

# ESTIMACIÓN DEL GASTO EN UN MICRORESERVORIO PERMANENTE DEL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO

*Data de submissão: 13/12/2024*

*Data de aceite: 10/01/2025*

### **José Luis Gómez-Márquez**

Laboratorio de Limnología, FES Zaragoza,  
UNAM, CD. México

### **S. García-Limón**

Laboratorio de Limnología, FES Zaragoza,  
UNAM, CD. México

### **J.L. Guzmán-Santiago**

Laboratorio de Limnología, FES Zaragoza,  
UNAM, CD. México

### **R.Trejo-Albarrán**

Laboratorio de Hidrobiología, Facultad de  
Ciencias Biológicas (UAEM), Cuernavaca,  
Morelos, México

**RESUMEN:** La necesidad de agua para las actividades de irrigación en los alrededores del sistema acuático, es cada vez mayor, debido a que las condiciones de pluviosidad han cambiado actualmente por el efecto del calentamiento global, lo que ha ocasionado mayor demanda del recurso hídrico y por el tipo de cultivos que se realizan en la zona de estudio. Esta evaluación fue solicitada como un apoyo a la comunidad del poblado de Xalostoc, municipio de Ayala, Morelos, para conocer la cantidad de agua que llega al microreservorio. El objetivo fue estimar el

gasto o caudal de agua del microreservorio o bordo la Palapa en dos épocas del año. Los muestreos se realizaron durante el mes de septiembre (2019) y marzo (2020), durante la temporada de lluvias y de secas respectivamente. Los datos del caudal de entrada se obtuvieron utilizando el método del Flotador Sencillo descrito por Coche y Van Der Wal (1981), y el factor de corrección ( $F_c$ ) para cálculo de caudales descrito por MINAGRI (2015). Para el mes de septiembre el aporte de agua de la Entrada 1 fue de 90.427 l/s y el aporte de agua proveniente de la Entrada 2 fue de 25.365 l/s. Para al mes de marzo, el aporte de agua proveniente la Entrada 1 fue de 40.425 l/s y el aporte de agua proveniente de la Entrada 2 fue de 137.5 l/s. Durante el mes de marzo el sistema obtuvo un mayor aporte de agua proveniente de los canales respecto al obtenido al mes de septiembre, siendo de 177.925 l/s y 115.792 l/s respectivamente. El volumen de agua de salida del microreservorio no es contante a lo largo del año, este cambia por los requerimientos hídricos de los cultivos presentes durante cada mes, los cuales cuentan con diferentes ciclos de vida. Actualmente el bordo la Palapa cuenta con un déficit en el manejo del agua para el

riego, tan solo para el mes de mayo se calcula un gasto de agua de 2,736.67 l/s para el total de área de cultivo el cual resulta mucho mayor al volumen de agua total que entra al sistema por día. Se recomienda hacer un seguimiento continuo en el gasto hídrico durante los meses posteriores, para poder tener una mejor aseveración en el manejo del recurso y poder dar mejores recomendaciones para la subsistencia del sistema.

**PALABRAS-CLAVE:** Recurso hídrico, disponibilidad, cuenca, microreservorio

## ESTIMATE OF THE FLOW RATE ON A PERMANENT MICRORESERVOIR IN THE STATE OF MORELOS, MEXICO

**ABSTRACT:** The need for water for irrigation activities in the surroundings of the aquatic system is increasing, because rainfall conditions have currently changed due to the effect of global warming, which has caused greater demand for water resources and the type of crops grown in the study area. This evaluation was requested as support to the community of the town of Xalostoc, municipality of Ayala, Morelos, to know the amount of water that reaches the microreservoir. The objective was to estimate the flow rate or water flow in the microreservoir o “bordo” La Palapa at two times of the year. Sampling was carried out during the months of September (2019) and March (2020), during the rainy and dry seasons respectively. The input flow data were obtained using the Simple Float method described by Coche and Van Der Wal (1981), and the correction factor (Fc) for calculating flow rates described by MINAGRI (2015). In September, the water supply from Inlet 1 was 90,427 l/s and the water supply from Inlet 2 was 25,365 l/s. In March, the water supply from Inlet 1 was 40,425 l/s and the water supply from Inlet 2 was 137.5 l/s. During March, the system received a greater water supply from the canals than in September, being 177,925 l/s and 115,792 l/s respectively. The volume of water output from the microreservoir is not constant throughout the year; it changes due to the water requirements of the crops present during each month, which have different life cycles. Currently, the La Palapa area has a deficit in the management of water for irrigation. For the month of May alone, a water expenditure of 2,736.67 l/s is estimated for the total area of cultivation, which is much greater than the total volume of water that enters the system per day. It is recommended to continuously monitor water expenditure during the following months, in order to have a better assertion in the management of the resource and to be able to give better recommendations for the survival of the system.

**KEYWORDS:** Water resource, availability, basin, microreservoir

## INTRODUCCIÓN

Aunque se han estudiado y conocen los fenómenos climáticos, existen alteraciones que resultan de gran interés para la sociedad sobre todo cuando estos cambios afectan los diferentes sectores socioeconómicos. Tal es el caso del cambio climático observado en los últimos años, cuyos impactos en el sector de agua han llevado a diversos actores a interesarse en el tema y debido a que el cambio climático con seguridad desafiará las prácticas existentes de administración del agua, especialmente en situaciones en las que se cuente con menor experiencia sobre la incorporación de acciones que fortalezcan a los sistemas de agua, es necesario evaluar sus efectos así como la sensibilidad de los elementos expuestos a nivel local (Camacho *et al.*, 2016).

