



*Artículo de investigación*

## **Estimación de la demanda hídrica superficial de la ciudad de Encarnación**

Tatiana Wieczorko\*<sup>ORCID</sup> y Estelvina Rodríguez<sup>ORCID</sup>

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

\*Autor de correspondencia: Tatiana Wieczorko; [tatianawieczorko@cyt.uni.edu.py](mailto:tatianawieczorko@cyt.uni.edu.py)

**Recibido:** 31/07/2023 **Aceptado:** 27/09/2023

### **Resumen**

El uso de agua es esencial para el consumo humano y el desarrollo de actividades productivas, lo que define la actividad socioeconómica de una comunidad. El distrito de Encarnación está ubicado en el sudeste de Paraguay sobre el margen oeste del río Paraná. La demanda del agua para uso doméstico, industrial, servicios, agrícola y pecuario abarca las cuencas hidrográficas de los arroyos Mboi Ka'e y Quiteria. El objetivo de esta investigación es estimar el volumen de demanda hídrica para la ciudad de Encarnación. El método empleado aplica las técnicas de medición utilizadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Los resultados estiman un valor de demanda hídrica de 52.688.940,78 m<sup>3</sup>/año, donde el 89% de la demanda se da en el sector agrícola; 9,9% para consumo doméstico; 0,37% para uso industrial; 0,23% para uso en el sector servicios y 0,19% para uso pecuario. Esta es una herramienta útil que permite visualizar la distribución del recurso hídrico en el tiempo y su comportamiento para planificar un uso sostenible del mismo. Además, comparada con la oferta hídrica, permite realizar consideraciones sobre la necesidad de tomar acciones dirigidas a reducir el riesgo de desabastecimiento futuro.

**Palabras clave:** Demanda de agua, cuenca hidrográfica, Encarnación, factores de consumo.

### **Abstract**

The use of water is essential for human consumption and the development of productive activities, which defines the socioeconomic activity of a community. The district of Encarnación is located in the southeast of Paraguay on the west bank of the Paraná River. The water demand for domestic, industrial, service, agricultural and livestock use covers the Mboi Ka'e and Quiteria stream watersheds. The objective of this research is to estimate the volume of water demand for the city of Encarnación. The method used applies the measurement techniques used by the Colombian Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies. The results estimate a water demand value of 52.688.940,78 m<sup>3</sup>/year, where 89% of the demand occurs in the agricultural sector; 9,9% for domestic consumption; 0,37% for industrial use; 0,23% for use in the services sector and 0,19% for livestock use. This is a useful

tool that allows visualizing the distribution of water resources over time and its behavior to plan its sustainable use. In addition, compared with the water supply, it allows considerations to be made about the need to take actions aimed at reducing the risk of future shortages.

**Keywords:** Water demand, watershed, Encarnación, consumption factors.

## 1. Introducción

La principal problemática en torno al agua se debe a que se encuentra en el planeta en gran cantidad, pero en su mayor parte no es apta para el consumo humano y cada veinte años se duplica su demanda (1). Nos encontramos frente a un recurso que antes era considerado infinito y/o renovable y hoy esas consideraciones han cambiado.

A pesar de las mejoras significativas en la infraestructura, los planes actualizados de gestión y las soluciones tecnológicas que mejoran la eficiencia en el uso del agua, la escasez sigue siendo una preocupación importante en varias partes del mundo, catalogada como uno de los mayores riesgos globales durante la próxima década (2).

La escasez de agua impone fuertes limitaciones en términos de integridad social y desarrollo económico. El principal sector afectado es la agricultura, que representa más del 80% del uso total del agua. El uso doméstico también sigue una tendencia creciente a lo largo de los años debido al crecimiento de la población, los requisitos del nivel de vida y el aumento de la temperatura. El uso inadecuado en estos sectores señalados anteriormente influye en la alteración del ciclo hidrológico, lo cual provocará fuertes cambios en la disponibilidad y la demanda hídrica, e intensificará los conflictos entre los usuarios (2).

