

## Metodología para medir en ríos la disponibilidad del agua, usos y factores de variación del recurso hídrico

*Methodology to measure the availability of water, uses and  
factors of variation of the water resource in rivers*

Socorro Menchaca-Dávila <sup>a</sup>  
Victoria Ulloa-Gutiérrez <sup>b</sup>  
Joaquín Jiménez-Huerta <sup>c</sup>

**Recibido:** 20 de septiembre de 2021

**Aceptado:** 7 de octubre de 2021

---

<sup>a</sup> Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, México. Contacto: [socorro.menchaca@gmail.com](mailto:socorro.menchaca@gmail.com) | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4471-9602>

<sup>b</sup> Universidad Politécnica de Tapachula Chiapas. Colaboradora del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz del Centro de Ciencias de la Tierra, UV, México. Contacto: [uogv12@gmail.com](mailto:uogv12@gmail.com)

<sup>c</sup> Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, México. Contacto: [jojimenez@uv.mx](mailto:jojimenez@uv.mx)

**RESUMEN:** En este texto se presenta la metodología para medir el comportamiento de ríos respecto a la disponibilidad del agua en relación al caudal y precipitación, los usos comunitarios del recurso hídrico, así como los factores naturales y antrópicos que pueden incidir en la variación del recurso hídrico. Se señala que la metodología está siendo implementada en el contexto del Observatorio del Agua (OABCC) en el río Pixquiac, Coatepec, Veracruz, obteniendo buenos resultados.

**Palabras clave:** Metodología; ríos; caudal; usos; sequía; observatorio.

**ABSTRACT:** *The methodology to measure the behavior of rivers is presented, determining the availability of water in relation to the flow and precipitation, the community uses of the water resource, as well as the natural and anthropic factors that can influence the variation of the water resource. It is noted that the methodology is being implemented in the context of the Water Observatory (OABCC) in the Pixquiac River, Coatepec, Veracruz, obtaining good results.*

**Keywords:** *Methodology; rivers; flow; uses; drought; observatory.*

## Introducción

**T**ENDENCIAS y escenarios respecto a la disponibilidad del agua indican que está disminuyendo en cantidad y calidad por múltiples factores naturales y antrópicos (Perspectivas del Medio Ambiente Mundial: medio ambiente y desarrollo GEO – 4, 2007). México, según el Ecoespaña-Instituto de Recursos Mundiales (2015), se ubica en el lugar número 34 de 161 naciones evaluadas que podrían enfrentar escasez de agua significativos, incluso el país ya enfrenta altos niveles de escasez por porcentajes que fluctúan entre el 40 al 80 por ciento en el territorio, cuestión que tiene repercusiones significativas tanto en el presente como en el futuro.

Aquí se señala que los factores relacionados con dicha problemática, tan compleja respecto a la disponibilidad del recurso hídrico, pueden estar asociados con los siguientes aspectos: la disminución de la cobertura vegetal y/o deforestación que afecta a los servicios ambientales de cuencas hidrológicas y bosques; las variaciones climáticas por factores antrópicos; el cambio de uso del suelo, relacionado con la producción agrícola y ganadera; la industrialización, la generación de energía eléctrica; el crecimiento de la mancha urbana; el aumento significativo de la población que demanda agua; la contaminación de las fuentes naturales del agua por usos antrópicos, entre otros (Menchaca y Uscanga, 2016).

La compleja problemática del agua representa uno de los desafíos más urgentes para su atención por parte de los gobiernos, la sociedad y las instituciones de educación superior, ya que es un recurso natural prioritario para la vida de los ecosistemas, flora y fauna; y también, porque es básico para el bienestar humano y para las actividades relacionadas con la producción de bienes y servicios, básicos para el desarrollo y crecimiento económico de los países. Por lo anterior, su atención implica estudiar los factores relativos a los ámbitos de carácter ambiental, social y económico, los que se deben identificar, medir, analizar e interpretar, bajo el enfoque diacrónico para comprender la problemática sobre la variación de la disponibilidad del agua en los cuerpos

naturales, y proponer medidas de gestión y manejo del recurso hídrico que incidan en su preservación.