Las consecuencias socioeconómicas de la interrupción y el colapso de los sistemas de agua dulce son a menudo profundas; la comunidad depende de los servicios ribereños naturales mucho más de lo que parece a simple vista y esto, sólo se hace evidente cuando el río está gravemente degradado (O’Keeffe y Le Quesne, 2010). La creciente explotación mundial de los recursos hídricos ha llevado a una reducción significativa de la biodiversidad de los ecosistemas dulceacuícolas y de los servicios ambientales que estos aportan. En muchos lugares, los sistemas lóticos (ríos, escurrimiento, etc.) han dejado de fluir debido a la demanda del recurso y a los cambios en la intensidad del periodo de lluvia. En respuesta a lo anterior, en las últimas décadas, la gestión integrada del recurso hídrico se ha vuelto una de las herramientas más actuales y prácticas para el uso, manejo y conservación del agua, en donde se considera no solo la satisfacción de las diferentes necesidades humanas sino, además, el desarrollo de estrategias que contribuyan a la conservación de sus características (Izquierdo y Madroñero, 2014).

Baron *et al.* (2003) identifican cinco factores ambientales dinámicos que regulan la mayor parte de la estructura y del funcionamiento de cualquier ecosistema acuático. *El patrón del caudal* (o cause) define las tasas y vías por las que la lluvia y la nieve derretida entran y circulan por los cauces de los ríos, los lagos, los humedales y el agua subterránea que los conecta, y también determina cuanto tiempo el agua queda almacenada en estos ecosistemas. 2. *La entrada de sedimentos* y de materia orgánica proporciona la materia prima que crea la estructura física del hábitat, los refugios, los sustratos y los sitios de desove, y provee y almacena los nutrientes que sustentan a las plantas y los animales acuáticos. 3. *Las características de temperatura y luz* regulan los procesos metabólicos, los niveles de actividad y la productividad de los organismos acuáticos. 4. *Las condiciones químicas y nutricionales* regulan el pH, la productividad de plantas y animales y la calidad del agua, y 5. *El ensamble de plantas y animales* influye en las tasas de los procesos del ecosistema y en la estructura de la comunidad.

De estos cinco factores es posible que el patrón del cauce sea la variable más importante de los ríos y demás sistemas acuáticos de agua dulce, puesto que este define su morfología, estructura y diversidad biológica de ellos. Aunque la importancia relativa de cada uno de los factores varía entre los distintos tipos de ecosistemas acuáticos, aun así, la interacción de estos determinantes a través del tiempo y espacio definen la naturaleza dinámica de los sistemas de agua dulce (Baron *et al.*, 2003).

En la actualidad, México es una de las zonas más vulnerables al cambio climático y enfrenta un grave problema de escasez de agua dulce en muchas de sus regiones, debido a su situación geográfica y a sus condiciones climáticas, orográficas e hidrológicas. Hoy en día se manifiestan en el territorio nacional gran variedad de alteraciones que, en muchos casos, no son más que el inicio de una tendencia de los impactos que se verán exacerbados a lo largo de este siglo si no se adoptan medidas para aminorarlos (Greenpeace, 2010) y esto es causada por factores como gestiones hídricas insuficientes

y sequías (Treviño, 2024). Aunado a esto, es un país que cuenta con pocos cuerpos de agua lénticos naturales (70 lagos), con tamaños de superficie que varían entre las 1 000 y más de 10 000 hectáreas, que en conjunto cubren un área de 370 891 hectáreas (De la Lanza-Espino y García-Calderón, 2002). El problema se ha tratado de resolver desde hace mucho tiempo, mediante la construcción de embalses artificiales como presas, bordos, etc., los cuales ocupan el 67.13% de los cuerpos hídricos y cubren 188,781 ha que representan el 14.74% de la superficie inundada de las aguas epicontinentales (Quiroz-Castelán *et al.*, 2009). Para el estado de Morelos se tienen registrados 163 cuerpos almacenadores de agua (presas, bordos), los cuales en su gran mayoría son utilizados para el riego agrícola (Granados *et al.*, 2014, Trejo-Albarrán *et al.*, 2023).

Los microembalses, microreservorios o bordos, cuentan con características limnéticas similares a las de los lagos naturales someros; En general son embalses someros con profundidades máximas entre uno y cinco metros, que se forman en la época de lluvias (Quiroz y Díaz, 2010), prácticamente no tienen estratificación de la temperatura o de los nutrimentos, por lo que no hay barreras físicas, esta similitud entre las condiciones de estos sistemas y los cuerpos de aguas naturales ocasiona que los organismos que viven en estos últimos, encuentren un sitio de dispersión y de refugio en los microembalses (López-Blanco y Zambrano-González, 2001).

En los microembalses, los cambios en los patrones de las precipitaciones afectan la calidad del agua embalsada (Murdoch *et al.*, 2000). Por otra parte, la calidad del agua de los sistemas acuáticos está en función de la región hidrológica a la que pertenece y de las sales disueltas que contenga. El tiempo de permanencia del agua de estos bordos o jagüeyes depende directamente de tres factores principales: precipitación, evaporación y escurrimiento superficial, así como de procedimientos secundarios como flujo de agua subterránea, pérdidas por filtración y captura de agua por la vegetación aledaña a los jagüeyes (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992; Quiroz y Díaz, 2010).

Como se sabe, el gasto es conocido también como caudal, es la cantidad o volumen de agua que pasa por la sección transversal de un conducto, cauce o canal en una unidad de tiempo, se mide en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ), también puede expresarse en litros por segundo, por minuto, etc. (Rabasa, 2016) Estas dos características son de gran importancia para iniciar proyectos de construcción de puentes, canales, estudios de hidráulica pluvial y de diseño de obras hidráulicas en general. Desafortunadamente medir directamente el gasto, a través del volumen descargado en un intervalo de tiempo, es una tarea sumamente complicada en la práctica; sobre todo si se trata de medición en canales de riego o de suministro de agua potable a las ciudades donde los caudales son muy grandes y requerirían recipientes enormes. Es por eso que normalmente recurrimos a la medición de gasto en forma indirecta, ya sea midiendo la velocidad y el área (Tapia *et al.*, 2012; Rabasa, 2016).

