

Análisis crítico de la metodología implementada por el Ideam y las empleadas en el ámbito internacional para definir el índice de escasez del agua superficial

Critical analysis of the methodology implemented by IDEAM and those used internationally to estimate the surface water scarcity index

JORGE ANDRÉS VEGA ORTIZ¹ - HÉCTOR MATAMOROS RODRÍGUEZ²

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Profesor de la Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

jorge.vega@mail.escuelaing.edu.co - hector.matamoros@escuelaing.edu.co

Recibido: 20/01/2019 Aceptado: 06/02/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En el presente artículo se habla sobre la metodología para calcular el índice de escasez, para lo cual se abordarán los siguientes aspectos: la descripción de algunas metodologías de cálculo usadas a escala internacional, exactamente en Estados Unidos, Israel, Países Bajos y Canadá; críticas de autores nacionales sobre la metodología, ventajas y desventajas del indicador de escasez, y finalmente, los ajustes propuestos para el cálculo del indicador.

Adicionalmente, se elabora una guía práctica para su cálculo teniendo en cuenta los resultados de los análisis efectuados, se sugieren actualizaciones a la vigente metodología con nuevos rangos para medir el indicador de escasez, y por último se presentan conclusiones y recomendaciones. Finalmente, se aplica todo lo anterior en un estudio de caso.

Este trabajo se presenta como una herramienta de fácil uso para estimar el indicador de escasez, muy útil en la toma de decisiones referentes al manejo adecuado del recurso hídrico del país.

Palabras claves: agua, hidrología, recursos hídricos, escasez.

Abstract

This document discusses the methodology for calculating the scarcity index, focusing on the following topics: description of calculation methodologies used at international levels, especially in countries such as the USA, Israel, The Netherlands, and Canada; some criticisms by national authors about the methodology; advantages and disadvantages of the scarcity index; and finally, the proposed readjustments for calculating the index.

Additionally, a practical guide for the calculation will be designed, taking into consideration the results obtained by the performed analyses. Some improvements are suggested for the current methodology, with new ranges to measure the scarcity index. The conclusions and recommendations will be presented and, finally, all the procedures will be applied in a representative case.

This document is presented as a tool to facilitate the estimation of the scarcity index, useful in decision-making for correct use of water resources in the country.

Keywords: water, hydrology, water resource, scarcity.

INTRODUCCIÓN

En este artículo se presenta un resumen del estudio realizado por los autores sobre las metodologías utilizadas para el cálculo del indicador de escasez de agua superficial, en dicho estudio se incluyen algunas experiencias del cálculo desarrolladas a escala nacional e internacional, su definición, relación de los métodos de cálculo existentes para su obtención, ventajas y desventajas que estos métodos presentan, así como los procedimientos que se deben tener en cuenta al momento de hacer los cálculos del indicador. Finalmente, se procede a elaborar una guía práctica de cálculo del indicador.

Como producto del trabajo realizado se elaboró un extenso documento en el que se presenta el marco conceptual que sirve como guía de consulta para la correcta comprensión de la información, en especial en el capítulo 1, en el cual se relacionan los términos que se implementan a lo largo del documento.

En el capítulo 2 se expone el marco teórico, al mismo tiempo que se relacionan algunas metodologías investigadas a escala nacional e internacional para calcular el indicador de escasez, destacando bondades y falencias que se puedan presentar al momento de usarlas. Se describe la metodología recomendada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) para calcular el indicador, y se presentan a modo de resumen las virtudes y críticas hechas por autores al momento de implementar la metodología.

Este análisis sirve como soporte para designar el camino y sentar las bases sobre el uso de la metodología en el país, al igual que para permitir su aplicación en procesos de planificación de la demanda y de la oferta de las cuencas hidrográficas.

Por otra parte, en el capítulo 3 se formula una matriz DOFA que servirá como herramienta para la toma de decisiones, recomendando cual de las metodologías estudiadas se pueden utilizar para complementar la metodología propuesta por el Ideam, o por el contrario, definir si ésta no presenta falencias en su formulación.

En el capítulo 4 se aplica la metodología obtenida en un caso de estudio (cuenca del río Curo) y se discuten los cálculos encontrados.