Lo establecido anteriormente implica, para su estudio, al menos los siguientes ámbitos de conocimiento, mismos que están en interrelación y son interdependientes en el contexto de la problemática que se establece en el ámbito de la disponibilidad del agua en cantidad y calidad, para los distintos usos del recurso hídrico, mismos que están en los contextos ambiental, social y económico que se relacionan con los siguientes ámbitos de conocimiento: hidrología, ecología, geomorfología, usos del agua: agrícola, pecuario, acuacultura, doméstica, entre otras; es decir, actividades que se hacen tanto para uso humano como las de carácter económico.

Respecto a los de carácter ambiental, se señala la interrelación que se establece en ámbitos que constituyen grande campos de conocimiento como es ecohidrología y la hidrogeomorfología lo que en conjunto establecen la estructura y el funcionamiento del complejo sistema hídrico fluvial de los ríos; por otra parte, están los ámbitos social y económico, los que se consideran en la metodología que se presenta ahora para medir en ríos la disponibilidad del agua, usos y factores de variación del recurso hídrico.

A continuación, se presentan los ámbitos que se utilizan para el estudio y/o la investigación de los cuerpos de agua denominados o caracterizados como ríos, mismos que se conceptualiza como una imbricación de distintas unidades de carácter espacial que se interconectan por diferentes flujos de agua que integran sedimentos y factores biológicos, en un cauce, ribera, área riparia, y una llanura de inundación (Hernández y Nélida, 2018).

## 1. Variables e indicadores de medición y proceso metodológico

### 1.1. Disponibilidad de agua

En diversas regiones del mundo y de México, se registran ya condiciones de escasez de disponibilidad de agua que se espera se incremente debido al cambio climático antrópico, el crecimiento demográfico, la creciente concentración de población urbana, los impactos y afectaciones a los servicios ambientales ecosistémicos, la contaminación de cuerpos de agua y la sobreexplotación de los recursos hídricos, aunado a una pobre cultura en el cuidado y buen uso del recurso (Martínez y Patiño, 2012). Por lo anterior, es de suma importancia la realización de estudios que ayuden a la detección, cuantificación y variación de la disponibilidad del agua tanto en cantidad como en calidad.

Se presenta la variable disponibilidad de agua, su definición conceptual y los indicadores (**Tabla 1**).

**Tabla 1**

*Definición e indicadores de disponibilidad del agua*

Variable	Definición conceptual	Indicadores
Disponibilidad de agua	La disponibilidad hídrica refleja el estado general del comportamiento hidrológico natural de la cuenca en relación con las actividades humanas, proveyendo de una evaluación que califica el estado promedio de dicha relación (Conagua-IMTA, 2015).	El análisis se basa en el cálculo e interpretación de: Caudal de agua (unidad de volumen dividida por la unidad de tiempo representado en m <sup>3</sup> /s).  Precipitación mensual acumulada en estaciones climatológicas ubicadas en los alrededores de la zona de la zona de estudio (milímetros por metro cuadrado en unidad de tiempo).  Características de la calidad de agua.

Fuente: elaboración propia.

En el procedimiento metodológico para evaluar la disponibilidad de agua en un río se desarrollan las siguientes consideraciones:

1. El cálculo del caudal de un río se realiza por medio del aforo de su corriente, donde es importante considerar la velocidad de tránsito de la misma y el área del cauce del río, de acuerdo con Ven Te Chow (1994).
2. Para la determinación del área del cauce del río y la velocidad de tránsito del agua, se ubican puntos de muestreo, tomando en cuenta su facilidad de acceso y ligera uniformidad orográfica.
3. En los puntos de muestreo se toman medidas de profundidad subdividiendo en dovelas el cauce total del río, en cada una de las dovelas se registra la velocidad media del flujo de agua haciendo uso de un caudalímetro o flujómetro.
4. Para obtener el caudal se aplica la ecuación de continuidad, la cual establece que la sumatoria del producto del área de cada dovela multiplicada por la velocidad del flujo de agua en esa sección, permitirá obtener el caudal total del río.
5. El análisis de la variación del patrón de precipitación, se realiza por medio de la base de datos estadísticos climatológicos provenientes del Servicio Meteorológico Nacional, la cual es un conjunto de datos de precipitación de carácter mensual ordenados anualmente, registrados en estaciones climatológicas que se encuentran en las cercanías o al interior de la zona de estudio
6. Los acumulados por año y promedios mensuales de cada estación climatológica, son ingresados a un sistema de información geográfica ArcGIS, para obtener una mejor aproximación de la cantidad de precipitación y su distribución dentro de la zona de estudio. Se utiliza el método de