La importancia de medir el caudal como “Volumen de agua de un flujo por unidad de tiempo (medido en un punto determinado del conducto) de un cuerpo de agua, radica en la disponibilidad del agua a un determinado tiempo (Rabasa, 2016). La permanencia de agua en el sistema está directamente relacionada con los procesos del ciclo del agua y el consumo excesivo de este respecto a su recuperabilidad, lo puede resultar en la escasez del agua. Estos problemas, no solo resultan en afectaciones en los procesos bioquímicos del sistema. En la población humana, la falta del recurso hídrico la afecta de manera directa, ya que la falta de agua influye tanto en la calidad de vida de una población, como en su supervivencia. De manera indirecta, los cultivos de los productores mayoritarios se ven fuertemente arriesgado en su economía, como el desabasto de productos disponibles para la población.

La CONAGUA en su Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Morelos (2010) informa que, de acuerdo con el REPDA, se calcula que en la cuenca del río Cuautla en el estado de Morelos, el volumen de extracción anual de agua superficial para el riego asciende a 245.88 hm<sup>3</sup> y el volumen de extracción anual de agua superficial en la cuenca asciende a 282.88 hm<sup>3</sup>.

Asimismo, la CONAGUA para los informes de Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuernavaca (2013), Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Zacatepec (2018), Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuautla-Yuatepec (2018) y Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan (2018), reportan unas recargas totales medias anuales de 344.2 hm<sup>3</sup>/año, 85.3 hm<sup>3</sup>/año, 348.6 hm<sup>3</sup>/año y 47.4 hm<sup>3</sup>/año respectivamente para los acuíferos. La recarga total media anual (Rt) corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como de recarga inducida.

Martínez (2015) informa en su trabajo del Plan de manejo del acuífero Tepalcingo-Axochiapan que, de acuerdo a la CONAGUA, el volumen de extracción de agua superficial en la cuenca es de 34 hm<sup>3</sup> del cual, el principal usuario es el uso agrícola con el 87% (29.6 hm<sup>3</sup>) y seguido por el uso de servicios con el 13% (4.4 hm<sup>3</sup>). Del volumen superficial el 81% (27.28 hm<sup>3</sup>) de la extracción proviene de barrancas y ríos, 15.3 % (5.2 hm<sup>3</sup>) de manantiales y el 3.7% (1.52 hm<sup>3</sup>) de presas y bordos. Esta evaluación del gasto que se tiene en la entrada del bordo La Palapa, Morelos, fue solicitada como un apoyo a la Sociedad Cooperativa de Pesca Xalostoc, municipio de Ayala, Morelos, para conocer la cantidad de agua que llega al microreservorio. La importancia de medir el caudal de un cuerpo de agua, radica en la disponibilidad del agua a un determinado tiempo y el consumo excesivo de este respecto a su recuperabilidad, puede resultar en la escasez del agua. Por lo tanto, el objetivo fue estimar el gasto o caudal ecológico que ingresa al microreservorio o bordo La Palapa en dos épocas del año.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ZONA DE ESTUDIO

El microembalse “La Palapa” se encuentra en el municipio de Ayala, estado de Morelos en los 18°43'17.07" latitud Norte y 98°54'44.56" longitud Oeste, a 1,220 msnm. El municipio de Ayala se beneficia con la fluencia de la microcuenca del río Cuautla, del río Ayala que se favorece con los escurrimientos de las barrancas El Hospital y Calderón. Los tipos de suelo que predominan en el municipio son Chernozem, Castañozem, Feozem háplico, Litosol y Vertisol pélico, compuesto generalmente de rocas sedimentarias clásicas (INEGI, 2017). El clima que predomina en esta zona es cálido subhúmedo (Aw''(w) (i') g), con precipitación y temperatura media anual es de 800 mm y 24° C respectivamente (García, 2004).

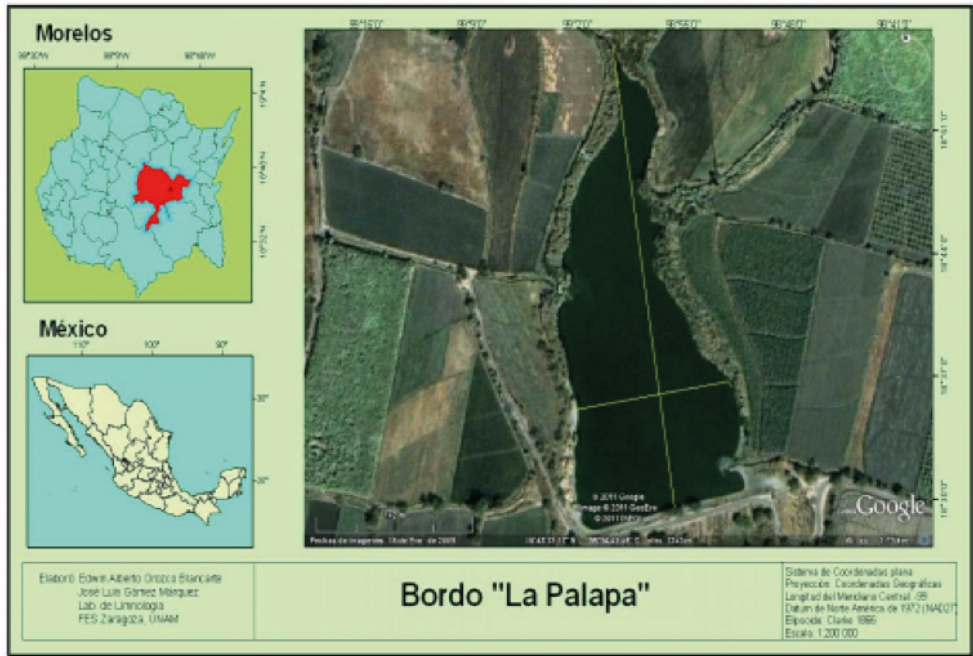
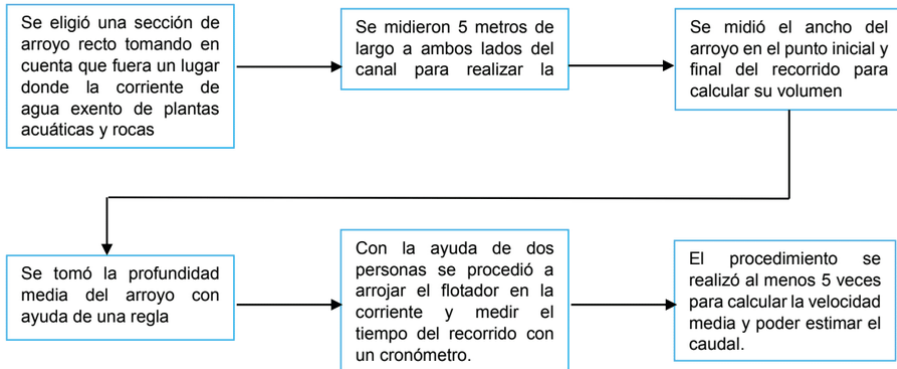