Finalmente, en el capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos al aplicar los resultados de la DOFA con lo arrojado en el estudio de caso: se generan conclusiones y recomendaciones.

RESULTADOS

En términos generales, la clasificación de la escasez se enfoca en los siguientes índices:

- Requerimientos de agua de seres humanos.
- Vulnerabilidad de recursos hídricos.
- Requerimientos ambientales de agua.

Para cada uno de éstos se analizan los métodos propuestos para el cálculo del indicador de escasez en los ámbitos nacional e internacional, y se saca una conclusión sobre su uso y las ventajas y desventajas que proporciona su metodología.

Dentro de la investigación se encontró que no hay un solo índice que sirva para calcular el indicador de escasez, ya que cada metodología se aplica de acuerdo con las características de su país. Por esto se encuentra variedad en la aplicación de las metodologías estudiadas. Por tal motivo, lo que se buscará con el presente trabajo es consolidar estas experiencias, buscar cuáles se pueden aplicar en el país y encontrar la manera de actualizar la metodología ya existente para calcular el índice de escasez.

Se elabora una matriz DOFA, de la cual se concluye que las metodologías que más se ajustan y que se podrían aplicar para un estudio de caso en Colombia son la metodología de índice relativo local de uso y reúso de agua y el índice de estrés hídrico. Además, la metodología índice de sostenibilidad de la cuenca también es aplicable en el país, pero requiere un volumen superior de información para alimentar el modelo.

Por lo anterior, estas tres metodologías se calificaron como las más estructuradas y que en su desarrollo involucran mayor número de variables, lo cual permite que el nivel de detalle de los datos usados mejore y, por consiguiente, su resultado.

Igualmente, estas tres metodologías se analizarán para la elaboración de la guía metodológica. Cabe aclarar que para la construcción de la guía se usará además lo analizado en el Estudio Nacional del Agua 2014.

Finalmente, consolidada la guía práctica, se usarán estas tres metodologías y se aplicará el estudio de caso (cuenca del río Curo). Estos resultados se compararán con la metodología que implemento la Resolución 865 de 2004, sugerida por el Ideam para calcular el índice de escasez. Lo anterior permitirá establecer diferencias

encontradas y concluir si la metodología vigente puede ser objeto de actualizaciones.

Lo anterior permitirá, entre otras cosas:

- Constituir una herramienta aplicable a las distintas cuencas del país para valorar el impacto de las medidas, planes o estrategias implementadas con el objeto de alcanzar seguridad hídrica.
- Constituir una herramienta que permita comparar el estado de la seguridad hídrica de diferentes cuencas en un momento determinado.
- Proponer alimentar la matriz con información o datos de carácter público actualmente disponibles.
- Ser de fácil comprensión, actualizables en el tiempo, fácil aplicación y confiables.

Producto de este análisis se relacionan los procedimientos que hay que tomar en cuenta para la estimación del indicador, lo que forma parte de la guía metodológica propuesta.

Todo proceso de cálculo debe tener como mínimo una primera etapa de recopilación y análisis de información, una segunda etapa enfocada en conocer la zona de estudio donde se va a desarrollar el trabajo,

delimitar claramente los puntos de interés, y el método o los métodos de cálculo seleccionados, para finalmente analizar los resultados y llegar a una conclusión sobre el nivel de presión de los recursos hídricos (tercera etapa).

En la tabla siguiente se presenta una descripción particular de las etapas mencionadas, enfocándola en la aplicación práctica y los objetivos planteados en el presente trabajo, por lo cual se incluyen además la etapa de síntesis metodológica y las recomendaciones sobre la selección del método de cálculo (tabla 1).

Posteriormente, se aplica la metodología propuesta para el cálculo de oferta y demanda, a la cuenca del río Curo. Los resultados obtenidos se comparan para las tres metodologías seleccionadas para calcular el indicador de escasez. Posteriormente, se comparan los resultados obtenidos al aplicar tres de las metodologías obtenidas en la recopilación (Índice relativo local de uso y reuso de agua WTA, índice de estrés hídrico WSI y el Índice de escasez del Ideam) y la propuesta en este estudio para calcular la oferta y la demanda de agua y a través de ellas el indicador de escasez hídrica en la cuenca del río Curo, obteniendo los siguientes resultados (tabla 2).

