



Artículo de investigación

Índice de escasez. Una herramienta para la gestión del recurso hídrico en la ciudad de Encarnación

Scarcity index. A water resource management tool for the city of Encarnación

Tatiana Wieczorko*^{ORCID}, Estelvina Rodríguez^{ORCID} y María Ríos^{ORCID}

Universidad Nacional de Itapúa, Facultad de Ciencias y Tecnología, Encarnación, Paraguay.

*Autor de correspondencia: Tatiana Wieczorko; tatianawieczorko@facyt.uni.edu.py

Recibido: 06/07/2024 **Aceptado:** 11/11/2024

Resumen

El índice de escasez se calcula analizando la relación entre la disponibilidad de agua y la demanda generada por las actividades socioeconómicas. Cuando la demanda de agua supera el 20% de la disponibilidad neta en una región, este índice alerta sobre la necesidad de gestionar adecuadamente los recursos. Esto incluye la protección de las fuentes hídricas y el control de la demanda, así como, en situaciones críticas, la búsqueda de fuentes adicionales para disminuir el riesgo de desabastecimiento futuro. El objetivo de este estudio es estimar el índice de escasez de agua superficial en la ciudad de Encarnación. Este índice se estimó utilizando la fórmula propuesta por Domínguez y colaboradores (1) y se valoró según la metodología del IDEAM (2). Al relacionar la oferta hídrica superficial neta con la demanda total, se obtuvo un índice de escasez del 5,46%, lo que indica una presión mínima sobre los recursos hídricos. Se recomienda implementar acciones para proteger, recuperar y mantener las fuentes de abastecimiento de la ciudad. Además, se sugiere la instalación de estaciones de monitoreo hidrometeorológicas, especialmente en las cuencas abastecedoras de la zona, para mejorar la precisión y confiabilidad de las evaluaciones hídricas.

Palabras clave: agua superficial, escasez, gestión, índice, Paraguay.

Abstract

The scarcity index is calculated by analyzing the relationship between water availability and the demand generated by socioeconomic activities. When water demand exceeds 20% of the net water availability in a region, this index alerts about the need to manage resources adequately, which includes the protection of water sources and demand control, as well as the search for additional sources of water to reduce the risk of future shortages during critical situations. This study aims to estimate the surface water scarcity index in the city of

Encarnación. This index was estimated using the formula proposed by Domínguez and collaborators (1) and was assessed according to the IDEAM (2) methodology. Relating the net surface water supply of Encarnación to the total demand for water, the estimated scarcity index is 5.46%, which indicates minimal strain pressure on water resources. Implementing actions to protect, recover and maintain the city's supply sources is recommended, in addition to installing hydrometeorological monitoring stations, especially in the supply basins of the area, to improve the precision and reliability of water evaluations.

Keywords: superficial water, scarcity, management, index, Paraguay.

1. Introducción

Debido al aumento de la población, el desarrollo socioeconómico y el cambio en los modelos de consumo, a nivel mundial el uso del agua ha aumentado 1% anualmente desde los años 80 del siglo pasado (3). Más de 2 mil millones de personas habitan en naciones con una significativa carencia de agua, y alrededor de 4 mil millones de personas experimentan severa escasez de agua, al menos un mes al año. Estos niveles de escasez continuarán incrementándose conforme aumente la demanda de agua y se intensifiquen los impactos del cambio climático (3).

La presión excesiva sobre una fuente de agua puede llevar a su agotamiento. Por esta razón, es fundamental para la planificación sostenible de los recursos hídricos comprender la situación de demanda, la disponibilidad y las limitaciones de uso requeridas para mantener la salud de la fuente abastecedora. Esto implica que, es vital que los cuerpos de agua conserven un flujo adecuado para cubrir las necesidades hídricas de los ecosistemas garantizando su productividad, estabilidad y biodiversidad, además de abastecer a las personas y las industrias (1).

América Latina y el Caribe se destacan como la región del mundo con la mayor disponibilidad de agua, alcanzando un promedio de aproximadamente 24.400 m³ por persona (4). Sin embargo, esta cifra es solo un promedio y presenta variaciones significativas entre los diferentes países y, en ocasiones, dentro de las propias naciones. En ciertas áreas, los patrones de uso del agua han llegado a ser insostenibles, lo que plantea serios desafíos para la gestión de este recurso vital.