Fig. 1. Ubicación del microreservorio “La Palapa”, Morelos

Se utilizó el método del Flotador Sencillo (Coche y Van Der Wal, 1981).

Para realizar la prueba se utilizó una botella pequeña de 10 ml de polietileno como flotador y la medición se hizo en los dos canales de entrada del sistema, con base en el siguiente procedimiento:



Medición del caudal ecológico. Después de realizar las mediciones, se procedió al cálculo del caudal utilizando un factor de corrección con base en la tabla 1 propuesta por Minagri (2015)

$$\text{Velocidad } (v) = \left(\frac{d}{t}\right) (Fc), \quad \text{Caudal } (c)(\text{m}^3/\text{s}) = (v)(a)(p), \quad \text{Caudal } (\text{L/s}) = (c)(1000)$$

TIPO DE CAUCE	FACTOR DE CORRECCIÓN FC
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15	0.8
Canal en Tierra, profundidad del agua > 15 cm	0.7
Riachuelos profundidad del agua > 15 cm	0.5
Canales de tierra profundidad del agua < 15 cm.	0.25 – 0.5

**Tabla 1.** Determinación del factor de corrección (Fc) para cálculo de caudales por el método de flotador (MINAGRI, 2015).

## RESULTADOS

El microreservorio La Palapa se encuentra en el municipio de Ayala, con un clima cálido subhúmedo, por lo cual cuenta con dos temporadas climáticas muy marcadas (lluvias y secas); siendo la temporada de lluvias entre los meses de junio a noviembre y la temporada de secas entre enero y junio. Durante los meses de secas se beneficia de la afluencia de la microcuenca del río Cuautla, específicamente del microreservorio Amate amarillo resulta de gran importancia para su subsistencia.

Durante los meses de evaluación del gasto, el sistema mostró una variación de los datos muy marcados respecto a los meses de muestreo, durante el mes de marzo el sistema obtuvo un mayor aporte de agua proveniente de los canales respecto al obtenido al mes de septiembre, siendo de 177.925 l/s y 115.792 l/s respectivamente.

Aunque el aporte de agua entrante al sistema por medio de los canales es mayor durante el mes de marzo, este aumento del volumen entrante se debe a que el aporte de agua provenientes de los escurrimientos y lluvias es menor, por lo que el agua aportada por el sistema aledaño es mayor. El aporte de agua proveniente de estas entradas varía en función de la temporada y del requerimiento hídrico que necesiten los ejidatarios para los cultivos de la región, así como de la necesidad de los pobladores aledaños al sistema acuático Amate amarillo.

1. Profundidad media = 0.23 m
2. Distancia = 5 m
3. Ancho = 0.94 m
4. Tiempo promedio (t) = 8.368 seg.
5. Velocidad (v) =  $\left(\frac{5}{8.368}\right)(0.7) = 0.41826$  m/s
6. Caudal (c) = (0.41826)(0.94)(0.23) = 0.090427 m<sup>3</sup>/s
7. Caudal de agua = (0.090427)(1000) = 90.427 l/s

**Tabla 2.** Entrada del sistema no. 1 (septiembre 2019).

1. Profundidad media = 0.114 m
2. Distancia = 5 m
3. Ancho = 0.70 m
4. Tiempo promedio (t) = 12.584 seg.
5. Velocidad (v) = 0.31786 m/s
6. Caudal (c) = 0.025365 m<sup>3</sup>/s
7. Caudal de agua = 25.365 l/s

**Vol. De agua Total entrante septiembre (2020) = 115.792 l/s**

**Tabla 3.** Entrada del sistema no. 2 (septiembre 2019).

En el mes de septiembre el aporte de agua de la Entrada 1 fue de 90.427 l/s y el aporte de agua de la entrada proveniente de la Entrada 2 fue de 25.365 l/s. Durante este mes, las lluvias aumentan el volumen de agua y profundidad del sistema de manera natural mediante los escurrimientos registrándose una profundidad de máxima 3.2 dentro del sistema acuático. Durante esta temporada los cultivos no necesitan de un aporte agua por riego tan intenso, por lo que es necesario que el volumen de agua entrante al sistema por las entradas 1 y 2 se reduzca de manera controlada para evitar desbordamientos e inundaciones. Por lo tanto, la variación en el volumen de agua entre las entradas durante septiembre, se debe al cierre gradual y controlado de las compuertas de acuerdo a los requerimientos de los pobladores para el tipo de cultivo que se realiza durante esta época.