Tabla 1
Etapas y descripción de las actividades. Metodología

Etapas	Descripción de actividad
Recopilación y análisis de información	Esta etapa consiste en la recopilación y análisis de información secundaria a escala nacional e internacional referente a: -Métodos de cálculo para estimar la oferta superficial -Métodos de cálculo para estimar la demanda -Experiencias de cálculo -Marco conceptual -Marco normativo
Cálculo del indicador de escasez.	Para llevar a cabo la aplicación práctica, se procede en la siguiente forma: -Delimitación de la zona de estudio -Caracterización de la zona de estudio -Selección de los métodos de cálculo de oferta -Selección de los métodos de cálculo de demanda -Validación de la información de las bases de datos -Cálculo de índice de escasez de acuerdo con la zona de estudio y los métodos de cálculo seleccionados.
Análisis de resultados	Una vez que se obtienen los resultados del cálculo, se analizan éstos y se infiere cuál debe ser el índice de escasez calculado más confiable, teniendo en cuenta el contexto de la región de estudio, así como la información usada para estimar el volumen de agua producida y gastada.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 2
Resultados del cálculo de índice de escasez

Cuenca	Valoración	WTA	WSI	IUA
Área 1	15,83 %	Estresada	Ligeramente explotado	Demanda baja
Área 2	8,35 %	No estresada	Ligeramente explotado	Demanda muy baja
Área 3	31,18 %	Con escasez	Moderadamente explotado	Demanda apreciable
Área 4	6,93 %	No estresada	Ligeramente explotado	Demanda muy baja
Área 5	3,58 %	No estresada	Ligeramente explotado	Demanda muy baja
Área 6	16,37 %	Estresada	Ligeramente explotado	Demanda baja
Área 7	18,16 %	Estresada	Ligeramente explotado	Demanda baja
Área 7	3,13 %	No estresada	Ligeramente explotado	Demanda muy baja
Área 8	1,55 %	No estresada	Ligeramente explotado	Demanda muy baja
Área 8	0,92 %	No estresada	Ligeramente explotado	Demanda no significativa

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Con respecto a los resultados, se genera una propuesta de mejora a la metodología que actualmente se emplea en el país para medir el índice de escasez, en relación con los rangos de evaluación.

En esta propuesta de ajuste de rangos se toma en cuenta lo citado en el texto *Critical Trends Global Change and Sustainable Development, 1997*. Así mismo, es fundamental considerar la clasificación citada por las Naciones Unidas, en la cual se expresa la relación entre aprovechamientos hídricos como un porcentaje de la disponibilidad de agua. En esta relación, cuando los aprovechamientos representan más de la mitad de la oferta disponible, se alcanza la condición más crítica. Por lo anterior se propone modificar la asignación de rangos que establece la metodología Ideam, pasando de evaluar cinco rangos a solamente cuatro; esto eliminaría el rango (<1%) (color azul), el cual califica la demanda como “no significativa”.

Igualmente, se recomienda ajustar las descripciones usadas para cada rango, con el fin de que el mensaje pueda generar mayor alerta.

Por último, se recomienda manejar la asignación de un color a cada rango establecido, ya que esto permitirá que visualmente se generen las alertas y se produzca una mejor y fácil comprensión del estado de la cuenca estudiada.

Producto de los análisis realizados, a continuación se relaciona el criterio de evaluación propuesto para medir el nivel de escasez (tabla 3).

Al aplicar los rangos propuestos, se concluye que en la cuenca del río Curo se calculó un índice de escasez de 10,53 %, lo que indica que la cuenca es calificada con una “Sin escasez”, tomando en cuenta una estimación por áreas de drenaje.