Los antecedentes indican que las causas más significativas que convierten al agua en una fuente de rivalidad estratégica internacional son el grado de su escasez y que su abastecimiento se comparte entre más de un estado, el poder relativo de los estados en la cuenca y la facilidad de acceso a determinada cuenca (1). Por lo tanto, es importante abarcar los aspectos de demanda y oferta, caracterizar los principales usos y gestionar las fuentes para coadyuvar en la gestión eficaz de este recurso. En ese sentido, uno de los aspectos referentes al uso es el requerimiento de una población determinada.

La demanda hídrica se define como la extracción de agua del sistema natural destinada a suplir las necesidades o requerimientos del consumo humano y la producción sectorial (3). La cuantificación de la demanda hídrica integra las actividades que requieren del recurso hídrico, demostrando su distribución en el tiempo y su comportamiento para planificar un uso sostenible del mismo.

Dado que el agua es un factor vital, su escasez puede estar asociada a diferentes impactos y circunstancias. Debe hacerse una primera distinción entre los diferentes usos del agua y el

impacto de su escasez sobre las personas o la sociedad. Se pueden distinguir cinco categorías de demanda hídrica: en el sector agrícola, se establece en función de las necesidades de riego de los diferentes cultivos (4); en el sector pecuario, se define en términos del consumo de agua del hato y se realiza mediante la adopción de módulos de consumo aplicados diferencialmente en la cadena de producción. Se agrega así el volumen de agua utilizada en las fases de crecimiento, terminación y de sacrificio, y en los lugares de manejo y beneficio de la población pecuaria (3); en el sector doméstico, el uso de agua para beber es el más vital e inelástico y ha sido considerado como un derecho humano (4). Además, existen otros usos domésticos vitales del agua, principalmente para cocinar, con fines higiénicos y para lavar ropa; para el sector industrial, se refiere a los usos del agua que forman parte de la producción de bienes por parte de personas que dependen económicamente de ello (4); y en el sector de servicios, se refiere a la cantidad de agua consumida en comercios, transporte y almacenamiento, comunicaciones, bancos, seguros y servicios a empresas (5).

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (10), Paraguay tiene una economía de producción primaria, mayoritariamente agrícola y forestal, con una baja industrialización de los productos. El Departamento de Itapúa, cuya capital es Encarnación, es uno de los principales productores del país, y con el más alto nivel de transformación de productos primarios. La población se dedica a la producción primaria y a los servicios relacionados a esta producción (11).

En el enfoque de gestión integral de recursos hídricos, uno de los factores más preocupantes actualmente, debido a las fluctuaciones hidroclimáticas, es contar con datos fiables sobre la cantidad, calidad y demanda necesaria de agua para satisfacer las necesidades actuales y prever la sostenibilidad de la misma. La ciudad de Encarnación no cuenta con una estimación de la demanda de agua superficial por sectores. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es estimar su demanda hídrica en base a las líneas de consumo.

## **2. Materiales y Métodos**

### *2.1 Área de estudio*

El distrito de Encarnación, capital del departamento de Itapúa, está ubicado en el sudeste de Paraguay sobre el margen oeste del río Paraná. En su situación actual, el distrito tiene una superficie total de 27.384 ha, de la cual, 9% es superficie de ejido urbano y 91% rural. Se encuentra dividido en 41 barrios (6). Limita al Norte con el distrito de Fram; al Noreste con el distrito de Capitán Miranda; al Este y Sureste con el distrito de Cambyreta; al Sur y Suroeste con el río Paraná y la ciudad de Posadas, República Argentina y al Noroeste con el distrito de San Juan del Paraná.

El sistema hídrico superficial de Encarnación está comprendido principalmente de dos cuencas, la del arroyo Mboi Ka'e y la del arroyo Quiteria. Las mismas abarcan áreas densamente antropizadas, lo cual conlleva importantes implicancias sociodemográficas, afectando a numerosos asentamientos humanos y a más del 85% del territorio municipal de Encarnación (7).

## 2.2 Metodología

El volumen de agua usada para el desarrollo de actividades socioeconómicas es el resultado de las mediciones efectuadas por los usuarios y reportadas a las instituciones relacionadas y autoridades ambientales (8).