1. Profundidad media (p) = 0.1 m
2. Distancia (d) = 5 m
3. Ancho promedio (a) = 1 m
4. Tiempo promedio (t) = 8.658 seg.
5. Velocidad (v) = 0.40425 m/s
6. Caudal (c) = 0.040425 m<sup>3</sup>/s
7. Caudal de agua = 40.425 l/s

**Tabla 4-** Entrada del sistema 1 (marzo 2020).



1. Profundidad media = 0.14 m
2. Distancia = 5 m
3. Ancho medio = 0.7 m
4. Tiempo promedio (t) = 2.85 seg.
5. Velocidad (v) = 1.4035 m/s
6. Caudal (c) = 0.1375 m<sup>3</sup>/s
7. Caudal de agua = 137.5 l/s

**Vol. De agua Total entrante (marzo 2020) = 177.925 l/s**

**Tabla 5.** Entrada del sistema no. 2 (marzo 2020).

Respecto al mes de marzo, el aporte de agua proveniente de la Entrada 1 fue de 40.425 l/s y el aporte de agua proveniente de la Entrada 2 fue de 137.5 l/s. Durante este mes, la subsistencia del sistema depende totalmente del aporte agua que se obtienen por medio del sistema Amate amarillo, ya que se inicia la temporada de secas y el volumen de agua aportado proporcionado por los escurrimientos disminuye casi en su totalidad, por lo que, el volumen total de agua del microembalse disminuye considerablemente y se registra una profundidad del sistema La Palapa de máximo 2 metros. Por lo tanto, las compuertas del sistema Amate amarillo se mantienen más tiempo abiertas entre las 6 am y las 3 pm, para asegurar un aporte de agua adecuada a las necesidades de los ejidatarios por los cultivos de esa temporada, haciendo que la variación en los volúmenes entre los canales, pueda deberse a los cultivos predominantes en cada uno de los lados de las entradas del sistema y su requerimiento hídrico.

En la figura 2, se puede apreciar que aparentemente la profundidad del canal no influye de manera tajante en la velocidad del agua; sin embargo, esta variación se debe a dos factores, uno por el requerimiento hídrico de los cultivos presentes durante el mes de muestreo y el segundo, por el material de recubrimiento de canal en cada uno de ellos, la entrada 1 el canal es de tierra natural, mientras que la entrada 2 cuenta con un recubrimiento de concreto, lo cual afecta en gran medida la velocidad de escurrimiento del agua de acuerdo con la MINAGRI, en su tabla del factor de corrección.

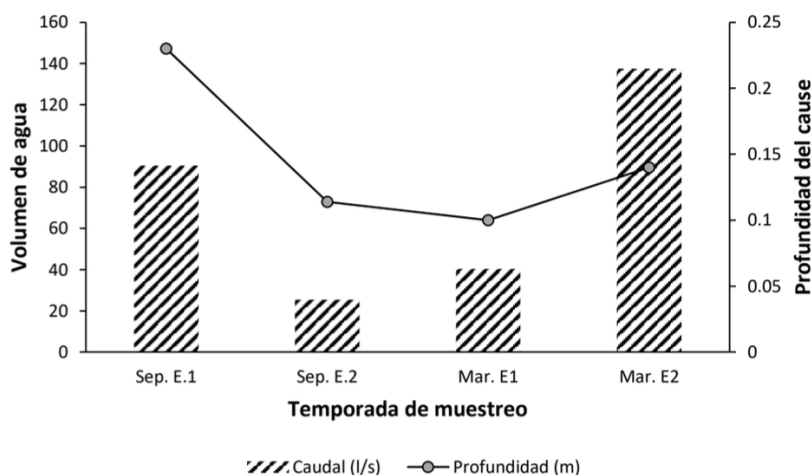


Figura 2. Grafica de volumen de entrada de agua respecto a la profundidad de las entradas

Respecto al volumen de agua de salida del sistema no se pudo realizar su medición, ya que la apertura de las compuertas de salida para el uso de cultivo se realiza en las mañanas entre las 7 am y 2 pm, mientras que los muestreos se realizaron entre las 3 pm y 4 pm debido a las actividades de los agricultores del ejido. También la contingencia sanitaria provocada por la pandemia del SARCOII (COVID-19), impidió la asistencia al sitio de muestreo durante los meses posteriores por lo que no se pudo obtener más datos del sistema. Sin embargo, los datos presentados en el presente trabajo fueron recopilados por un muestreo realizado (marzo) y por trabajos anteriores de otros compañeros (septiembre), por lo que son representativos del sistema.

Aunque no se pudo medir los volúmenes de agua de salida de manera presencial, se realizó una estimación aproximada del volumen de agua de salida mínima que requieren los pobladores para la subsistencia de los cultivos utilizando los tipos de cultivos presentes en la zona, su requerimiento hídrico de cada uno y su extensión de área de cultivo.

Cultivo	Temporada de cultivo	Requerimiento hídrico	Tipo de riego
Cebolla	Abr-Oct	$\frac{1\ l/s}{ha} = \frac{1,589.76\ mm/ha}{año}$	Goteo
Caña de azúcar	Mar-Mar	$\frac{1,500\ mm}{año}$	Gravedad
Higo	Ene-May (Planta perenne)	$\frac{600 - 700\ mm}{año}$	Gravedad
Frijol	Feb-May	$\frac{228\ mm}{año}$	Gravedad
Maíz	May-Oct	$\frac{700\ mm}{año}$	Gravedad
<b>Requerimiento hídrico promedio =</b>			$\frac{943.552\ mm}{año}$

**Tabla 6.** Cultivos presentes y dependencia hídrica del microreservorio La Palapa, Mor.

(Blanco, 2017; Mata *et al.*, 2011; Aguilar, 2015; Duarte y Gonzales, 2019; INIFAP, 2013; Melgarejo, 1999; Deras y Flor, 2018; Cruz, 2013)

Cultivo	Requerimiento hídrico en Litros	Requerimiento hídrico diario (litros)
Cebolla	15,897.600	86,400
Caña de azúcar	15,000,000	41,095.89041
Higo	7,000,000	19,178.08219
Frijol	2,280,000	19,000
Maíz	7,000,000	38,043.47826

**Tabla 7.** Requerimiento hídrico en litros durante el ciclo de vida de los cultivos presentes y dependientes del bordo La Palapa, Mor.

