997).

La recarga de un acuífero puede darse naturalmente debido a la precipitación, a las aguas superficiales, es decir, a través de ríos y lagos, o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento o por infiltraciones de embalses y depósitos (Balek, 1988; Custodio, 1997; Simmers, 1990; Lerner, 1990; Samper, 1997). En general, la recarga por lluvia es la más importante, mientras que la recarga producida por ríos y lagos es importante en climas poco lluviosos, y la debida a fugas en redes de abastecimiento es de gran importancia en zonas urbanas.

Para la estimación de la recarga por precipitación el método más utilizado es el de balance hídrico: aplicación del principio de la conservación de masa a una cierta región de volumen conocido y definida por unas determinadas condiciones de frontera durante un determinado período de tiempo. La diferencia entre el

total de entradas y el total de las salidas debe ser igual al cambio en el almacenamiento de agua.

La ecuación hidrológica del balance es una representación cuantitativa de la evolución del ciclo hidrológico, la cual se expresa como:

$$F_{entra} = F_{sale} \pm \Delta S \quad (8)$$

Donde:

F_{entra} : Flujos que entran al sistema.

F_{sale} : Flujos que salen del sistema.

ΔS : Cambio temporal en la humedad del suelo.

Esta ecuación puede ser aplicada a sistemas de cualquier tamaño, y es dependiente del tiempo, es decir, los elementos del flujo que entran al sistema en estudio deben ser medidos sobre el mismo período de tiempo que los del flujo de salida.

Las entradas incluyen la precipitación, el flujo superficial que entra hacia el sistema, incluyendo el flujo de los arroyos y la escorrentía superficial, el flujo subterráneo que viene de los acuíferos ubicados fuera del área de estudio y la importación artificial de agua a través de tuberías y canales.

Las salidas o el flujo que sale del sistema incluye la evapotranspiración del agua presente en el suelo, la evaporación de agua superficial, la escorrentía superficial, el flujo subterráneo que sale del sistema y la exportación artificial de agua a través de tuberías y canales.

En general las técnicas de balance aplicadas a la evaluación de recursos de agua subterránea tratan la recarga como el residual de otros flujos en la ecuación de balance (Recarga = Precipitación - Escorrentía - Evapotranspiración - cambios en el almacenamiento).

Caudal Captado - Demanda

El caudal captado es directamente relacionado con la demanda de uso del agua subterránea.

Para la aplicación de esta metodología se tienen dos escenarios:

- El punto de captación cuenta con medidor volumétrico de extracción: en este caso se diligenciarán formatos mensuales en los cuales se reporten los volúmenes

captados en el periodo de tiempo.

- El punto de captación no cuenta con medidor volumétrico: Para este caso será necesario hacer cálculos aproximados de la extracción. Para este fin se tendrán datos de la bomba, del sistema de extracción, tiempo de funcionamiento diario, caudal de extracción. A partir de tal información se obtendrá el volumen captado en cada punto.

3.2.4. Resolución 0865 de 2004

En Julio 22 del 2004 se publica la Resolución 0865 de 2004, una metodología para el cálculo del Índice de Escasez de Agua Superficial. En esta resolución se adopta la metodología para el cálculo del Índice de Escasez para Aguas Superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004, y corresponde a la publicada por el IDEAM el 4 de agosto de 2004.

Vale la pena resaltar que el IDEAM publicó en su página de Internet una actualización de la metodología del cálculo de Índice de Escasez para aguas superficiales (Diciembre de 2004), en el cual se presentan modificaciones importantes desde el punto de vista técnico, pero aun el Ministerio no ha “legalizado” la actualización dentro de ninguna resolución. Esta metodología tiene en cuenta, según un análisis hidrológico – estadístico, las condiciones de estiaje del cauce, para lo cual es necesario contar con registros históricos de caudal.

La metodología planteada define el Índice de Escasez como:

$$I_e = \frac{D}{O_n} * F_r * 100 \quad (9)$$

Donde:

I_e : Índice de Escasez [%].

D : Demanda de agua [m³].

O_n : Oferta Hídrica Superficial Neta [m³].

F_r : Factor de reducción por calidad y caudal ecológico.