Como Paraguay no cuenta con un sistema de información continua y sectorial de uso del agua, ni ha contabilizado históricamente el agua usada de fuentes superficiales, se estimó el volumen de agua demandada a nivel sectorial. Estas estimaciones se basaron principalmente en la asociación de dos variables: el volumen de producción sectorial y un factor de consumo de agua por tipo de bien. Se utilizaron fuentes primarias como planillas de consumo y entrevistas. Los datos han sido validados por el factor de consumo de las fórmulas aplicadas. Se tomó como referencia aquellos establecimientos que proporcionaron información directa para escalar la variable a una aproximación general. No se contemplaron las pérdidas de los sistemas de conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución del agua en ninguno de los sectores de demanda; tampoco el nivel tecnológico, los métodos de producción limpia y el uso del agua que hace la industria extractiva.

En este escenario, la demanda total  $D_t$  de agua se presenta en la Ecuación 1 (5, 9):

$$D_t = D_{ud} + D_{ui} + D_{us} + D_{ua} + D_{up} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:  $D_{ud}$  - Demanda de agua para consumo doméstico ( $m^3$ );  $D_{ui}$  - Demanda de agua para uso industrial ( $m^3$ );  $D_{us}$  - Demanda de agua para el sector de servicios ( $m^3$ );  $D_{ua}$  - Demanda de agua para uso agrícola ( $m^3$ );  $D_{up}$  - Demanda para uso pecuario ( $m^3$ ).

El cálculo de la demanda de agua para consumo doméstico  $D_{ud}$  ( $m^3$ ) se realizó utilizando la Ecuación 2 (9):

$$D_{us} = D_{pcu} \times n_{hu} + D_{pcr} \times n_{hr} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:  $D_{PCU}$  - demanda per cápita urbana (L/hab x día),  $n_{hu}$  - Número de habitantes urbanos (hab);  $D_{pcr}$  - Demanda per cápita rural (L/hab x día);  $n_{hr}$  - Número de habitantes rurales (hab). La demanda de agua para uso industrial ( $m^3$ ) se calculó utilizando la Ecuación 3:

$$D_{ui} = \sum_{i=1}^n V_{pi} \times F_{c_{ji}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:  $V_{pi}$  es el volumen de producción, el cual fue obtenido a partir de entrevistas,  $F_{c_{ji}}$  es el factor de consumo de agua por tipo producción, el cual fue obtenido de la literatura, y  $n$  es el número de sectores industriales considerados (5).

La demanda de agua para el sector de servicios  $D_{us}$  ( $m^3$ ) se obtiene aplicando la Ecuación 4:

$$D_{us} = \sum_{i=1}^n N_i \times F_{c_{si}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:  $N_i$  y  $F_{c_{si}}$  representan el número de establecimientos por tipo de servicio y el factor de consumo por tipo de servicio. Aquí  $n$  representa el número de tipos de servicios tomados en cuenta (5).

Los requerimientos de uso agrícola  $D_{ua}$  ( $m^3$ ) se establecieron mediante la Ecuación 5 (9):

$$D_{ua} = \sum_{i=1}^n D_{ua}^i ;$$
$$D_{ua}^i = \left\{ \begin{array}{l} 0 \rightarrow \text{Si } [P - (ETP \times Kc_i)] \geq 0 \\ \text{abs}([P - (ETP \times Kc_i)] \times ha_i) \rightarrow \text{Si } [P - (ETP \times Kc_i)] < 0 \end{array} \right\} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:  $D_{ua}^i$  - Demanda del  $i$ -ésimo cultivo;  $P$  - Precipitación anual (mm);  $ETP$  - Evapotranspiración potencial (mm);  $kc_i$  - Factor de consumo del  $i$ -ésimo cultivo;  $ha_i$  - Número de hectáreas cultivadas con él (ha);  $n$  - Número de cultivos considerados.

La demanda para uso pecuario  $D_{up}$  ( $m^3$ ) se realizó utilizando la Ecuación 6:

$$D_{up} = \sum_{i=1}^n V_{pa_i} \times F_{ca_i} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:  $V_{pa_i}$  constituye el volumen de producción por tipo de animal industrial (cabezas);  $F_{ca_i}$  es el factor de consumo según tipo de animal (L/día) y  $n$  representa el número de tipos considerados (5).