Aunque el volumen de agua de salida del microreservorio no es contante a lo largo del año, este cambia por los requerimientos hídricos de los cultivos presentes durante cada mes, los cuales cuentan con diferentes ciclos de vida.

## DISCUSIÓN

La Ley de Aguas Nacionales (Diario Oficial de la Federación, 1992), establece en sus diferentes artículos, el fundamento jurídico para el uso y explotación del recurso acuático en el nivel nacional. Un título de concesión es un documento otorgado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que autoriza a las personas físicas o morales los derechos sobre el uso y explotación de bienes públicos, en este caso, el agua. En el contexto mexicano, el gobierno otorga estos títulos a personas físicas o jurídicas para aprovechar el agua de ríos, lagos, presas, pozos o norias, que son consideradas aguas nacionales. Un título de concesión se solicita cuando se quiere usar, explotar o aprovechar el agua en los siguientes casos: Para uso agrícola, industrial, pecuario, acuicultura, agro-industrial, generación de energía eléctrica, doméstico, público urbano o de servicios. El plazo de la concesión no será menor de cinco ni mayor de treinta años.

El uso de agua de estos sistemas, también denominados jaguayes, bordos, microembalses, estanques “rústicos” o microreservorios, se ha diversificado al ser empleados también como abrevaderos para el ganado y para actividades de extensionismo acuícola (Quiróz y Díaz, 2010). Si bien, estas actividades son realizadas de manera integral en el bordo La Palapa, su principal uso y función es utilizar el agua para las actividades de riego, la cual va afectando de manera gradual a la calidad del sistema por el gran aporte de nutrientes en relación a su volumen y su aumento significativo en su capacidad productiva.

En general son embalses someros con profundidades máximas entre uno y cinco metros, que se llenan principalmente durante la época de lluvias (Quiroz y Díaz, 2010), también al ser un sistema somero, el tiempo de permanencia del agua es menor a un año, ya que factores como la precipitación, evaporación y escurrimiento superficial alteran directamente su volumen. Estas características se aprecian claramente en La Palapa, ya que se registra una variación significativa en las profundidades máximas del sistema entre las dos temporadas de muestreo siendo de 3.2 y 2.95 metros respectivamente para las temporadas de lluvias y secas, sin rebasar los 5 metros registrados por Retana (2019).

Los cultivos para poder crecer y desarrollarse necesitan absorber agua del suelo. Cuando el contenido de humedad es bajo se dificulta la absorción, por ello es necesario regar para reponerla y que quede disponible para las plantas. De acuerdo con Demin (2014,) en riego siempre se deben reducir las pérdidas de agua, haciendo un uso más eficiente de la misma. La eficiencia de riego es la cantidad de agua disponible para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. En el riego por superficie comúnmente, en algunas partes del terreno, pueden existir pérdidas por infiltración, y para poder mantener un nivel adecuado de riego, la realización del cálculo en el requerimiento hídrico de cada cultivo y el área de cultivo aledaños a La Palapa, resultan fundamentales para poder saber el nivel mínimo adecuado del volumen de agua del sistema de riego y poder asegurar el volumen de agua adecuados en los cultivos.

Según Larrea *et al.* (2014) los sistemas de riego comunitarios abarcan diversos factores para obtener unos buenos logros tales como construcción de sistemas de riego, acuerdos equitativos de la repartición del agua, movilizaciones en pro y contra de políticas nacionales o locales conseguidos en beneficio de los sistemas de riego, a partir de la gestión de las organizaciones de los usuarios de las juntas de agua. López-Olivari (2016) describe que el manejo del agua de riego no sólo considera conocer las diferentes características de los sistemas de riego y aplicarlos, sino también entender cómo el agua (entregada por los métodos de riego o lluvia efectiva) se mueve desde el suelo a la atmósfera. La cuantificación y monitoreo de este movimiento de agua es fundamental para determinar las necesidades hídricas de las plantas y aplicar una óptima programación del riego. En el microembalse La Palapa este sistema de riego ha sido exitoso, pues la población dependiente del sistema cuenta con un horario fijo acordado sobre la apertura del canal de riego y el volumen de agua que se libera, por lo que se cuenta con un buen manejo aparente del sistema.

En la mayoría de los casos, por falta de información o asesoría directa, los agricultores aplican cantidades inadecuadas de agua, ya sea más de la que realmente necesitan los cultivos o bien cantidades inferiores. Para poder solucionar estos conflictos, la medición en los caudales tanto de entrada como de salida resultan fundamentales en las prácticas de riego, ya que de acuerdo con Fernández *et al.* (2019) el caudal máximo que requerirá el sistema de riego, deberá ser menor al caudal disponible en la fuente de abastecimiento, o menor al gasto concesionado. Actualmente el microreservorio La Palapa, cuenta déficit en el manejo del agua para el riego, tan solo para el mes de mayo se calcula un gasto de agua de 2,736.67 l/s para el total de área de cultivo, el cual resulta mucho mayor al volumen de agua total que entra al sistema por día, siendo el gasto de agua calculado durante la temporada de secas más del triple que el volumen de agua que recibe de Amate amarillo. Mequanent *et al.* (2021), citan que el bajo volumen de agua (agravado por el riego) durante la zona temporada de secas, puede no ser soportado por los peces, principalmente para el proceso reproductivo por las necesidades del hábitat que requieren.