interpolación Distancia Inversa Ponderada (IDW, por sus siglas en inglés) para generar un mapa de contornos, donde se trazan líneas que unen puntos de igual valor, posteriormente se aplica un gradiente de valores de precipitación en el área. De esta manera, se obtienen los promedios de precipitación mensual y anual en la zona de estudio.

7. El análisis de la calidad del agua se realiza de acuerdo con las características que alcanzan el límite o superan los máximos permisibles establecidos en los Criterios Ecológicos para la Calidad del Agua (CE-CCA) y/o en la NOM-127-SSA1-1994. Considerando las características del agua, clasificadas en fisicoquímicos, metales y microbiológicos.
8. Posteriormente, se utilizan métodos de estadística descriptiva en los datos obtenidos para determinar el promedio, desviación estándar y valores máximos de cada característica de calidad del agua.
9. Se analiza de forma gráfica las concentraciones observadas de las variables de calidad del agua entre los sitios de muestreo para el periodo de tiempo analizado. Comparando las concentraciones máximas que alcanzan, sus variaciones a lo largo del tiempo, así como sus tendencias.

## 1.2 Usuarios del agua

El ciclo natural del agua es alterado por el cambio climático antrópico y las múltiples actividades de los usuarios del agua, que impactan y afectan a los servicios ambientales. Asimismo, la presión sobre los recursos hídricos por parte de los sectores sociales y económicos es fuerte, ya que tanto la oferta como la demanda del recurso hídrico, no se regula. Por otra parte, el saneamiento en ocasiones es insuficiente por la limitada cobertura de drenaje conectado a la red pública sobre todo en zonas rurales y la falta de tratamiento de las aguas residuales. Por lo anterior, es necesario identificar los usos del agua que determinan múltiples condicionantes sobre la disponibilidad en cantidad y calidad. A continuación, se presenta la variable de usos de agua, su definición conceptual y los indicadores (**Tabla 2**).

**Tabla 2**

*Definición e indicadores de Usuarios del agua*

Variable	Definición conceptual	Indicadores
Usuarios del agua	<p>El uso es la aplicación del agua a una actividad.</p> <p>Se tienen clasificados los usos del agua, mismos que para fines prácticos se han agrupado en usos consuntivos y no consuntivo (CONAGUA, 2017).</p>	<p>Actividades agrícola, pecuaria, acuacultura, doméstica, industria, comercio, servicios, entre otros, que utilizan el recurso hídrico de un río.</p>

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento metodológico para identificar los usos del agua en un río se desarrolla mediante las siguientes acciones:

1. Identificación del uso de suelo en el contexto o territorio del cuerpo de agua, mediante visitas de campo en la zona de estudio
2. Las zonas de aforo en el río son puntos de georreferenciación útiles para identificar en las imágenes de satélites el rango del espectro electromagnético y clasificar la totalidad del área de estudio por medio del sistema de información geográfica ArcGIS. Las características de cada punto son: latitud, longitud, altitud, clasificación, tipo de cultivo y descripción.
3. La clasificación de cobertura de suelo es la siguiente: agrícola, pecuaria, bosque, zona urbana.
4. Esta información se ingresa al ArcGIS para realizar la clasificación supervisada de los usos de suelo al menos en cinco años en la zona de estudio.
5. Se comprueba que dicha información coincida con imágenes satelitales Landsat correspondientes al mismo periodo utilizado.
6. Se clasifica el uso de suelo a través de sistemas de información geográfica, obteniendo los usos agrícolas, pecuario, asentamientos humanos y bosques.
7. Dicha información se comprueba con trabajo de campo para verificar con la población otros tipos de usos del agua, como pueden acuacultura, servicios, industria, etc.