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Demanda de agua para consumo doméstico

Según las proyecciones del censo del año 2012 (12) y los datos de Ecosistema Urbano (6, 13), Encarnación posee una población de 119.337 habitantes de los cuales 96.931 residen en el sector urbano. Aunque la mayor parte de la superficie del distrito es rural, en esta zona habita la población suburbana y rural que corresponden al 9% y 10% de los habitantes totales, totalizando 22.406 habitantes.

Si bien el 83,63% de la población tiene acceso a agua potable, el 16,67% restante o no tiene acceso o no se tiene registro al respecto, lo cual podría indicar conexiones clandestinas o sistema de autoabastecimiento, probablemente a través de pozos artesianos. Del total de la

población servida, el 39,2% recibe el servicio de la Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP) y el 44,4% de prestadores que emplean aguas subterráneas, como juntas de saneamiento, comisiones vecinales, aguateras privadas y otros (14).

Respecto a la demanda per cápita urbana, el Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ERSSAN) la estipula en la Ley N° 1.614/2.000 a través de sus reglamentos de calidad, tanto para concesionarios como para los permisionarios indistintamente para zonas urbanas como rurales, y la cantidad de consumo per cápita es de 122 litros por habitante por día (15). Según la aplicación de la Ecuación 2, esto totaliza una demanda de agua para consumo doméstico de 5.241.281,04 m<sup>3</sup>/año. Es importante conocer el nivel de consumo doméstico pues un desabastecimiento del líquido vital puede suponer un agravamiento de la situación debido a la propagación de enfermedades.

Considerando la dinámica poblacional de la ciudad, es importante considerar proyecciones correspondientes al periodo actual y a futuro. La proyección de población por sexo y edad del departamento de Itapúa actualmente es de 143.281 habitantes (16), sin embargo, el modelo requiere de información discriminada entre tipo rural y urbano precisamente por las condiciones de usos del agua, sirviendo de herramienta estadística como soporte.

### *3.2 Demanda de agua para uso industrial*

En el distrito de Encarnación, según datos del año 2008 presentados en el Plan Encarnación Más (7) hay 338 actividades de tipo industrial y de transformación, entre ellas 147 fábricas de ladrillos y similares; 70 fábricas de muebles, aserraderos y carpinterías; 40 actividades de herrería, metalúrgica y hojalatería; 18 talleres de confección de ropa; 15 fábricas de pastas, panaderías y chiperías y 1 matadero.

En la Tabla 1 se presentan los factores de consumo de agua por tipo de producción, las estimaciones del volumen de producción por tipo de industria y la demanda de agua para uso industrial en la ciudad de Encarnación.

**Tabla 1.** Demanda de agua para uso industrial en la ciudad de Encarnación.

Actividad económica <sup>a</sup>	Factor de consumo de agua (m <sup>3</sup> /ton) <sup>a</sup>	Cantidad de industrias <sup>b</sup>	Volumen de producción estimado por industria (kg/mes) <sup>c</sup>	Volumen de producción estimado (ton/mes)	Demanda de agua para uso industrial (Vp x Fc) (m <sup>3</sup> /año)
Industrias de hierro y acero	77,4	40	1.750	70	65.016
Fabricación de prendas de vestir	30	18	1.569,3	28,2474	10.169,06
Fabricación de muebles y accesorios	4,2	70	2.768,16	193,77	9.766,07
Matanza de ganado, preparación y conservación de carnes	12,5	1	113.600	113,6	17.040
Fabricación de panificados	2,1	15	34.500	517,5	13.041
Fabricación de productos de arcilla para construcción	0,05	147	896.000	131.712	79.027,2
<b>Total</b>					<b>194.059,33</b>

**Nota.** <sup>a</sup>= (5); <sup>b</sup>= (7); <sup>c</sup>= Entrevistas personales con propietarios.

De este modo, a partir de la Ecuación 3 se estima una demanda de agua total para uso industrial en los diversos sectores productivos presentes en la ciudad de Encarnación de 194.059,33 m<sup>3</sup>/año. Las mayores demandas recaen sobre la actividad olera y metalúrgica, siendo la primera la de mayor presencia. Una demanda excesiva en este sector supondría una crisis económica y un aumento en el precio del agua, motivo por el cual es importante poseer un control del consumo del mismo.