Sin embargo, los ejidatarios deben pagar por la concesión del agua y, por lo tanto, es necesario comprobar que el gasto que tiene de entrada y salida del ecosistema acuático es el que ha sido aprobado por la CONAGUA, cuyo valor en promedio de acuerdo a la tarifa mensual en México es de 188.23 pesos por m<sup>3</sup>. En tanto, el segmento industrial es el que concentra los precios más altos por el alto consumo de agua que presentan (<https://www.gob.mx/tramites/ficha/contrato-de-servicio-de-agua-potable/Entidades>).

Actualmente el microreservorio La Palapa cuenta con una aparente sobre explotación del recurso hídrico teniendo un volumen de gasto mucho mayor comparado a los volúmenes de entrada de agua, si bien el riego en todos los cultivos puede no sea diaria. Durante el día, el riego tiene que asegurar que el volumen de agua sea compensado, por lo que se recomienda hacer un seguimiento continuo en el gasto hídrico durante los meses posteriores, para poder tener una mejor aseveración en el manejo del recurso y poder dar mejores recomendaciones para la subsistencia del sistema.

Mequanent *et al.* (2021), mencionan que el uso creciente del agua por parte de los diferentes sectores en la subcuenca son el riego, la energía hidroeléctrica, el suministro de agua para uso doméstico, el caudal ambiental, el uso industrial del agua, la navegación y los desarrollos turísticos. Sin embargo, el riego tiene la mayor proporción del uso del agua. Otras actividades de demanda de agua, son debido a los nuevos proyectos de riego emergentes, la urbanización, los requerimientos demográficos, las actividades productivas distintas, los diversos usos y usuarios, los incentivos normativos y económicos adversos al uso eficiente de los caudales, presupuestos, así como una gestión inercial, los cuales están aumentando agresivamente (Vega, 2024). El cambio climático también puede ser una amenaza para este sistema de agua dulce y entonces, relacionado con esta y otras razones, el caudal está disminuyendo, lo cual pone en peligro a las actividades de acuicultura extensiva de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) y langosta de quelas rojas (*C. quadricarinatus*) que se realizan en este sistema acuático también.

Vega (2024) señala que, para las 13 regiones hidrológico-administrativas de México, la demanda del líquido supera, a veces en gran medida, la disponibilidad del agua para la realización de otras actividades diferentes a la necesaria para la agricultura. Por lo tanto, el gasto de un cuerpo de agua, pluviosidad, el caudal de los efluentes y la estructura del cauce, resultan ser factores de estudio fundamentales para el uso adecuado y correcto, así como el mantenimiento de los reservorios acuáticos terrestres en beneficio de las comunidades y sin que se vean afectados a su vez (Izquierdo y Madroño, 2013).

De manera global a manera de conclusión, se puede decir que durante los meses de muestreo el sistema La Palapa contó con una variación en los volúmenes de entrada de 177.925 l/s y 115.792 l/s respectivamente para las temporadas de secas y lluvias, y se estima que los factores más importantes que afectaron la variación en los volúmenes fueron el material de recubrimiento de los canales y los tipos de cultivos predominantes aledaños a las entradas, pudiendo ser cultivos de alto requerimiento hídricos los predominantes cercanos a la entrada 1.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todos los estudiantes del Laboratorio de Limnología por su participación en el monitoreo para la toma de muestras de agua. Al proyecto PE213718 del programa PAPIME de la DGAPA y a la FES Zaragoza, UNAM, por el apoyo financiero brindado para la realización de este estudio.

## REFERENCIAS

Aguilar, N. (2015). Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA). México.

Arredondo-Figueroa, J.L. y Flores-Nava, A. (1992). Características Limnológicas de Pequeños Embalses Epicontinentales, su uso y manejo en la acuicultura. *Hidrobiológica*, Vol. 3/4: 1-10.

Baron, J. S., Poff, L., Angermeier, P. L., Dahm, C. N., Gleick, P. H., Hairston, N.G., Jackson, R.B., Johnston, C.A., Richter, B.D. y Steinman, A.D. (2003). Ecosistemas de Agua dulce Sustentables. *Rev. Tópicos en Ecología*, No. 10: 1-15.

Blanco, M. C. (2017). Manual de producción de cebolla. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago, Chile.

Camacho, G.H.D., García, S.A.E. y Bravo, P. H.M. (2016). Evaluación de costos de adaptación al cambio climático en organismos operadores de agua. Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México A.C. e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Juitepec, Morelos 142 p.

Coche A.G. y Van Der Wal, H. (1981). Agua para la piscicultura del agua dulce. Métodos sencillos para la acuicultura. Colecc. Roma, FAO: Capacitación, (4), 111 p.

COEM-Morelos (2014). Programa estatal hídrico de Morelos 2014-2018. Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. Dirección General de Legislación. 115p.

CONAGUA (2010). Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Morelos. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.

CONAGUA (2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuautla-Yautepec (1702), estado de Morelos. Comisión Nacional del Agua. Diario Oficial de la Federación, México, D.F.

CONAGUA (2013). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuernavaca (1701), estado de Morelos. Comisión Nacional del Agua. Diario Oficial de la Federación, CDMX.

CONAGUA (2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan (1704), estado de Morelos. Comisión Nacional del Agua. Diario Oficial de la Federación, CDMX.

CONAGUA (2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Zacatepec (1703), estado de Morelos. Comisión Nacional del Agua. Diario Oficial de la Federación, CDMX.

Cruz, O. (2013). El cultivo de maíz, Manual para el cultivo de maíz en Honduras. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). Honduras.

De la Lanza-Espino, G. y García-Calderón. J.L. (2002). Lagos y Presas de México. AGT Editor, 2da Edición, México. 680 p.

Demin, P. E. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego, Métodos de riego; fundamentos, usos y adaptaciones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuarias (INTA). Argentina.

Diario Oficial de la Federación (1992). Ley de Aguas Nacionales. Secretaría General, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. CDMEX. Última Reforma DOF 08-05-2023. 118 p.