Uno de los parámetros para la gestión de los recursos hídricos es el índice de escasez para aguas superficiales, cuya metodología de cálculo fue propuesta por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y adoptada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (5). Éste, se define como el porcentaje que representa la demanda de agua de todas las actividades sociales y económicas realizadas en una región en comparación

con la oferta hídrica disponible. Esta metodología es una herramienta ampliamente utilizada a nivel nacional en Colombia (1, 6–9).

Este índice se desarrolló basándose en las relaciones de presión sobre los recursos hídricos descritas por Delgado y Quintana (10), y en la Evaluación General de los Recursos de Agua Dulce del Mundo (11). Se sugiere que existe escasez de agua cuando la extracción de las fuentes disponibles es tan elevada que genera tensiones entre el suministro requerido para las necesidades humanas, los ecosistemas, los sistemas productivos y las demandas futuras previstas (9).

Aunque el índice de escasez puede parecer muy riguroso al activar alertas cuando la demanda alcanza el 20% de la oferta neta, es crucial recordar que estos umbrales están basados en las recomendaciones del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (12). Estos umbrales son conservadores porque deben considerar las limitaciones del indicador, como la dificultad para incluir adecuadamente todos los factores que disminuyen la oferta total al calcular la oferta neta y la incertidumbre asociada a la escala de la información disponible (1). La situación en Paraguay es compleja y se ve agravada por la falta de un manejo adecuado de sus recursos hídricos, a pesar de su notable potencial. Aunque el país podría beneficiarse de su disponibilidad hídrica, la falta de un conocimiento suficiente sobre la cantidad y calidad de estos recursos son una limitante. Para lograr un balance hídrico efectivo, es necesario contar con datos actualizados que permitan confrontar la oferta y la demanda del agua en todos sus usos y por cuencas, asegurando así un aprovechamiento racional y sostenible del recurso.

A nivel nacional, los estudios que cuantifican los recursos hídricos son limitados, lo que agrava la situación. Esta falta de información se complementa con la ausencia de registros sobre el consumo de agua por sector, siendo las actividades agrícolas e industriales las que más demandan este recurso. En este contexto, la configuración urbana y rural de Encarnación, situada en las cuencas de los arroyos Mboi Cae y Quiteria, enfrenta una elevada presión antrópica sobre sus sistemas hídricos. De hecho, 85% del territorio de la ciudad se encuentra dentro de estas cuencas (13), lo que resalta la necesidad urgente de una gestión eficiente y sostenible del agua en la región.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de la presente investigación es estimar el índice de escasez de agua superficial en Encarnación. Esto constituye la principal herramienta para evaluar si el recurso hídrico de la ciudad es suficiente o deficitario, representando un soporte de planificación, desarrollo y uso racional y eficiente del agua (8).

2. Materiales y Métodos

2.1 Método

Una vez que se han llevado a cabo las mediciones, cálculos y análisis correspondientes a la oferta hídrica superficial neta (14) y la demanda de agua de la ciudad de Encarnación para el año 2023 (15), se estimó el índice de escasez a partir de la expresión matemática expresada en la Ecuación 1, obtenida de Domínguez y colaboradores (1):

$$I_e = \left(\frac{D}{O_n}\right) \times 100\% \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

I_e = índice de escasez (%);

D = Demanda de agua (m^3);

O_n = Oferta hídrica superficial neta (m^3).

Para calcular la oferta hídrica, se consideraron diversos factores biofísicos, incluyendo temperatura, precipitación, evaporación, evapotranspiración, red hídrica, escurrimiento superficial, geología, geomorfología y cobertura vegetal. Para calcular la demanda hídrica, se tuvieron en cuenta aspectos socioeconómicos y culturales como demografía, infraestructura de servicios públicos, y actividades productivas y sociales (10).

Finalmente, se valoró el índice de escasez, según la propuesta del IDEAM (2), quien introdujo la escala de valoración que se presenta a continuación para las categorías del índice de escasez:

- a. Alto: la demanda supera el 50% de la capacidad potencial de la fuente hídrica.
- b. Medio-Alto: la demanda se encuentra entre el 21% y 50% de la disponibilidad neta.
- c. Medio: la demanda hídrica oscila entre el 11% y 20% de la oferta neta.
- d. Mínima: la demanda representa entre el 1% y 10% del volumen disponible de la fuente.
- e. No significativo: la demanda es inferior al 1% de la oferta neta de agua.