### 3.3 Demanda de agua para el sector de servicios

En el caso de la actividad de servicios, es importante tener en cuenta que éstos no son susceptibles de ser almacenados ni transportados y, en consecuencia, no pueden ser trasladados en forma independiente de su producción. Se vende por parte del productor y se compra por parte del consumidor un derecho al uso del servicio, cada vez que este sea requerido (3). En la Tabla 2 se presentan las estimaciones de consumo mensual, tomando como fuente primaria la información proveída por propietarios o funcionarios, la cantidad de establecimientos y la demanda hídrica en el sector de servicios.

**Tabla 2.** Demanda de agua en el sector de servicios de la ciudad de Encarnación.

Servicio	Cantidad de establecimientos <sup>a</sup>	Demanda	
		Por empresa de servicio (L/mes) <sup>b</sup>	En el sector de servicios (m <sup>3</sup> /año)
Transporte y Almacenamiento	57	40.880	27.961,92
Comercio	4.306	1.080	55.805,76
Comunicaciones	38	35.000	15.960
Bancos	40	29.000	13.920
Seguros y servicios a empresas	267	3.000	9.612
<b>Total</b>			<b>123.259,68</b>

**Nota.** <sup>a</sup>= (17); <sup>b</sup>= Entrevistas personales con propietarios.

El volumen de agua concesionado para el desarrollo de las actividades de servicios aplicando la Ecuación 4, es del orden de 123.259,68 m<sup>3</sup>/año. Una demanda excesiva en este sector podría conducir a conflictos debido a la escasez de agua y restricciones en su uso.

El servicio de mayor demanda refiere al comercio, el cual representa el 45% del sector en la ciudad. Esta medición es por lo demás compleja, ya que en su gran mayoría son actividades económicas asociadas a un hogar, que comparten espacios dentro de una misma vivienda. La condición de incertidumbre asociada a este tipo de superposiciones introduce limitaciones de orden estadístico y conceptual para diferenciar el gasto de agua en distintos usos. Más aún, cuando para este tipo de arreglos no existen registros administrativos que permitan diferenciar con claridad el tipo de actividad o sector que origina la demanda de agua, así como tampoco censos universales que indiquen el número de personas ocupadas, el número de personas atendidas y el tipo de actividad económica, cuando la vivienda funge como establecimiento comercial o de servicios (3).

### 3.4 Demanda de agua para uso agrícola

La precipitación media anual tanto para la cuenca del arroyo Mboi Ka'e como para la del arroyo Quiteria reportada por Global Consultores (18) es de 1.964 mm. Las áreas del sureste de Paraguay, donde se encuentran las cuencas en cuestión, tienen la temperatura más baja del país y también la precipitación más alta. Según Global Consultores (18), la humedad relativa del aire oscila entre 70 a 90% y la evaporación-transpiración potencial es de 1.047 mm.

Según el censo Agropecuario del 2008 y Ecosistema Urbano (7) en Encarnación hay 336 fincas. Del total de superficie cultivada, más de la mitad está ocupada por cultivos permanentes, temporales y hortalizas, alrededor del 28% está ocupada por pastura natural o

cultivada y el 8% por montes naturales y forestales cultivados. El resto se divide entre áreas en barbecho, descanso y otros usos (7).

El coeficiente único de un cultivo ( $K_c$ ) incorpora las características del cultivo y los efectos promedio de la evaporación en el suelo (19). Durante el período de crecimiento del cultivo, la variación del  $K_c$  expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente  $K_c$  a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo para la cual se necesitan los valores de  $K_c$  correspondientes a la etapa inicial, a la etapa de mediados de temporada y a la etapa final (19).