El índice de Escasez se calcula anualmente, lo cual no representa la variabilidad temporal de la demanda, esto es importante resaltarlo dado que el comportamiento bimodal de la precipitación en la mayor parte de Colombia hace que la demanda de agua sea mayor en algunas épocas del año. Además, la estructura del Índice de Escasez no representa lo que el documento explica, ya que la reducción por calidad y caudal ecológico debe hacerse

a la oferta con el fin de maximizar la escasez y realmente por el contrario, reduciendo la escasez.

Para la demanda, el decreto presenta tres escenarios de cálculo que se definen según el nivel de información que se tenga y las proyecciones de crecimiento de las poblaciones, además de los datos de diferentes usos del agua en la Unidad Hidrológica de Análisis.

La metodología relaciona la oferta con los caudales medios del cauce lo que consideramos erróneo, ya que debe relacionarse es con los caudales de estiaje (mínimos) que son los que realmente limitan la disponibilidad del recurso en un momento dado. Para la Ecuación 9, la resolución presenta 3 posibles métodos de cálculo de oferta:

Balance hídrico: Para cuencas hidrográficas con un registro mayor de 10 años de las variables climatológicas e hidrológicas, situación ésta que permite estimar la oferta hídrica media anual. Esta metodología se aplica en cuencas instrumentadas y con un área de drenaje mayor (más de 250 km²).

Caudal medio puntual en las corrientes de interés: Cuando los registros de caudal generan series cortas y no confiables (series anuales menores de dos años).

Relación lluvia escorrentía: Aplicable en cuencas menores, es decir cuyas áreas de drenaje sean inferiores a 250 km², cuencas no instrumentadas que no cuentan con registros de caudal para la estimación de la oferta superficial mensual.

Se debe resaltar que un solamente un mínimo porcentaje de cuencas en Colombia se encuentran instrumentadas. La utilización del caudal medio puntual en la estimación de la oferta puede estar sobreestimando la disponibilidad, además dos años de registro no son representativos de las dinámicas hidrológicas del río, mas cuando en este periodo se puede estar registrando anomalías climáticas que son frecuentes en nuestro país (eventos extremos ENSO), lo cual llevaría a una sub o sobre estimación de caudales. No es, desde ningún punto de vista, recomendable hacer análisis hidrológicos sobre series históricas menores a 10 años de registros.

El modelo lluvia-escorrentía sugerido en la metodología presentada por el IDEAM fue desarrollado inicialmente

para estimar caudales máximos, lo cual puede generar problemas de confiabilidad en los resultados obtenidos. Ninguno de los modelos anteriores representa la variabilidad espacial de las características de escasez o disponibilidad en la cuenca, lo que es fundamental en cuencas tan heterogéneas como las de Colombia, por lo que se considera pertinente hacer un análisis de sensibilidad espacial del Índice de Escasez de aguas superficiales, con el fin de representar de forma más aproximada las condiciones de disponibilidad del recurso en la cuenca.

Para calcular la Oferta Hídrica Superficial Neta se debe hacer un descuento por caudal ecológico y por calidad. En la resolución el caudal ecológico se asume como un porcentaje de la oferta para un periodo de retorno. En cuanto a la reducción por calidad, sólo se menciona que es el 25% de la Oferta Hídrica Superficial, lo que no tiene ninguna justificación técnica. Un análisis sobre el caudal ecológico en la TUA, se presenta a continuación.

3.2.5. Caudal Ecológico

El IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio. Según un análisis realizado por Aylward (2003), para estimar caudales ecológicos es importante definir sus costos y beneficios y los incentivos para su aplicación ya que es probable que el establecimiento del caudal implique un cambio en la utilización del agua. Los resultados dependerán de si, y hasta qué punto, los beneficios económicos netos que se generarán con caudales ecológicos superarán los del “desarrollo” original de los recursos hídricos del río.

4. APLICACIÓN DE LA TUA A LA QUEBRADA DOÑA MARÍA

4.1. Tarifa Mínima

Para el cálculo de la Tarifa Mínima es necesario conocer los valores del IPC (Índice de Precios al Consumidor), los valores reportados son los dados por el DANE (Tabla 2).

Tabla 2. IPC y Tarifa Mínima

Año (t)	IPCt-1 (%)	TM (\$/m ³)
2004	-----	0,50
2005	5,50	0,53
2006	4,85	0,55

4.1.1. Factor Regional

Este factor depende de los coeficientes de inversión, socioeconómico y de escasez.

En el caso de la cuenca de la quebrada Doña María, dado que no tiene Plan de ordenamiento y manejo de cuenca, el coeficiente de inversión es cero.