2.2 Área de estudio

La ciudad de Encarnación es la capital del departamento de Itapúa, está situada al sudeste del Paraguay sobre el margen oeste del río Paraná del cual se abastece, tiene una superficie total de 27.384 ha (16) de las cuales 23.268 ha son parte de las cuencas de los arroyos Quiteria y Mboi Cae (ver Figura 1). Posee una población de 143.281 habitantes (13).

De acuerdo a los estudios del proyecto de Racionalización de Uso de la Tierra (17), los tipos de suelo predominantes en el distrito de Encarnación son el Ultisol, Oxisol y Entisol. Según el origen del suelo, predomina el basalto y en menor proporción se encuentra el sedimento aluvial; el drenaje va desde excesivo hasta muy pobre; posee una pendiente predominante de 3-8%; una rocosidad moderada y en partes nula; los paisajes que predominan son las lomadas

y llanuras. Prevalcen las tierras agrícolas forestales o de producción y las áreas urbanas, en pequeña proporción están las tierras pecuarias.

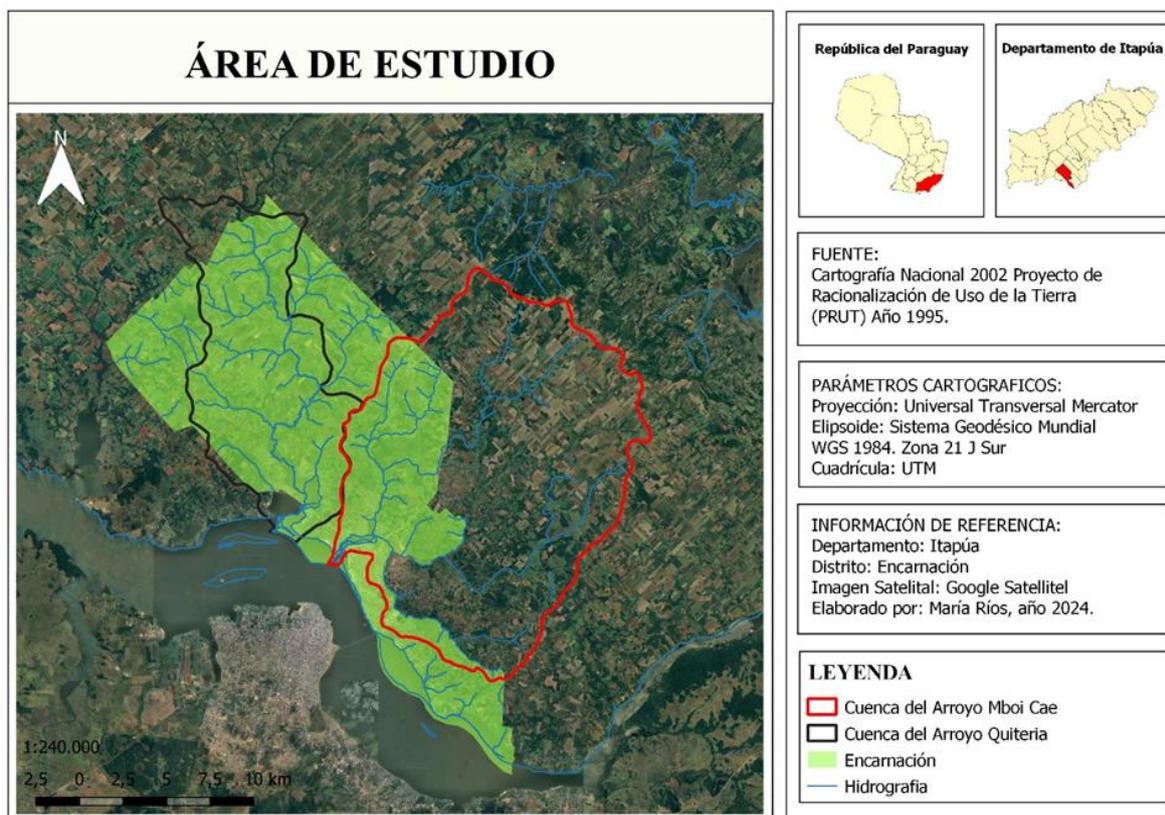


Figura 1. Delimitación del área de estudio.