En la Tabla 3 se presentan los tipos de cultivo producidos en la ciudad de Encarnación según el Plan Encarnación Más (7), los valores de uso consuntivo por cultivo  $K_c$ , la superficie cultivada y la demanda hídrica en el sector agrícola.

**Tabla 3.** Demanda de agua para uso agrícola en la ciudad de Encarnación.

Cultivo	Coeficiente único de un cultivo $K_c$			Promedio	Superficie cultivada (Ha) <sup>b</sup>	Demanda de agua (m <sup>3</sup> /año)
	Inicial <sup>a</sup>	Medio <sup>a</sup>	Final <sup>a</sup>			
Mandioca	0,3	0,80	0,30	0,47	230	3.385.393
Poroto	0,4	1,15	0,35	0,63	27	352.185,3
Soja	0,4	1,15	0,50	0,68	2.347	29.385.378,8
Algodón	0,35	1,20	0,70	0,75	104	1.225.900
Girasol	0,35	1,15	0,35	0,62	20	262.972
Trigo	0,3	1,15	0,25	0,57	705	9.638.830,5
Maíz	0,3	1,20	0,35	0,62	161	2.116.924,6
Caña de azúcar	0,40	1,25	0,75	0,8	59	664.576
<b>Total</b>						<b>47.032.160,2</b>

**Nota.** <sup>a</sup>= (19); <sup>b</sup>= (7).

A partir de los cálculos mediante la Ecuación 5 se estima una demanda de agua para uso agrícola de 47.032.160,2 m<sup>3</sup>/año teniendo en cuenta los diferentes tipos de cultivo, siendo los más comunes en el distrito de Encarnación la soja y el trigo, al igual que en el resto del país. Superar la oferta hídrica en este sector puede ocasionar problemas debido a la imposibilidad de cultivar por falta de agua o debido a bajos rendimientos en las cosechas, lo que puede producir un aumento en el precio de los alimentos y materias primas.

### 3.5 Demanda de agua para uso pecuario

Según datos reportados por Ecosistema Urbano (7), en el distrito de Encarnación existen 233 fincas con vacunos, con un total de 5.171 cabezas. La mayoría de las fincas son de tamaño medio-pequeño, la producción lechera cuenta con 138 fincas y 470 cabezas, que representan el 1,3% de las vacas lecheras del departamento de Itapúa.

En cuanto a la ingesta de agua libre, existen numerosos factores que influyen como la especie animal, la condición fisiológica del animal, el nivel de ingesta de materia seca, la forma física de la dieta, la disponibilidad de agua, la calidad del agua, la temperatura del agua ofrecida y la temperatura del ambiente (20). Son presentados en la Tabla 4 los diferentes tipos de animales de producción, el factor de consumo de agua, el volumen de producción y la demanda hídrica en el sector pecuario de Encarnación.

**Tabla 4.** Demanda de agua para uso pecuario en la ciudad de Encarnación.

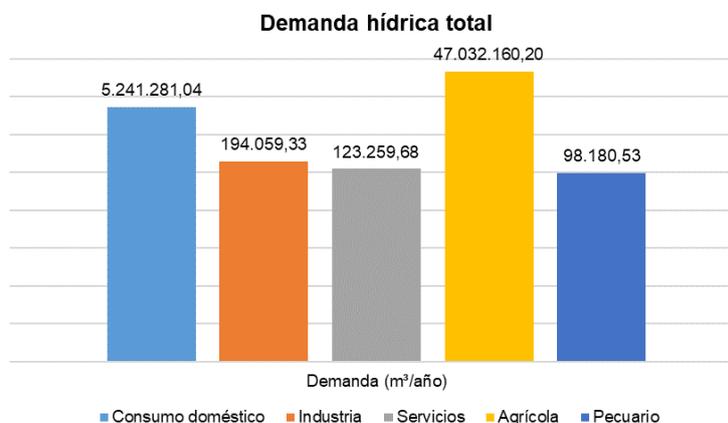
Animal	Factor de consumo de agua (L/día) <sup>a</sup>	Volumen de producción aproximado (cabezas) <sup>b</sup>	Demanda de agua (Vpa x Fca) (m <sup>3</sup> /año)
Vaca lechera	74	470	12.520,8
Vaca	34,7	5.171	64.596,13
Cerdo	20	1.662	11.966,4
Aves	5*	5.054	9.097,2
<b>Total</b>			<b>98.180,53</b>