Tabla 3
Categorías e interpretación propuesta para definir el índice de escasez

Categoría	Rango	Color/Calificativo	Explicación
Alta	>51 %	Escasez absoluta	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
Medio alto	21 % – 50,99 %	Con escasez	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
Medio	11 % – 20,99 %	Con escasez baja	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
No significativo	0 % – 10,99 %	Sin escasez	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Así mismo, resultado de la evaluación de la DOFA en el presente documento, se encontró que la metodología “Índice de sostenibilidad de la cuenca” es calificada como una herramienta apropiada para calcular el indicador de escasez. Cabe aclarar que ésta no es comparable con las anteriormente desarrolladas, ya que involucra en su evaluación criterios enfocados en la gestión y sostenibilidad de las fuentes; dentro de los criterios que evalúa se listan hidrología, ambiente, vida y política.

Tabla 4
Valores de indicadores e índice de sostenibilidad de la cuenca. Año seco y medio

Indicador	Valor
H	0,5
A	0,66
L	0,42
P	0,5
WSI	0,52

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Una vez obtenido el valor final del WSI, se puede concluir que la cuenca del río Curo es calificada con una sostenibilidad intermedia, ya que su rango oscila entre 0,5 y 0,8.

Las mayores fortalezas se relacionaron con los indicadores ambientales, mientras que las mayores debilidades observadas se relacionaron con el indicador humano. Dentro de los rangos medios se calificaron el indicador de hidrología y política, la primera relativa a cantidad debido principalmente a la situación de no escasez hídrica y la segunda con la evolución en la capacidad institucional para el manejo de los recursos hídricos.

CONCLUSIONES

1. Como resultado de este análisis, se determina que la Resolución 865 de 2004 se encuentra desactualizada, y requiere actualizaciones para poder estimar la oferta y la demanda. Por lo anterior, se propone una guía práctica para su estimación y además se sugiere un ajuste en los rangos para calcular el indicador de escasez, generando una herramienta optimizada de alerta temprana, aplicable a futuros estudios de valoración de la seguridad hídrica del país.
2. A escala mundial son muchas las metodologías que buscan analizar la oferta y la demanda del recurso hídrico. Esto permitió analizar las propuestas y construir una matriz DOFA que busca fundamentalmente establecer cuál de estas metodologías puede ser más aplicable en el país, encontrando que las metodologías que más se ajustan y que se podrían aplicar para Colombia son la metodología de “Índice relativo local de uso y reúso de agua”, “Índice de sostenibilidad de la cuenca” y la de “Índice de estrés hídrico”, alcance que se relaciona durante el desarrollo del documento.
3. La metodología “Índice de sostenibilidad de la cuenca” es aplicable en cuencas que cuenten con un volumen de información que permita alimentar el modelo. Entre los más representativos están los datos de calidad de agua, datos institucionales, datos de conservación de la cuenca, etc. Esta metodología está más enfocada en medir la gestión que hacen las entidades estatales o privadas para el manejo de las fuentes hídricas, herramienta que sirve para evaluar su gestión.
4. Como resultado de la comparación de las metodologías investigadas, se encontró que algunas de las metodologías analizadas en la práctica no es posible implementarlas en el país, ya que la disponibilidad de información para alimentar bases de datos a la fecha en el país son limitadas.
5. La cuenca del río Curo, de acuerdo con los resultados de oferta y demanda, es calificada “Sin escasez”.
6. Se compararon los resultados obtenidos de la cuenca El Curo, con respecto a los calculados para las tres metodologías seleccionadas. Producto de esta comparación se encontraron diferencias significativas en los rangos que usa cada una de las metodologías para estimar la escasez, por lo que es necesario proponer un cambio en la evaluación de los rangos que actualmente sugiere el Ideam en su metodología de índice de escasez.
7. La oferta hídrica total se determinó a partir de la oferta neta disponible y el caudal ecológico permanente en las áreas de interés, teniendo en cuenta las actualizaciones del cálculo del caudal ambiental.
8. Para el cálculo de la demanda se implementó la metodología de módulos de consumo, metodología que actualiza la forma de cálculo que plantea la Resolución 865 de 2004. Además, se consideraron las

actualizaciones presentadas en el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Lo anterior para el cálculo del caudal ecológico y el cálculo de la dotación neta.