En cuanto al coeficiente socioeconómico se debe diferenciar según el uso del agua (doméstico y no doméstico) y el municipio en el que esta ubicado el usuario (Medellín, Itagüí o La Estrella). Para esta aplicación se trabaja con el Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) que reporta el DANE según el censo de 1993 (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficiente socioeconómico

Municipio	NBI (%)	Cs	
		Uso Domestico	Uso No Domestico
Medellín	16,08	0,84	1,00
Itagui	12,30	0,88	1,00
La Estrella	18,58	0,81	1,00

Para el cálculo del Coeficiente de Escasez (C_e), de aguas superficiales y aguas subterráneas se debieron calcular la oferta y demanda hídrica superficial y subterránea del recurso.

Demanda de agua superficial: Para el cálculo de la demanda actual de agua, en la cuenca de la quebrada Doña María, se utilizó una metodología en función de la cantidad de información primaria obtenida (censo realizado) y secundaria disponible (expedientes, censo agropecuario e información de los POT).

Oferta hídrica superficial neta: En este trabajo se utilizó un modelo lluvia-escorrentía desarrollado por Vélez

(2001), el cual estima caudales mínimos en una cuenca con información escasa.

Factor de reducción por calidad y caudal ecológico:

Para la estimación del caudal ecológico se empleó la metodología propuesta en la Resolución 0865 de 2004 la cual cita el estudio Nacional de Aguas (IDEAM, 2000). Esta permite estimar el caudal ecológico de una corriente, como el 25% del caudal mensual multianual más bajo de la corriente. El factor de reducción por calidad será el 25 %, tal y como lo propone la Resolución 0865 de 2004. Para el coeficiente de escasez de aguas superficiales se tienen los siguientes datos para el cálculo del índice de escasez (Tabla 4)

Tabla 4. Índice de Escasez Aguas Superficiales

Parámetro	Aguas Superficiales
Oferta natural (l/s)	776,9320
Demanda Total (l/s)	1401,1067
Caudal Ecológico (l/s)	496,1680
Factor Reducción Caudal Ecológico	0,64
Factor Reducción Calidad	0,25
I_c (%)	1242
C_e	5,00

Caudal explotable del acuífero: Dada la ausencia de información en la zona de estudio y la inexistencia de modelamiento del acuífero en la zona se aplicará un modelo de balance hídrico, para la estimación de la recarga potencial, apoyado en la metodología presentada por Bradbury et al. (2000) e implementado por Arismendy y Salazar (2003).

En el caso de las aguas superficiales se tiene una escasez Alta.

Para el coeficiente de escasez de aguas subterráneas se tienen los siguientes datos para el cálculo del Índice de Escasez (Tabla 5).

Tabla 5. Índice de Escasez Aguas Subterráneas

Parámetro	Aguas Subterráneas
Recarga (l/s)	194,6000
% de Recarga	25
Oferta natural (l/s)	48,7000
Demanda Total (l/s)	14,9300
Ie (%)	30,7
Ce	3,23

En el caso del agua subterránea la escasez es media alta. Siguiendo lo planteado en el decreto y dadas las anteriores

condiciones de obtienen los siguientes factores regionales (Tabla 6)

Tabla 6. Factores Regionales quebrada Doña María

Municipio	FR	
	Aguas Superficiales	Aguas Subterráneas
Medellín	5,20	3,71
Itagui	5,39	3,83
La Estrella	5,07	3,63
Uso No Doméstico	6,00	4,23

Finalmente en la (Tabla 7) se presentan los valores de la TUA para el 2005 y 2006.

Tabla 7. Valores de la TUA

Municipio	TUA (\$/m3)			
	Aguas Superficiales		Aguas Subterráneas	
	2005	2006	2005	2006
Medellín	2,75	2,86	1,97	2,04
Itagui	2,85	2,96	2,03	2,11
La Estrella	2,69	2,79	1,92	2,00
Uso No Doméstico	3,18	3,30	2,24	2,33

5. CONCLUSIONES

Uno de los principales problemas para la implementación de la TUA es la definición de la Unidad Hidrológica de Análisis, tanto para el recurso subterráneo como para el superficial, ya que la escala espacial de aplicación del decreto limita el cálculo de los factores por calcular.