**Nota.** <sup>a</sup>= (20); <sup>b</sup>= (7); \* = (5).

De esta forma, al aplicar la Ecuación 6 se obtuvo una demanda de agua total de 98.180,53 m<sup>3</sup>/año. Una elevada demanda este sector puede ocasionar la pérdida de la biodiversidad, pues el equilibrio del medio ambiente se basa en la diversidad de especies animales y vegetales, y esa diversidad puede reducirse como consecuencia de la escasez de agua.

### 3.6 Demanda total de agua en la ciudad de Encarnación

La demanda total de agua según la Ecuación 1 es igual a la suma de las demandas en los sectores de consumo doméstico, industrial, servicios, agrícola y pecuario, lo que dio un valor estimado de 52.688.940,78 m<sup>3</sup>/año (Figura 1).



**Figura 1.** Demanda hídrica total. Fuente: propia.

Según un estudio realizado por Costa y colaboradores (9), este valor es mayor a la demanda total calculada para los municipios colombianos de Villa del Rosario, Los Patios, Bochalema, Chinácota, Ragonvalia, Pamplonita, Herrán y Pamplona, los cuales tienen una población menor a la de Encarnación.

Los resultados del estudio realizado en la cuenca del Río Opia (21), condujeron a un alto índice de escasez ya que la demanda superó la oferta neta. Ese estudio posee similitud en cuanto a la demanda hídrica estimada, ya que en Encarnación el 89% se da en el sector agrícola; 9,9% para consumo doméstico; 0,37% para uso industrial; 0,23% para uso en el sector de servicios y 0,19% para uso pecuario. En Encarnación, así como también en el resto del mundo, en las actividades agrícolas se utiliza el mayor volumen de agua; no obstante, el uso crítico está relacionado al abastecimiento de la población con agua potable.

#### **4. Conclusiones**

Como el recurso hídrico no es infinito ni está distribuido homogéneamente en el territorio nacional, la administración y gestión a escala local debe tener en cuenta tendencias y escenarios futuros que permitan avanzar hacia un desarrollo sostenible. En este contexto, al describir la demanda hídrica en base a las líneas de consumo en la ciudad de Encarnación, el valor estimado fue de 52.688.940,78 m<sup>3</sup>/año. Esta estimación es una herramienta útil que, comparada con la oferta hídrica, nos permite realizar consideraciones para llamar la atención sobre la necesidad de tomar acciones a fin de reducir el riesgo de desabastecimiento futuro. El factor de incertidumbre a considerar está asociado a la escala de la información disponible, ya que pocas veces se tiene información primaria a escala local forzando el uso de estimadores de la demanda de agua. Además, al incrementar la intensidad de uso del agua de las corrientes superficiales se provoca un aumento en las tasas de vertimientos de aguas negras a las mismas y, por ende, de los niveles de presión por contaminantes (9). Esto obliga a tener umbrales críticos conservadores por demanda con el fin de evitar reacciones tardías no sólo ante limitaciones en cantidad sino también por restricciones en calidad.

De esta manera, se requerirán mayores recursos de agua dulce en el mundo para satisfacer las crecientes necesidades de la población y las consecuencias de la variabilidad climática. Al mismo tiempo, se necesitarán más esfuerzos para identificar y abordar los desafíos que surjan, incluidas las nuevas amenazas a la calidad de los recursos, las necesidades emergentes para adaptarse y mitigar los factores perjudiciales (2).

En caso de que la demanda supere a la oferta hídrica, se deberán generar acciones inmediatas de ordenamiento que prioricen el uso para consumo humano y garanticen la conservación de los ecosistemas. No hacerlo supondrá un límite para el desarrollo económico y de calidad de vida de los pobladores de la ciudad.

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

**Agradecimientos:** Las autoras agradecen a la MSc. Raquel Vanegas Sarmiento por su colaboración durante la realización de esta investigación.

