
Necesidades mínimas de Caudal del Ecosistema Acuático del Río Marabasco, con base en el Análisis Hidrológico y de Indicadores Biológicos

R. I. Huerto-Delgadillo^{1*}, P. Saldaña¹, J. Izurieta¹, P. Alonso¹, E. Gutiérrez², L. Colón²

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ²Comisión Nacional del Agua

Recibido 15 mayo 2007, revisado 17 septiembre 2007, aceptado 21 noviembre 2007

Minimum Flow Requirements of River Marabasco Aquatic Ecosystems, based on the Hydrological analysis and Biological Indicators

Abstract

The growing water shortage for covering subsistence and endowment requirements for population supply gets more complicated, making necessary the creation of a hydraulic infrastructure capable to warrant water supply for its diverse uses. However, this infrastructure most allows ecological integrity, which in turn depends on the variation of the flux regime upon which they are completely adapted. Marabasco river, is the natural border between Jalisco and Colima states, in which the construction of a dam is planed, being the reason for this work in which an analysis of the representative macroinvertebrate populations present at the influence region, taking in consideration the natural dynamic of the hydrological system in the river, in order to establish minimum flow needs for the maintenance of this community based on its needs. The abundance, tolerance and ecological requirements were determined for the benthonic macroinvertebrate community living at the river. Hydrological analysis was done with daily records along 37 years (1960-1990 and 1966-2002). Determined organisms families are clean water indicators, since they are dependent on the continuous flow of well-oxygenated unpolluted water. The hydrological analysis indicated that the dam would not retain more than 20% of the annual flow, although mean water flows are expected to be less over the dry season, between April and June. With an adequate dam operation politic, standard historical monthly registry behavior will be kept in order to satisfy fresh water demand for consumption and irrigation. There for, more than 80% of the dam's water volume is expected to flow downstream, allowing for the maintenance of flux and depth conditions necessary for the permanence of the macroinvertebrate community at the river, and its arrival to the cost line.

Keywords: biological indicators, hidrology, minimum flow.

Resumen

La escasez creciente para cubrir los requerimientos de subsistencia y dotación de agua para el abastecimiento a la población, es cada vez más difícil, por lo que se hace necesaria la creación de infraestructura hidráulica que garantice la dotación de agua para diversos usos. Sin embargo, ésta infraestructura debe permitir la integridad ecológica de estos sistemas, la cual depende de la variación del régimen de flujo al que se encuentran completamente adaptados. En el río Marabasco, el cual es la frontera natural entre los estados de Jalisco y Colima, se pretende la construcción de una presa, por lo que en este trabajo se presenta un análisis de las poblaciones de macroinvertebrados presentes en la zona de influencia y de la dinámica natural del sistema hidrológico en el río, para establecer las necesidades mínimas de caudal para el mantenimiento de ésta comunidad con base en sus necesidades. Se determinó la abundancia, tolerancia y requerimientos ecológicos de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos presentes en el río.

* Autor de correspondencia
E-mail: rhuerto@taloc.imta.mx

El análisis hidrológico se realizó con los registros diarios correspondientes a 37 años (1960-1990 y 1996-2002). Se observó que las familias de organismos determinadas son indicadores de aguas limpias, ya que son dependientes de un flujo continuo de agua bien oxigenada y no contaminada. El análisis hidrológico indicó que la presa no retendrá más allá de un 20% del caudal anual, aunque en promedio se esperan caudales menores sobre todo en los meses antecedentes al periodo de lluvia, entre abril a junio. Con una política de operación adecuada de la presa, se podrá respetar el patrón de comportamiento mensual registrado históricamente para satisfacer las demandas de agua potable y riego. Por lo tanto y en promedio se espera que más del 80% del volumen que escurre por la presa transite aguas abajo, lo cual permitirá mantener las condiciones de flujo y profundidad necesarias para la permanencia de la comunidad de macroinvertebrados observada en el río, además de llegar a los cuerpos costeros.

Palabras clave: indicadores biológicos, hidrología, caudal ecológico.

Introducción

El desarrollo económico de las naciones ha evolucionado paralelamente con el incremento en el uso de los recursos hídricos. Esto ha ocasionado una fuerte presión sobre los mismos alterando el régimen natural de los ríos, los ecosistemas fluviales y limitando los bienes y servicios provistos por los sistemas de agua dulce. Es así como en muchos países del mundo se ha comenzado a abordar el tema del aprovechamiento de los recursos hídricos de una manera más integral, lo que significa realizar estudios interdisciplinarios en las cuencas hidrográficas con el fin de garantizar la sustentabilidad de los recursos naturales y de los bienes que ellos proveen; cada vez es más clara la necesidad de proteger los sistemas acuáticos (Castro et al., 2006). En respuesta a las nuevas políticas que están siendo desarrolladas en el mundo para asegurar prácticas sustentables y responsables, se están aplicando técnicas de estimación del régimen de caudal ambiental para ayudar a reducir los impactos. Es así como en muchas partes del mundo se trabaja constantemente en establecer o tener una mayor proximidad sobre cuáles son los caudales que deben permanecer en un río después de un aprovechamiento, definiéndolo bajo varios parámetros y manejando diferentes componentes como la hidráulica, la hidrología, la ecología, etc. El flujo natural del un río varía en escalas de tiempo de horas, días, estaciones, años y mayores que éstas. Se requieren muchos años de observación del flujo de una corriente para describir el patrón característico de su caudal, la temporalidad y la variabilidad para definir su régimen de flujo natural (Poff et al., 1997).