La tasa por uso TUA es esencialmente un instrumento económico que pretende una mejor utilización del recurso agua. Sin embargo su implementación en Colombia es difícil por las dificultades generadas en dos sentidos:

El costo de implementar la tasa y efectivamente cobrarles a los usuarios, es mucho mayor que los recursos recaudados por este concepto.

En la metodología actualmente aprobada por la ley existen muchos vacíos técnicos que pueden hacer que los parámetros involucrados en el cálculo de la tasa no representen las condiciones reales de la cuenca.

Los factores usados, en el cálculo de la TUA, a pesar de ser esencialmente económicos muchas veces desconocen los conceptos físicos fundamentales del manejo de cuencas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acuatella, J. C., 2001, División Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. Aplicación de Instrumentos económicos en la Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe: desafíos y factores condicionantes. Chile..
- Arismendy, R. D. y Salazar, J. F., 2003. Evaluación del potencial acuífero de los municipios de Puerto Berro y Puerto Nare. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Trabajo Dirigido de Grado.
- Balek, J., 1988, Groundwater Recharge Concepts. En: Estimation of Natural Groundwater Recharge. Editado por: Simmers, I. pp. 3 - 9.
- Bradbury, K. R., Dripps, W., Hankley, C., Anderson, M. y Potter, K., 2000, Refinement of Two Methods for Estimation of Groundwater Recharge Rates. University of Wisconsin, USA. 84p.
- Briceño, S. C. y R, J. A., 2003, Impacto del cobro de la tasa por uso de agua en Colanta. Universidad Nacional de Colombia.
- Colombia. Congreso, 1993, Decreto Ley 2811 de 1974 por el cual se reglamenta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Santafé de Bogotá..
- Colombia. Congreso Nacional. Ley 373 del 6 de Junio de 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua
- Colombia. Congreso. Ley 99 de 22 de diciembre de 1993 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente. Santafé de Bogotá. 1993.
- CORANTIOQUIA, Oficina Territorial Hevéxicos. 2005., Implementación Tasa por Utilización de Agua cuenca piloto quebrada La Sopetrana. Santafe de Antioquia.
- Custodio, E., 1997. Recarga a los acuíferos: Aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre. En: La Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrológica. Editado por: Custodio E., Llamas M. R. y Samper J.. Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español e Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Madrid. 455p.
- <http://www.minambiente.gov.co/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2005, El Índice de escasez de las aguas subterráneas como elemento de cálculo de la Tasa por uso del Agua. Documento de Discusión. Publicado en línea.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Metodología de cálculo del Índice de Escasez.
- Issar, A. y Passhler, R., 1990, Regional Hydrogeological Concepts. En: Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge. Editado por: Lerner, D. N., Issar, A. S. y Simmers, I.
- Lerner, D. N., 1990, Techniques. En: Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge. Editado por: Lerner, D. N., Issar, A. S. y Simmers, I.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 155 del 22 de Enero de 2004.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Grupo de análisis Económico e Investigación. Republica de Colombia. Estimación Fórmula de Cálculo del factor Regional.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2002, Propuesta decreto reglamentario del art.43 Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.
- Ministerio del Medio Ambiente, 1997, Diseño de una metodología para el cálculo de las Tasas por Uso del Agua. Informe Final. Santafe de Bogota
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución número 0865 (Julio de 2004). Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Sabado 13 de Marzo de 2004. Resolucion Numero 0240 de 2004 (marzo 8). Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas.
- Samper, C. J., 1997, Métodos de Evaluación de la Recarga por la Lluvia por Balance de Agua: Utilización, Calibración y Errores. En: La Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrológica. Editado por: Custodio E., Llamas M. R. y Samper J.. Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español e Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Madrid. 455p.
- Simmers, I. 1990, Groundwater recharge principles, problems and developments. En: Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas. Editado por: Simmers, I.
- Sullivan, C. A., 2002, Derivation and Testing of the Water Poverty Index Phase 1. Center for Ecology and

Hydrology - CEH. Natural Environment Research Council. Fibal Report May. Volume 1 – Overview.

Sullivan, C., 2002, Calculating a Water Poverty Index. Centre for Ecology and Hydrology. Wallingford, UK. World Development. Vol. 30, N° 7, pp. 1195 – 1210.

Unión Temporal -BSC- Consultores Asociados. Implementación de la tasa por utilización de aguas en CORANTIOQUIA. Tercer informe: etapa de facturación. Mayo de 2005.