## Bibliografía

1. REY, Marcia Simone. *La escasez de Agua en el mundo y la importancia del Acuífero Guaraní para Sudamérica: Relación abundancia- escasez* Online. 2007. [Accessed 29 September 2022]. Available from: [www.caei.com.ar](http://www.caei.com.ar)
2. TZANAKAKIS, Vasileios A., PARANYCHIANAKIS, Nikolaos V. and ANGELAKIS, Andreas N. Water supply and water scarcity. *Water*. 2020. Vol. 12, no. 9. DOI 10.3390/w12092347.
3. GONZÁLEZ, María Carmenza, SANDARRIAGA, Gabriel de Jesús and JARAMILLO, Omar. Estimación de la demanda de agua. In: *Estudio nacional del agua 2010*. 2010. p. 421. ISBN 9789588067322.
4. MOLLE, François and MOLLINGA, Peter. Water poverty indicators: Conceptual problems and policy issues. *Water Policy*. 2003. Vol. 5, no. 5–6, p. 529–544. DOI 10.2166/wp.2003.0034.
5. MINISTERIO DE AMBIENTE, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 865: *Metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales* Online. Bogotá, Colombia, 2004. Available from: [https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion865\\_20040722.htm](https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion865_20040722.htm)
6. 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*. 2016.
7. ECOSISTEMA URBANO. Plan Encarnación Más - Plan de Desarrollo Sustentable y Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Encarnación, Paraguay. *Diagnóstico y Objetivos - Parte 2 - Medioambiente y Territorio*. 2016.
8. OEA. *METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA SUPERFICIAL*. Lima, 2004.
9. COSTA, Carlos, DOMÍNGUEZ, Efraín, RIVERA, Hebert and VANEGAS, Raquel. El índice de escasez de agua ¿un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico? *Revista de ingeniería*. 2005. Vol. 22.
10. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. *Usos y gobernabilidad del agua en el Paraguay*. 2006.

11. MUSÁLEM, Karim. *Assessing integrated watershed management and spatial groundwater vulnerability to pollution in priority watersheds of the Yacyreta dam in Paraguay*. Online. Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. Turrialba: University of Wales (Bangor University) and Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE), 2010. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/263444873>
12. DGEEC. Censo nacional de población y viviendas. *Resultados preliminares*. 2012.
13. ECOSISTEMA URBANO. Plan Encarnación Más - Plan de Desarrollo Sustentable y Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Encarnación, Paraguay. *Diagnóstico y Objetivos - Parte 6 - Sociedad*. 2016.
14. SERVÍN, María Rosa and ORTIZ, Amado. Vulnerabilidad a la contaminación de aguas subterráneas en sistemas de abastecimiento comunitario de Encarnación - Paraguay. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. December 2021. Vol. 5, no. 6, p. 13486–13507. DOI 10.37811/cl\_rcm.v5i6.1338.
15. MUÑOZ, Cristina Solana. *Nota N° 648/2022 del 25 de agosto de 2022*. Asunción, 2022.
16. INE. Instituto Nacional de Estadística. *Itapúa Proyecciones de población por sexo y edad, 2023*. Online. [Accessed 19 June 2023]. Available from: [https://www.ine.gov.py/Publicaciones/Proyecciones%20por%20Departamento%202023/07\\_Itapua\\_2023.pdf](https://www.ine.gov.py/Publicaciones/Proyecciones%20por%20Departamento%202023/07_Itapua_2023.pdf)
17. MUNICIPALIDAD DE ENCARNACIÓN. *Patentes municipales*. Encarnación, 2015.
18. GLOBAL CONSULTORES. *Gestión integrada de las cuencas de los arroyos Mbói Cae y Quiteria*. 2008.
19. FAO. BOLETÍN 56. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Online. Roma: FAO, 2006. [Accessed 30 November 2022]. Available from: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
20. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. *Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals*. 1981. ISBN 0309533740.
21. GUTIERREZ, Claudia, MENA, Cielo and CIFUENTES, Jessica. *Cálculo del índice de escasez de la cuenca del río Opia - departamento del Tolima*. Trabajo de especialización. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2015.