### 1.3. Factores relacionados con la variación de la disponibilidad de agua

Resulta eficiente y eficaz identificar los factores naturales y antrópicos que intervienen en la variación de la disponibilidad del agua, mediante la opinión y la percepción comunitaria, ya que son las personas que habitan en la zona aledaña o que vive geográficamente en la ribera del río las que cuentan con la información sobre los problemas ambientales debido a que tienen una relación de proximidad con los recursos naturales, y porque son los habitantes quienes los usan de manera permanente como es el agua, ya que está presente en su vida cotidiana (Menchaca y Zapata, 2021). Esto se realiza como un diagnóstico que tiene una gran utilidad e incluso es utilizado como una valiosa herramienta para identificar el riesgo que proviene de un espacio natural, como puede ser la escasez del recurso natural.

Se presenta a continuación la variable de factores de variación del agua, su definición conceptual y los indicadores de medición (**Tabla 3**).

**Tabla 3**  
*Definición e indicadores de Factores de variación del agua*

Variable	Definición conceptual	Indicadores
Factores de variación del agua	Son todos aquellos factores que afectan al suministro disponible anual de agua. Estos factores pueden ser de carácter natural o antropogénico (Freire et al., 2011).	*Opinión de la comunidad sobre factores naturales y antrópicos relacionados con la variación del agua. *Presión sobre los usos del agua (usos consuntivos y extracción de agua del agua del río). *Desvío de cauce del río. *Antropización de la zona riparia. * Cambio de usos de suelo. *Eventos de sequía *Percepción sobre la disminución del agua.

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento metodológico para identificar los usos del agua en de un río se desarrollan las siguientes acciones:

1. Elaboración de un cuestionario con preguntas abiertas y cerradas para medir la opinión y percepción de los factores naturales y antrópicos que se aplica a la población aledaña al cuerpo de agua, de acuerdo con los siguientes indicadores: usos consuntivos (agrícola, pecuario, acuícola, doméstico, servicios, comercio, industrial); factores antrópicos relacionados con la variación del agua (frecuencia del uso del recurso hídrico, extracción de agua del río, desvío del cauce, contaminación del agua); y factores naturales relacionados con la variación en cantidad del agua (disminución en la disponibilidad de agua en los últimos años, así como la identificación de resumideros).
2. La identificación de la intervención antrópica en la zona riparia, en términos exploratorios por recorridos en la ribera del río, en relación a la invasión en el contexto de la cobertura vegetal riparia y en la planicie inundable en la ribera del río.
3. Respecto al muestreo para la aplicación del instrumento de investigación, se establece de acuerdo al número de población que vive en al margen del río. La selección de la población puede ser de carácter propositivo y/o conveniencia.
4. La clasificación de cambio de uso de suelo, se establece mediante información georeferenciada del INEGI de acuerdo con las imágenes satelitales de acceso gratuito Geomediana LANDSAT, del sitio web del INEGI. Las imágenes satelitales utilizadas para realizar la clasificación de la cobertura y

uso de suelo se utilizan para formar un mosaico elaborado a partir de imágenes de satélite Geomediana de INEGI, que deben de coincidir con el periodo establecido en la variable de usos del agua, y de acuerdo con las siguientes características: sin nubosidad, resolución espacial de 10 m x 10 m y resolución espectral multibanda. Las imágenes son separadas por bandas para utilizar las tres que contienen los datos del satélite landsat: B1 verde, con resolución espectral de 0.50 a 0.59  $\mu\text{m}$ ; B2 rojo, con resolución espectral de 0.61 a 0.68  $\mu\text{m}$ ; y B3 de infrarrojo cercano, con resolución espectral de 0.78 a 0.89  $\mu\text{m}$ . Las bandas se eligen de acuerdo al espectro electromagnético más relevante para la detección de la cubierta superficial y la clasificación del uso de suelo.