9. Para estimar la oferta se debe disponer de información hidrológica, ambiental, acceso a la información y tecnologías empleadas, así como de las metodologías empleadas para el cálculo de la demanda, donde se incluyen las actividades económicas del país, acceso a la información y tecnologías empleadas.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar la propuesta presentada en futuros estudios de seguridad hídrica en el país.
2. Considerar que en el Estudio Nacional de Agua se incluye el cálculo de la demanda doméstica, en relación con lo presentado en la Resolución 0330 de 2017, para el cálculo de dotación neta, pérdidas en los sistemas de almacenamiento, tratamiento y distribución de agua.
3. Implementar estrategias para que la recolección de información en el país se optimice, de tal modo que se puedan alimentar modelos con datos reales.
4. Mejorar los aspectos de gestión de cuenca, calidad del agua, protección de áreas e inversión de la cuenca El Curo, que generan efectos importantes en las condiciones de escasez. Las medidas que hay que tomar para aumentar la evaluación de estos parámetros son importantes para poder garantizar la sostenibilidad de la cuenca.

REFERENCIAS

- Alcama, J., Florke, M., & Marker, M. (18 de junio de 2010). Future long-term changes in global water resources driven by socio economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52, 247–275. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1623/hysj.52.2.247>.
- Allen, R., Perrier, M., & Pereira, L. (1994). *An update for the definition of reference evapotranspiration*. ICID Bulletin.
- Aparicio, F. M. (1999). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa.
- Arrache, L. S. (2011). *Intercambio de derechos de uso de agua. Un modelo para la gestión sostenible del recurso hídrico*. Barcelona: Universidad de Catalunya.
- Asheesh, M. (2003). *Allocating the gaps of shared water resources (the scarcity index)*. Oulu: Institute of Technology, Kotkantie. Recuperado el 2018, de https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-69509-7_24.
- Assimacopoulos, D. (marzo de 2004). *Indicators and indices for decision making in water resources management*. Obtenido de Water Strategy Man Project: <http://environ.chemeng.ntua.gr/WSM/Newsletters/Issue4/Indicators.htm>.
- Bradley, A. A., & Zhao, H. (1997). Climatic Variations in Extreme Precipitation in the Midwest. *Submitted to Journal of Hydrologic Engineering*, 4. Obtenido de <http://www.icaen.uiowa.edu/~abradley/publications/rfa2.pdf>.
- Brown, A., & Matlock, M. (2011). A review of water scarcity indices and methodologies. *The Sustainability Consortium*, 1-21.
- Budyco, M. (1974). *Climate and Life*. San Diego: Clif.
- Chaves, H. M., & Alipaz, S. (2007). An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy. *The Watershed Sustainability Index. Water Resources Management*, 883-895.
- Chow, V. (1994). *Hidrología aplicada* (J. Saldarriaga, Trad.). Bogotá: McGraw Hill.
- Consuegra, C. M. (2013). *Síntesis metodológica para la obtención de caudales ecológicos, resultados y posibles consecuencias*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2016). *Estudio para la determinación de módulos de consumo del recurso hídrico de las 10 cuencas de segundo orden y las ochenta y cuatro cuencas de tercer orden*. Colombia: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).
- Damkjaer, S., & Taylor, R. (2017). The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *University College London Institute for Sustainable Resources Londres, Reino Unido*, 513-53.
- Domínguez Calle, E., Costa Posada, C., Gonzalo Rivera, H., & Vanegas Sarmiento, R. (2005). El índice de escasez de agua: ¿un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico? *Revista de Ingeniería*, 105. Recuperado el 11 de mayo de 2018.
- Domínguez, E. C., Rivera, H., Vanegas, R. S., & Moreno, P. (2008). Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramienta de evaluación del recurso hídrico colombiano. *Acad. Colomb. Ciencia*, 32 (123), 195-211.
- FAO (2010). *Aquastat: Water Use*. Obtenido de http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index6.stm.
- Gleick, P. (1995). Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security. *International Security* 18 (1), 79-112.
- Goedkoop, M., & Spriensma, R. (2001). A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment: Methodology Report. *The Eco-Indicator* 99.
- Guavio, C. A. (2015). *Estudio técnico base para la reglamentación de las unidades hidrológicas del área de drenaje El Curo del municipio de Gama*. Gama (Cundinamarca): CorpoGuavio.
- Heaps, C., Kemp-Benedict, E., & Raskin, P. (1998). Conventional Worlds: Technical Description of Bending the Curve Scenarios. *Global Scenario Group, Stockholm Environmental Institute. Stockholm: PoleStar*.
- Hoekstra, A. (2003). Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Recuperado el 2018, de <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report12.pdf>.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. London - Washington, DC: Earthscan. Recuperado en mayo de 2018.
- ICWE (1992). *International Conference on Water and the Environment*. Genova: The Dublin statement and record of the conference.
- Ideam (2004). *Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial*. Bogotá, D.C.: Ideam.
- Infante Romero, H., & Ortiz, L. (2008). Ajuste metodológico al índice de escasez de agua propuesto por el Ideam en el plan de