Duarte, J. O. y Gonzales V. J. (2019). Guía técnica cultivo caña de azúcar. Proyectos Paquetes Tecnológicos (PPT). San Lorenzo, Paraguay.

- Deras, H. y Flor, R. (2018). Cultivo de maíz (*Zea mays L.*). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). El Salvador.
- Fernández, R. D., Martínez, M. M., Tavarez, E. C., Castillo, V. R. y Salas, M. R. (2019). Estimación de las demandas de consumo de agua. Colegio de Postgraduados (C.P.) y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo social, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. 33 p.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köepen, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México. 90 p.
- Gastón, A. y Pouilly, M. (2012). Caudal Ecológico: Definiciones, Metodologías y adaptación a la región andina. Acta zoológica lilloana 56 (1-2): 15-30.
- Granados-Ramírez, J.G., Gómez-Márquez, J.L., Peña-Mendoza, B. y Martínez-Alaníz, M. (2014). Inventario de Cuerpos de Agua del Estado de Morelos. 1ª Edición AGT Editores Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 355 p.
- Greenpeace. (2010). México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación. México D. F. 69 p. [www.greenpeace.org.mx](http://www.greenpeace.org.mx)
- INEGI (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ayala, Morelos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI (2017). Anuario estadístico y geográfico de Morelos 2017. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INIFAP (s.f.). Tecnologías de producción para el cultivo de frijol de temporal en el estado de San Luis Potosí. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA). San Luis Potosí, México. Recuperado de. <http://www.campopotosino.gob.mx/modulos/tecnologiasdesc.php?id=32#:~:text=La%20siembra%20se%20debe%20realizar,semilla%2C%20dependiendo%20de%20la%20variedad.>
- INIFAP (2013). Tecnología para el cultivo de la caña de azúcar en temporal en el estado de San Luis Potosí. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA). San Luis Potosí, México.
- Izquierdo, S. M. y Madroñero, P. S. (2014). Régimen de Caudal Ecológico, Herramienta de gestión para conservar la biota acuática. Rev. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 23-2: 77-94.
- Larrea, D., Sosa, B. y CESA. (2014). El riego, planificación y tecnificación. Ed. Quinto. Ecuador.
- López-Blanco J. y Zambrano-Gonzales L. (2001). Propiedades Limnéticas de Sistemas Dulceacuícolas Pequeños en Acambay, México: Correlación de datos de campo con imágenes de video con color. UNAM, Investigaciones Geográficas, No. 44: 64-64.
- López-Olivari, R. (2016). Manejo y uso eficiente del agua para riego intrapredial para el sur de Chile, conceptos y consideraciones básicas en métodos y programación de riego para optimizar el recurso hídrico. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile.
- Mata, H., Patishtán, J., Vázquez, J. y Ramírez, M. (2011). Fertiirrigación del cultivo de cebolla con riego por goteo en el sur de Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México.
- Martínez, S.J. (2015). Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan. Tesis de Maestría en Ingeniería. Facultad de Ingeniería UNAM. México. 94 p.
- Melgarejo, P. (1999). Frutales de zonas áridas, el cultivo de la Higuera (*Ficus carica L.*). Ediciones-AMV. Madrid, España.

- Mequanent, D., Mingist, M., Getahun, A. y Anteneh, W. (2021). Impact of irrigation practices on Gilgel Abay, Ribb and Gumara fisheries, Tana Sub-Basin, Ethiopia. *Heliyon*, 7: e06523.
- Minagri (2015). Manual No. 5, Medición de Agua. Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego. Lima, Perú.
- Murdoch, P.S., Barón, J.S., y Millar, T.L. (2000). Potential effect of climate change on surface water quality in North American. *Journal of the American Water Research Association*, 36, 347-366.
- O'Keeffe, J. y Le Quesne, T. (2010). Como conservar los ríos vivos, guía sobre los caudales ecológicos. WWF, 2ª ed. Gland, Suiza.
- Quiroz, H. y Díaz, M. (2010). Los bordos y su aprovechamiento en Morelos. *Inventio*, 6 (12): 33-38.
- Quiroz-Castelán, H., Martínez, J.C., García, R.J., Molina, A.F.L. y Díaz V.M. (2009). Análisis de los componentes zoobentónicos en un bordo temporal utilizado para acuicultura extensiva en el Norte del Estado de Guerrero, México. 25 p. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*. Vo. 10, 25 p.
- Rabasa, G. (2016). Las curvas de gasto en las estaciones de aforo: Limnímetros y aforos directos. Iagua. Confederación Hidrográfica del Ebro. <https://www.iagua.es/blogs/conoce-che-y-gestion-agua/curvas-gasto-estaciones-aforo-limnmetros-y-aforos-directos>
- Retana, R. J. (2019). Análisis de la calidad del agua y su relación con la comunidad zooplánctica en el microembalse La Palapa, en Morelos, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en ICMYL, UNAM, México. 115 p.
- Tapia, R.G., J.P.A. Molina, G.B.M. Pérez y A.A.A. Torres. (2012). Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico. *Publicación Técnica No. 356*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, México. 100 p.
- Trejo-Albarrán, R., Gómez-Márquez, J.L., Granados-Ramírez, J.G. y Granjeno-Colín, E. (2023). Riqueza del zooplancton de ambientes lénticos del estado de Morelos. *International Journal of Biological and Natural Sciences*, 3(4), 1-17.
- Treviño, R. (2024). Sequías y gestiones hídricas insuficientes: las causas de escasez de agua en México. *TecScience*. <https://tecscience.tec.mx/es/humano-social/escasez-de-agua-mexico/>
- Vega, L.E. (2014). Foro 20-20 UNAM Encuentro Multidisciplinario. *Gaceta UNAM*, 9 de diciembre del 2024. <https://www.gaceta.unam.mx/tag/foro-20-20-encuentro-multidisciplinario/>