3. Resultados y Discusión

Relacionando la oferta hídrica superficial neta de la ciudad de Encarnación de 964.164.319 m³ (14) con la demanda total de agua de 52.688.940,78 m³ (15) el índice de escasez estimado es de 5,46%.

Este índice calculado de manera global para la ciudad de Encarnación presenta un porcentaje entre del 1 y 10%, correspondiente a una categoría mínima de presión sobre el recurso hídrico, denotando una demanda muy baja en relación a la oferta hídrica superficial (5). Aunque las cuencas de los arroyos Mboi Cae y Quiteria tienen una oferta hídrica adecuada que no supera la demanda actual, hasta ahora no ha sido necesario implementar medidas de seguridad. Sin embargo, es crucial empezar a considerar la implementación de almacenamiento de agua para épocas de sequía.

Smith y colaboradores (18), señalan que algunos de los paradigmas más recientes en la gestión global del agua se centran en promover una mayor integración en la implementación

de políticas relacionadas con la tierra y el agua. Esto implica la necesidad de establecer conexiones entre la gestión del agua y la planificación del uso del suelo (10).

Un estudio de Kölbl y colaboradores predice que para el año 2050 la escasez de agua continuará en aumento, con aproximadamente el 52% de la población mundial residiendo en áreas con estrés hídrico (19) y debido al cambio climático, aproximadamente 685 millones de personas en más de 570 ciudades enfrentarán una reducción adicional de al menos el 10% en la disponibilidad de agua dulce (20).

El índice de escasez, en esta ocasión, emite una advertencia temprana para que los responsables de la toma de decisiones comiencen a implementar los procedimientos necesarios para reducir la vulnerabilidad de los sistemas que gestionan (7).

4. Conclusiones

Para Encarnación el índice es mínimo, no obstante, considerando la posición geográfica, la oferta debería ser muy superior a la demanda hídrica. Por lo tanto, es necesario adoptar acciones para preservar, restaurar y/o conservar las fuentes de agua de la ciudad (6). Se recomienda instalar estaciones de monitoreo hidrometeorológico, especialmente en las cuencas abastecedoras de la zona, para aumentar la precisión y confiabilidad en las evaluaciones hídricas.

El índice de escasez ha ganado reconocimiento internacional por su capacidad para ilustrar la relación entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica disponible en las fuentes de abastecimiento. La escasez de agua se manifiesta cuando la cantidad extraída de ríos, acuíferos o lagos supera la capacidad de estas fuentes para suministrar agua (10).

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés con respecto a la publicación de este artículo.

Agradecimientos: Los autores agradecen al MSc. Pedro León García Reinoso y al MSc. Elkin Aníbal Monsalve Durango por su colaboración durante la realización de esta investigación.

Bibliografía

1. DOMÍNGUEZ CALLE, Efraín A, RIVERA, Hebert G, VANEGAS SARMIENTO, Raquel and MORENO, Pedro. Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Online. 2023. Vol. 32, no. 123, p. 195–212. DOI [https://doi.org/10.18257/raccefyn.32\(123\).2008.2257](https://doi.org/10.18257/raccefyn.32(123).2008.2257).
2. IDEAM. *Estudio nacional del agua. Relaciones oferta demanda e indicadores de sostenibilidad para el año 2016*. 1998.