- ordenación y manejo de la cuenca del río Pamplonita, Norte de Santander, Colombia. *Revista Colombia Forestal*, 11, 165-173.
- Instituto de Hidrología (2008). *Estudio Nacional de Agua*. Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- Instituto de Hidrología (2010). *Estudio Nacional de Agua*. Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- Instituto de Hidrología (2015). *Estudio Nacional del Agua*. Colombia: Imprenta Nacional.
- Jaramillo Rojas, C., Molina, F., & Betancur, T. (2011). Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de Corantioquia. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 10, 33-46.
- Kalbermatten, J., Julius, D., Gunnerson, C., & Mara, D. (1982). *Appropriate sanitation alternatives: a planning and design manual*. Banco Mundial.
- Lvovotc, M. L. (1970). World water balance (General Report). *Symposium on the world water balance*. Wallingford, International Association of Hydrological Sciences, 93 (II), 401-415.
- Martínez, L. F., & Ruiz, L. F. (1998). *Metodología para la estimación de datos faltantes en series temporales diarias*. Ideam.
- McNulty, Moore, J., & Cohen, C. (2010). Robbing Peter to Pay Paul: Tradeoffs Between Ecosystem Carbon Sequestration and Water Yield. *Proceeding of the Environmental Water Resources Institute Meeting*, 12.
- Meigh, J. R., McKenzie, A. A., & Sene, K. J. (1999). A Grid-Based Approach to Water Scarcity Estimates for Eastern and Southern Africa. *Water Resources Management*, 85-115.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012). *Alternativas para evitar una sequía prolongada en la ganadería colombiana*. Colombia: Sanmartín Obregón & Cía. Ltda.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2004). *Resolución 865*. Colombia: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330*. República de Colombia: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Molle, F., Molliga, P., & Philippus, W. (2009). *www.water-alternatives.org*. Obtenido de Hydraulic Bureaucracies and the Hydraulic Mission: Flows of Water, Flows of Power: <http://www.water-alternatives.org/index.php/allabs/65-a2-3-3/file>.
- Ohlsson, L. (2000). Water Conflicts and Social Resource Scarcity. *Phys. Chem. Earth*, 25 (3), 213-220.
- Organización de los Estados Americanos (2004). *Metodología para el cálculo de índice de escasez de agua superficial*. Lina: Talleres de la Oficina Técnica de Administración del INEI.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia (6 de agosto de 2018). *Parques Nacionales Naturales de Colombia*. Obtenido de Parques Nacionales Naturales de Colombia: <http://www.parquesnacionales.gov.co/tesauroambiental/C/CAUDAL>.
- Pfister, S., Annette, A., & Hellweg, S. (2009). Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. *Environmental Science & Technology (American Chemical Society)*, 4098-4104.
- Policy Research Institute (2007). *Canada water sustainability index project report*. Canada: Government of Canada.
- Rijsberman, F. R. (2004). *Water Scarcity: Fact or Fiction? "New directions for a diverse planet"*. Brisbane: Proceeding of the 4th International Crop Science Congress. .
- Schmidt, G., & Benítez, C. S. (agosto de 2013). How to distinguish water scarcity and drought in EU water policy. *Global Water Forum*. Recuperado en mayo de 2018, de <http://www.globalwaterforum.org/2013/08/26/how-to-distinguish-water-scarcity-and-drought-in-eu-water-policy/>.
