

## **AWARE PARA SUBZONAS HIDROGRÁFICAS DE COLOMBIA**

### **REGIONALIZING AWARE PER HYDROGRAPHIC SUBZONE OF COLOMBIA**

**Ing. Maly Puerto López\*, MSc. Simon Gmünder\*\***

\* **Embajada de Suiza - COSUDE.** Cra 9 No. 74-08, Oficina 806, Bogotá, D. C., Colombia. + 57 1 349 72 30 ext. 801818. E-mail: maly.puerto@eda.admin.ch

\*\* **Quantis Latin America.** Calle 69 # 6 – 20, D. C., Colombia. +57 314 818 22 73. E-mail: simon.gmuender@quantis-intl.com.

**Abstract:** Colombia is located in an area of high climate variability, it has three mountain ranges that generate several microclimates and it has development poles with high concentration of economic activities and population, therefore the water availability can vary importantly by sub basin. The AWARE method is a midpoint method that evaluates the Remaining Available Water per area in a watershed, once human and ecosystem needs are covered (WULCA). It is the recommended indicator for water scarcity by the UNEP-SETAC and complies with the ISO14046 water footprint standard. Ultimately, AWARE is available for large water basins that cover Colombia's territory, and is based in a complex model of water balance calibrated with flow data of 724 stations in the world. In order to provide a characterization factor with more detail of smaller scale, we regionalized annual AWARE using data from the National Water Study 2014, which is based on the National web that includes 464 flow stations (IDEAM, 2015). When comparing results, there were significant differences, of 2 magnitude orders more, in the department of Atlántico and close to the coast of Bolívar. There was an increased AWARE, between 1 to 2 units, in hydrographic subzones of Bogotá, Tota lake, and in subzones on departments of Magdalena, Cesar, Huila, Valle del Cauca and Tolima. On the other hand, Guajira's results were between 9 and 13, and the values calculated by WULCA are between 5 and 100. As conclusion, the AWARE calculated from global data available gives a fair

approximation to average conditions of the country in most of the territory, but it is convenient to use local data when identifying key water scarcity areas, especially because they usually have large human water consumption associated.

**Keywords:** Water scarcity; Water Footprint; AWARE; Colombia; ISO 14046

**Resumen:** Colombia está ubicada en una zona de alta variabilidad climática, posee tres cordilleras que generan gran cantidad de microclimas y polos de desarrollo económico y de población concentrados, por lo que la disponibilidad puede variar de manera importante por subcuenca. El método AWARE es el indicador de huella de la escasez de agua recomendado por la UNEP-SETAC. Cumple con la norma ISO 14046 sobre huella de agua. Es un método de punto medio que evalúa el Agua Remanente Disponible por área en una cuenca, una vez cubiertas las necesidades humanas y de los ecosistemas acuáticos (WULCA, 2016). El cálculo actual del AWARE disponible para Colombia utiliza un modelo complejo de balance hídrico y calibrado con datos de 724 estaciones de caudal en el mundo. En este estudio se utilizó el Estudio Nacional del Agua 2014, basado en datos de la red nacional, incluyendo 464 estaciones de caudal (IDEAM, 2015) para regionalizar el cálculo del AWARE anual. Al comparar los resultados, se obtuvieron diferencias significativas, de 2 órdenes de magnitud, en los departamentos de Atlántico y Bolívar, cerca de la costa. El AWARE se incrementó entre 1 y 2 unidades en las áreas del río Bogotá y el lago de tota, y en subzonas de los departamentos de Magdalena, Cesar, Huila, Valle del Cauca y Tolima. Por otro lado, Los resultados para las subzonas en la Guajira fueron 3 y 13, y los valores calculados por Boulay et. Al (2016) están entre 5 y 100. En conclusión, el AWARE calculado de datos globales disponibles da una aproximación justa para las condiciones promedio de la mayoría del territorio, pero es conveniente usar datos locales cuando se identifiquen zonas de escasez hídrica clave (1 orden de magnitud) en las áreas del río Bogotá, y en subzonas del Tolima, Valle del Cauca, Quindío, Magdalena y Cesar. Se concluye que el AWARE que parte de datos globales da una aproximación justa pero es recomendable bajar su escala en tanto sea posible para evaluar áreas clave de escasez de agua, especialmente porque son las que usualmente tienen altos consumos humanos de agua asociados.