## 2. El enfoque metodológico y consideraciones finales

La relación del hombre y/o sociedad con el medio ambiente, implican invariablemente problemáticas de carácter complejo, como son los que se ubican en el contexto de las múltiples temáticas del agua, que establecen de manera determinante la interrelación e interdependencia de los ámbitos del medio ambiente, social y económico, por lo que es necesario desarrollar el enfoque interdisciplinario para la generación de conocimientos ambiental y socialmente útiles.

La investigación de objetos de estudio complejos como los ríos, muestra la necesidad de articular distintos campos de conocimiento para comprender los diversos factores que determinan los fenómenos como la disponibilidad del agua en cantidad y calidad, así como las afectaciones antrópicas, lo que permite identificar y proponer posibles respuestas útiles para la solución de los problemas que se abordan en su contexto de aplicación.

Se señala aquí, que la investigación bajo el enfoque interdisciplinario en relación a objetos de estudio complejos como es la disponibilidad del agua y sus usos es indispensable y/o fundamental, ya que permite una mayor comprensión respecto a los problemas, cuya clave son los impactos y afectaciones que generan las actividades humanas en relación con los cuerpos de agua y las implicaciones que tienen en la ecohidrología; y también el estudio del comportamiento de los factores relacionados con la hidrogeomorfología, aspectos que determinan la disponibilidad de agua en cantidad y calidad.

Se señala que, el OABCC está desarrollando la metodología que aquí se expone en un proyecto de carácter diacrónico sobre la problemática natural y antrópica de la disponibilidad de agua en el contexto del río Pixquiac, cuerpo de agua que es importante porque mediante el sistema hidrológico de la región conecta la montaña del Cofre de Perote con las Costas del Puerto de Veracruz, ubicados en la Cuenca de la Antigua, por los servicios ambientales que tiene y los beneficios que brinda a los usuarios del agua en la región que comprenden los municipios de Tlalnelhuayocan y Coatepec, Veracruz.

La relevancia del estudio se basa en que el río presenta sequía hídrica desde hace cinco años, siendo un río perenne, además de que la comunidad percibe que está disminuyendo la disponibilidad de agua en el cuerpo de agua. Cabe señalar también, que, a partir de los resultados, se establece la necesidad de ampliar el proceso metodológico que se presenta, para incluir el diagnóstico en la zona

riparia de interés, para valorar las condiciones ecológicas del río e identificar la problemática y proponer estrategias de restauración y conservación.

## Referencias

- Comisión Nacional de Agua [CONAGUA].** (2017). Usos del agua. Capítulo 3. *Estadísticas del Agua en México*. Conagua, Semarnat.
- CONAGUA-IMTA** (2015). Estudio para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales en las cuencas de las regiones hidrológicas 10 y 11, Pacífico Norte. México, D.F. Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Ecoespaña-Instituto de Recursos Mundiales (WRI)** en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Banco Mundial. (2015). *Recursos mundiales: La riqueza del pobre–Gestionar los ecosistemas para combatir la pobreza*. Madrid-Washington, DC: ECOESPAÑA-WRI.
- Hernández, V., Nélica C.** (2018). Ríos y su territorio. Espacio de libertad: Un concepto de gestión. *Terra Nueva Etapa*, 34(56).  
<https://www.redalyc.org/journal/721/72157132006/72157132006.pdf>
- Martínez, A. y Patiño, G.** (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 3(1), 5-20.  
<http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1>
- Menchaca, S., y Uscanga, A.** (2016). *Cultura del agua para la gobernanza en la gestión integral de los recursos hídricos*. SEMARNAT, Universidad Veracruzana: Veracruz, México. 112.
- Menchaca, S., y Zapata, K.** (2021). Percepción comunitaria sobre el agua en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México. *UVserva*. (11), 77-92. <https://doi.org/10.25009/uvs.v0i11.2776>
- Perspectiva del medio ambiente mundial GEO4 Medio ambiente para el desarrollo.** Resumen para los tomadores de decisiones (2007). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. Primera edición por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Ven Te Chow** (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. McGraw Hill, Santa Fe de Bogotá, Colombia.