- Silva, A., Ponce de León, J., García, F., & Durán, A. (1988). *Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay*. Universidad de la República del Uruguay.
- Smakhtin, V., Revenga, C., & Doll, P. (2004). Taking into account Environmental Water Requirements in Global - Scale Water Resources Assessments. *Colombo: International Water Management Institute*.
- Smith, R., & Velez, M. (1997). *Hidrología de Antioquia*. Secretaría de Obras Públicas Departamentales.
- Sokolo, A. A., & Chapman, T. G. (s.f.). *Metodos de cálculo del balance hídrico*. Madrid, España: Instituto de Hidrología de España.
- Solley, W., Pierce, R., & Perlman, H. (1998). *Estimated Use of Water in 1995. U.S. Geological Survey Circular 1200*. Alexandria, Virginia. Obtenido de <http://water.usgs.gov/watuse/pdf/1995/pdf/summary.pdf>. Accessed in July 2007.
- Sullivan, C. (2002). Calculating a Water Poverty Index. *World Development (Elsevier Science Ltd)*, 30 (7), 1195-1210.
- Szollósi-Nagy, A., Najlis, P., & Bjorklund, G. (1998). *Evaluación de los recursos mundiales de agua dulce*.
- Torres Rojas, L. P. (30 de julio de 2015). *Universidad de los Andes*. Obtenido de Visor tesis: https://biblioteca.uniandes.edu.co/visor_de_tesis/web/?SessionID=L1Rlc2lXzlwMTUyMDEvNzE3NC5wZGY%3D&as_fid=AAAAAAUziZFmGeVT9LNSplufybks9yah_6kDdGRpMa3apNE-v4VuFS7sYO6lXQBqRsYXlheRICZoHYbyuajC5sxtGtbh5lHw1oEJV59kml2ScYSyQ%3D%3D&as_fid=j8pXWlCjX7NFBAv7GSP.
- Torres, A., & Peñaranda, G. (2006). *Regionalización de caudales mínimos por métodos estadísticos de la cuenca Magdalena-Cauca*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- UN-Consejo Económico y Social (1997). *Evaluación general de los recursos de agua dulce del mundo*. New York: Informe del Secretario General.
- Unesco (1982). *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*. Montevideo: Rostlac.
- Vicente Serrano, S. M. (1.º de enero de 2012). <http://aeclim.org>. Obtenido de <http://aeclim.org>: http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0066_PU-SA-VIII-2012-SM_VICENTE.pdf.
- Vorosmarty, C. J., Douglas, E. M., Green, P. A., & Revenga, C. (2005). Geospatial Indicators of Emerging Water Stress: An Application to Africa. *Ambio* 34 (3), 230-236.
- White, C., Allendes, D., & Wyrwoll, P. (2014). Global Water Issues and Insights. En C. White, *Global Water Issues and Insights* (pp. 161-165). Australia: Anu Press.
- Yang, H., & Zehnder, J. B. (2002). Water Scarcity and Food Import: A Case Study for Southern Mediterranean. *World Development*, 30 (8), 1413-1430.
- Yang, H., Reichert, P., Abbaspour, K. C., & Zehnder, J. B. (2003). A water resources threshold and its implications for food security. *Environmental Science & Technology (American)*, 3048-3054.
- Zhang, L., Dawes, W., & Walter, G. (1999). *Predicting the effect of vegetation changes on chatchment average water balance*.
- Zhou, G., Sun, G., Wang, X., Zhou, C., McNulty, S., Vose, J., & Amatya, D. (2008). *Estimating forest ecosystem evapotranspiration at multiple temporal scales with a dimension analysis approach*. Journal of the American Water Resources Association. Recuperado el 2018, de https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_zhou006.pdf.
- Zuluaga Duque, L. (2011). *Simulador piloto de la oferta y la demanda hídrica en una microcuenca rural para la validación de metodologías y la evaluación de políticas de manejo sostenible del recurso agua*. Medellín: Universidad Nacional.