**Palabras Clave:** Escasez de Agua; Huella de Agua; AWARE; Colombia; ISO 14046.

## 1. Introducción

La huella de agua es una métrica(s) que identifica los impactos potenciales relacionados con el agua (1). El AWARE es el método de impacto recomendado por el grupo de trabajo de la UNEP SETAC, de Análisis de Ciclo de Vida en Agua (WULCA, por sus siglas en inglés), como el indicador de punto medio genérico basado en el estrés hídrico, en el marco establecido para evaluar las rutas de impactos ambientales asociadas al uso de agua según el Análisis de Ciclo de Vida ACV (Boulay et al., 2015). Esta es una recomendación que es el resultado de talleres de expertos y un proceso de consulta con actores interesados de gobierno, academia y empresa (WULCA). El indicador responde a la pregunta: “¿Cuál es el potencial de privar a otro usuario de agua dulce (cualquier ser vivo, sea humano o no) al consumir cierto volumen en una región dada? (Boulay et al., 2015). El indicador está disponible y calculado a nivel de subcuenca y a intervalo mensual, sin embargo en el territorio de Colombia, se basa en la calibración con datos de descarga multianual de 4 estaciones de caudal. En total, se usaron 724 estaciones hidrológicas en el mundo.

Con el fin de obtener un factor de caracterización más refinado, en este estudio se regionaliza el AWARE anual mediante datos disponibles del Estudio Nacional del Agua ENA 2014 (IDEAM, 2015). Gracias a estos, se obtuvo el indicador para las 361 subzonas hidrográficas de las 5 grandes cuencas que se identifican en el territorio: Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoco, Pacífico y Amazonas. Los datos del ENA 2014 se basan en 1937 estaciones meteorológicas y 464 estaciones de caudal de la red nacional, correlacionadas con los datos hidrológicos de 8 regiones homogéneas (IDEAM, 2015).

## 2. Metodología

### 2.1 AWARE

El AWARE es el factor de caracterización para evaluar impacto de punto medio relacionado con el estrés hídrico, en el marco del Análisis de Ciclo de Vida. Su significado físico es “Agua remanente disponible por área en una cuenca, luego de que se cubre la demanda del uso humano y de los ecosistemas acuáticos”. Se expresa en con respecto al promedio mundial. Por ejemplo si el WULCA es 10 para cierto lugar, significa que este lugar sufre de 10 veces menos agua disponible por área que el promedio mundial (WULCA). El AWARE está limitado a valores entre 0 y 100. La función matemática para calcularlo es

$$AWARE == \frac{AMD_{promedio\_Global}}{AMD_{cuenca}}$$

$$AMD_{promedio\_Global} = 0.0136 \frac{m^3}{m^2 \cdot mes}$$

$$AMD_{cuencai} = \frac{AD_i - CH_i - QA_i}{Area}$$

Donde:

**AD** es la cantidad de agua disponible total, calculada como la esorrentía generada en la cuenca durante un mes.

**CH** es el agua consumida para usos humanos; de agricultura, domésticos e industriales. El agua consumida es el agua evaporada, incorporada a productos y en general, no retornada a la cuenca.

**QA** es el caudal ambiental, o el requerimiento hídrico de los ecosistemas acuáticos.

## 2.2 Datos de regionalización

**Área de sub cuencas.** Se utilizó el estudio de zonificación hidrográfico del país (IDEAM, 2013). Este clasifica el territorio en 361 subzonas hidrográficas de las 5 grandes cuencas: Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoco, Pacífico y Amazonas.