3. UNESCO. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: no dejar a nadie atrás, resumen ejecutivo. Online. 2019. [Accessed 9 April 2024]. Available from: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303_spa
4. FERNÁNDEZ COLÓN, Gustavo. La crisis del agua en América Latina. *Revista Estudios Culturales*. Online. 2009. Vol. 2, no. 4, p. 80–96. Available from: http://servicio.bc.uc.edu.ve/multidisciplinarias/estudios_culturales/
5. MINISTERIO DE AMBIENTE, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 865. Online. 22 July 2004. [Accessed 12 April 2024]. Available from: https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambientevdt_0865_2004.htm
6. CORDOBA, Estefania. Evaluación del índice de escasez para aguas superficiales mediante el cálculo de la oferta y demanda hídrica en la microcuenca del Río Palo en el Municipio de Puerto Tejada (Cauca). Online. 2021. [Accessed 19 February 2024]. Available from: <https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/596/T%20IA-P%20184%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. COSTA, Carlos, DOMÍNGUEZ, Efraín, RIVERA, Hebert and VANEGAS, Raquel. El índice de escasez de agua ¿Un indicador de crisis ó una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico? *Revista de ingeniería*. 2005. Vol. 22, p. 104–111.
8. IDEAM. Metodología de cálculo del índice de escasez. *Diario oficial*. Online. 2004. [Accessed 2 April 2024]. Available from: https://www.nuevaleislacion.com/files/susc/cdj/conc/mc_r865_04.pdf
9. CORPONARIÑO. Plan de ordenamiento del recurso hídrico Quebrada Miraflores. Online. 2011. [Accessed 21 June 2024]. Available from: <https://corponarino.gov.co/tramites-y-servicios/tramites-ambientales/recurso-agua/porh/98>
10. DELGADO, Sandra Patricia and QUINTANA, Camilo Andrés. Determinación del índice de escasez en la cuenca del río Guachaca en el Departamento del Magdalena. Online. 2014. [Accessed 9 March 2024]. Available from: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/544/Trabajo%20de%20grado%20Indice%20de%20escasez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
11. UN-CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL. *Evaluación general de los recursos de agua dulce del mundo. Informe del Secretario General* Online. Nueva York, 1997. [Accessed 9 November 2023]. Available from: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N97/003/68/IMG/N9700368.pdf?OpenElement>
12. SHIKLOMANOV, Igor A. World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century. Online. 1998. [Accessed 9 May 2024]. Available from: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000112671>
13. INE. Instituto Nacional de Estadística. *Itapúa Proyecciones de población por sexo y edad, 2023*. Online. 2023. [Accessed 3 May 2024]. Available from: https://www.ine.gov.py/Publicaciones/Proyecciones%20por%20Departamento%202023/07_Itapua_2023.pdf

14. WIECZORKO, Tatiana, GARCÍA, Pedro, RODRÍGUEZ, Estelvina and RÍOS, María. Estimación de la oferta hídrica superficial de la ciudad de Encarnación. (en prensa) p. 1–9.
15. WIECZORKO, Tatiana and RODRÍGUEZ, Estelvina. Estimación de la demanda hídrica superficial de la ciudad de Encarnación. *Impacto Revista de Ciencia y Tecnología*. 2023. Vol. 3, no. 1, p. 1–13.
16. ECOSISTEMA URBANO. Plan Encarnación Más. *Plan de Desarrollo Sustentable y Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Encarnación, Paraguay. Diagnóstico y Objetivos - Parte 3 - Morfología Urbana*. Online. 2016. [Accessed 9 March 2024]. Available from: https://issuu.com/ecosistemaurbano/docs/03-morfologia_urbana_-_reduced/7
17. LÓPEZ, Oscar, GONZÁLEZ, Enrique, LLAMAS, Pedro, MOLINAS, Alfredo, FRANCO, Enrique, GARCÍA, Sinfiriano and RÍOS, Enrique. Proyecto de racionalización del uso de la tierra. Online. February 1995. [Accessed 9 February 2024]. Available from: <https://www.geologiadelparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-Suelos-Regi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>
18. SMITH, H. M, BLACKSTOCK, K. L, WALL, G and JEFFREY, P. River basin management, development planning, and opportunities for debate around limits to growth. *Journal of Hydrology*. Online. 2014. Vol. 519, no. 27, p. 2624–2631. [Accessed 2 October 2023]. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.022>.
19. KÖLBEL, J, STRONG, C, NOE, C and REIG, P. World Resources Institute. *Mapping Public Water Management by Harmonizing and Sharing Corporate Water Risk Information*. Online. 2018. [Accessed 2 May 2024]. Available from: www.wri.org/publication/mapping-public-water
20. UNESCO. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático* Online. Paris, 2020. [Accessed 27 November 2023]. Available from: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD005103.pdf>