**Disponibilidad de agua.** El Estudio Nacional del Agua ENA 2014 utilizó un balance hídrico basado en datos de precipitación de 1937 estaciones meteorológicas, y calibrado con datos de esorrentía superficial promedio de 464 estaciones hidrológicas. El balance hídrico se basa en la ecuación de Penman-Moonteith (FAO, 2006), Turc (1995) y Budyko, usando 465 estaciones climatológicas.

**Consumo de agua humano.** El ENA se basa en datos oficiales de entidades nacionales. Así, el consumo de agua *para la agricultura* se basó en datos del Departamento nacional de Estadística DANE y de gremios como Asocaña, Fedearroz, Fenalce, Fedepala y Fedecafé, ente otros. La información agrícola se obtiene de la encuesta bianual de Evaluaciones Agropecuarias Municipales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (EVA), que proporciona datos para el 95% del área cultivada; el consumo se estimó asumiendo que las plantas no sufren de estrés. El consumo para usos industriales se tomó del "Registro Único Ambiental" RUA, y se complementó con la base de datos de las empresas de agua y saneamiento. El RUA incluía 1674 registros de cerca de 150 mil empresas registradas en el país, pero son los datos oficiales y se espera que correspondan a las empresas más grandes. El uso doméstico se basó en la dotación al día por persona para diferentes climas, y se validó con información de la Superintendencia de Servicios Públicos. También se consideraron como consumos las transferencias de una subzona a otra.

**Caudal ambiental.** El ENA lo calcula según el Decreto 3930 de 2010, basado en datos de estaciones de caudal. Para cuencas de autorregulación alta y poca variabilidad de caudales diarios (con un Índice de Regulación Hídrica IRH >

0,7) se considera como caudal ambiental el valor característico Q85 de la curva de duración (caudal igualado o superado el 85% del tiempo). El IRH se calcula a partir de la curva de duración de caudales diarios, es una relación entre el área bajo el caudal medio y el área bajo toda la curva. Para cuencas con baja autorregulación ( $IRH < 0,7$ ) se considera como caudal ambiental el valor característico Q75.

### **2.3 Limitaciones asociadas a los datos de regionalización**

Los datos disponibles en el ENA son anuales, pero las fórmulas definidas para el AWARE son mensuales. Se asumió que para el promedio mundial,  $AMD_{anual} = 12 \times AMD_{mensual}$ . Sin embargo, el AWARE promedio anual se calcula como el promedio ponderado basado en los consumos de agua mensuales. No se esperaría una diferencia muy grande entre meses cuando se considera el promedio global.

Este estudio evalúa la escorrentía de la subcuenca, por lo tanto no incluye como parte de la oferta el flujo de agua del río principal si este es un divisor entre SZH, o si solo pasa por su perímetro. Sin embargo, algunas actividades humanas dentro de la zona pueden estar usando los causes de estas divisoras. Se espera sin embargo que los principales consumos dependan de la escorrentía generada directamente en la zona evaluada.

## **3. Resultados y discusión**

En la figura 1 se presentan los resultados de la regionalización obtenida. En la mayoría del territorio el AWARE regionalizado con datos del ENA es similar al AWARE calculado por Boulay et al. (2016). El AWARE regionalizado con datos locales, incrementa levemente del rango de 0-0.1 al rango de 0.01-0.4 la mayor parte del territorio.

Sin embargo, para algunas subzonas hidrográficas se obtuvieron diferencias significativas, de hasta 2 órdenes de magnitud. Es el caso de los departamentos de Atlántico y el norte de Bolívar, cerca a la costa. El AWARE se incrementa entre 1 y 2 unidades en las áreas del río Bogotá y el lago de tota, y en subzonas de los departamentos de Magdalena, Cesar, Huila, Valle del Cauca y Tolima. Por otro lado, Los resultados para las subzonas en la Guajira fueron 3 y 13, y los valores calculados por Boulay et. al 2016 están entre 5 y 100.

En la tabla 1 se presentan algunas de las zonas en las que los resultados de este estudio difieren con respecto al valor calculado por Boulay et al. (2016)

**Tabla 1.** Resultados de AWARE regionalizado comparados para algunas subzonas hidrográficas

<b>Subzona hidrográfica</b>	<b>AWARE (Boulay et al 2016)</b>	<b>AWARE regionalizado con datos ENA 2014</b>
Arroyos directos al caribe, margen derecho del canal del dique (Atlántico y norte de Bolívar)	3 y 0	100
Ariguaní, Chimuica, Plato (Magdalena)	0	1.5 – 1.8
Medio Cesar	0	2.2
Directos al magdalena, Río Yaguará y Iquira, Río Bache, Río Fortalecillas, Río Neiva	0	0.5 – 1.5
Medicanoa y Piedras, Guachal, Ríos Lili, Melendez y Canaveralejo, Río Paila y Río Las cañas (Valle del Cauca)	0	1.0-1.7
Río Sumapaz	0	0.6
Río Bogotá	0	2.2
Río Chicamocha	0	0.7
Lago de Tota	0	1.3
Río Porce (incluye Medellín)	0	0.3
Ay. Sharimahana, Río Carraipia - Paraguachon, Directos al Golfo Maracaibo (Guajira)	5-100	0-13
Guátara, Juananbú, Chingual (Nariño)	0	0.5
Río Tapias y otros directos al Cauca (Quindío)	0	0.5

#### **4. Conclusiones y recomendaciones**

Si bien para la mayor parte del territorio el AWARE no varió significativamente, es notable que hay áreas de alto desarrollo con un AWARE superior a 1. Estas cuencas se caracterizan por grandes ciudades, como son las que se localizan en Atlántico, Valle del Cauca y Bogotá, y también suelen ser de producción agropecuaria e industrial importante. En el caso de Colombia, esto también se asocia al cambio en la oferta de agua aún a pequeña escala, lo que se debe a una mayor variabilidad climática a lo largo de su territorio que se asocia, entre otros, a su ubicación en un área tropical y montañosa, que genera microclimas.

Se concluye que el AWARE que parte de datos globales da valores similares para la mayoría del territorio pero es recomendable bajar su escala en tanto sea posible.

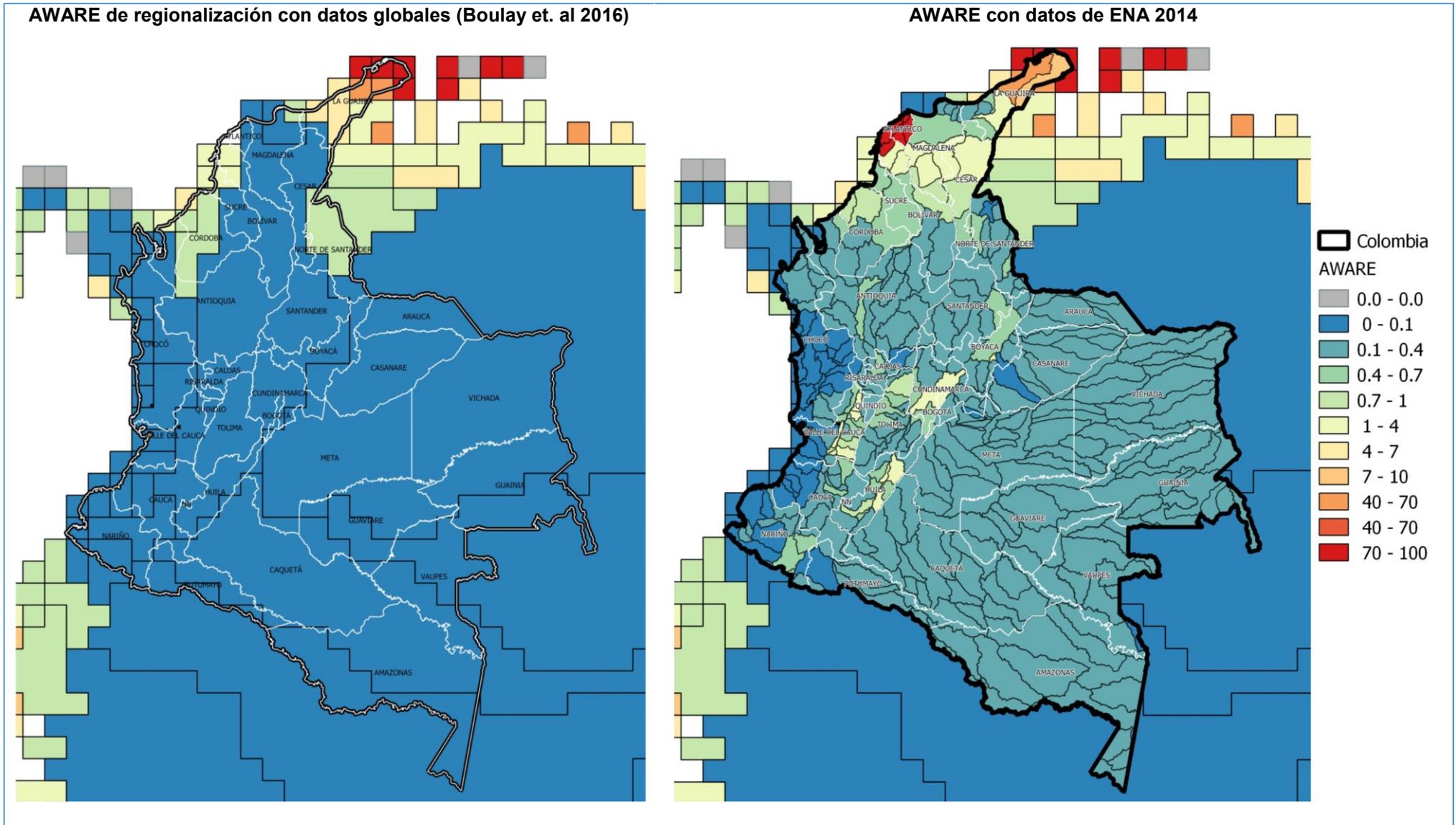


Figura 1. Regionalización del AWARE promedio anual (uso no especificado) por subzona hidrográfica en ENA

Los datos de disponibilidad de agua mensual representan un desafío porque cobraría importancia la estimación del almacenamiento por subzona hidrográfica, para la cual la información disponible es insuficiente. Sin embargo, para un futuro esfuerzo, se pueden usar la información del ENA sobre escurrimiento mensual, con el fin de estimar que tan grande podría ser la desviación mensual del AWARE con respecto a su promedio anual.

### Reconocimientos

Los autores expresan su agradecimiento a:

- La subdirección de Hidrología del Instituto Nacional de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, quien facilitó la información utilizada, que corresponde a los datos del Estudio Nacional del Agua 2014.
- Diego Arévalo Uribe, quien contribuyó en la interpretación de los datos disponibles.
- Diana Rojas, de la Embajada Suiza - COSUDE, quien contribuyó a enmarcar este esfuerzo en el interés institucional de mejorar los indicadores asociados a la huella de agua para su uso público.

### Referencias

Boulay A., Bare J., De Camillis C., Döll P., Gassert F., Gerten D., Humbert S., Inaba A., Itsubo N., Yan L., Margni M., Motoshita M., Núñez M., Pastor A., Ridoutt B., Schencker U., Shirakawa N., Vionnet S., Worbe S., Yoshikawa S., Pfister S. 2015. *Consensus building on the development of a stress-based indicator for LCA-based impact assessment of water consumption: outcome of the expert workshops*. Int. J. L. C. Assess. 20(5) 577-583. En: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-015-0869-8>

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2013. *Zonificación y codificación de cuencas hidrográficas e hidrogeológicas*. Bogotá : s.n., 2013.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2015. *Estudio Nacional del Agua*. 2014.

ISO. 2014. *ISO 14046 : Water footprint, guidelines and requirements*. 2014.  
WULCA. Water Use in Life Cycle Assessment. *The AWARE method*. [En línea] <http://www.wulca-waterlca.org/project.html>.