En países como Estados Unidos, Canadá y la Unión

Europea, desde hace tres décadas se han aplicado instrumentos denominados de “flujo de base o intrínseco de las corrientes”, para intentar garantizar esos usos ambientales manteniendo una cierta cantidad de agua (caudal) dentro de un cauce. En México, este tema se volvió apremiante desde la Ley de Aguas Nacionales, del 1° de diciembre de 1992, y su Reglamento, el 12 de enero de 1994 (CNA, 1994), así como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en 1996 (Semarnap, 1996); legislaciones que establecen la necesidad de conservar o considerar un caudal en las corrientes superficiales para mantener su equilibrio ecológico (en García et al., 1999).

La Comisión Nacional del Agua tiene el proyecto de construcción de la Presa de Almacenamiento El Naranjo II, Colima, sobre el río Marabasco o Cihuatlán, considerado como de infraestructura hidroagrícola. En la zona de estudio, en la temporada de lluvias, la corriente del río inunda amplias zonas de riego y parte de los poblados de ambas márgenes del río y en la planicie costera, ocasionando pérdidas cuantiosas a los agricultores; la obra proyectada servirá para la regulación de la corriente y protección contra inundaciones a los poblados de Cihuatlán, Marabasco y El Rebalse, además de incrementar la zona agrícola. Debido a lo anterior, y como parte de las estrategias nacionales de lograr el uso eficiente del agua, el gobierno federal en coordinación con los gobiernos estatales de Colima y Jalisco, proponen la construcción de la presa, que permita que el agua sea utilizada para riego en el Distrito de Riego 053 y, en el mediano plazo, contar con una reserva de agua para abastecer a Cihuatlán y Barra de Navidad

a través de la infraestructura hidráulica existente. Ante esta posibilidad la CONAGUA, solicitó en principio, el análisis hidrológico del río para simular el comportamiento del vaso; conforme fue avanzando el estudio se fueron incorporando nuevas condiciones de manejo, como lo fue el incluir primeramente el análisis del caudal ecológico y posteriormente un análisis prospectivo de alguna comunidad que determinara las necesidades biológicas de suministro, siendo la comunidad de macroinvertebrados bentónicos la elegida. Para el caso de la fauna de macroinvertebrados bentónicos se tomaron muestras de estos organismos en cuatro estaciones de muestreo, incluyendo el sitio de construcción de la cortina de la presa. Se determinó su abundancia, su tolerancia y requerimientos ecológicos. El análisis hidrológico se realizó con los registros diarios correspondientes a 37 años (1960-1990 y 1996-2002), y con base en las recomendaciones de Tennant (1976) (en García et al. 1999). Por lo tanto en este trabajo se presenta un análisis preliminar de las poblaciones de macroinvertebrados presentes en la zona de influencia y de la dinámica natural del sistema hidrológico en el río, para establecer las necesidades mínimas de caudal para el mantenimiento de ésta comunidad con base en sus características.

Materiales y métodos

Descripción del Área de Estudio

La zona de estudio se localiza en la planicie costera del Océano Pacífico, en las partes adyacentes a los límites de los estados de Jalisco y Colima, y esta situada entre los 19° 22' 14.40" de Latitud Norte y 104° 17' 59.63" de longitud Oeste y 19° 07' 54.09" de Latitud Norte y 104° 38' 39.04 de longitud Oeste, respecto al Meridiano de Greenwich (fig. 1). Esta ubicación incluye la zona de desarrollo del proyecto, el distrito de riego 053 y la desembocadura del río Marabasco. El área del proyecto se encuentra a una altitud de 40 metros sobre el nivel del mar, la cual aprovecha los escurrimientos del río Cihuatlán o Marabasco. El paisaje vegetal en el área del proyecto es complejo, diverso en tipos de vegetación y variado en especies, en vista de que varios de los tipos vegetativos presentes en estas sierras de las costas de Colima y Jalisco, corresponden a los siguientes ecosistemas: Selvas, Baja Caducifolia (Bosque

Tropical Caducifolio y Subcaducifolio, Rzedowski (1978), y Mediana Subcaducifolia; Bosques, de Encino y de Pino-Encino (fuera de la zona del proyecto); Vegetación de dunas costeras, Manglar y Palmar. En la zona de estudio existen áreas con diversos grados de alteración, debido a las actividades antrópicas, tales como la explotación de especies arbóreas maderables y no maderables, además del pastoreo y ramoneo realizado por el ganado. Es evidente que las actividades humanas son la principal causa de disturbio en la vegetación y por lo tanto, de los fenómenos de sucesión, aparte de que son los acontecimientos más trascendentes que ocurren actualmente en la zona.

La zona de estudio está situada al sur del trópico de Cáncer, en la región denominada Llanura Costera del Pacífico, corresponde a un área climática clasificada como cálido húmeda con lluvias en verano. La temperatura media anual oscila entre 17.7 °C y 23.4 °C. La precipitación pluvial media anual varía entre 832 a 2049 mm. La variación extrema en las temperaturas son las siguientes: máxima de 44.8 °C y la mínima es de 3.9° C. La precipitación máxima anual alcanza los 2803 mm y la mínima los 368 mm.

De acuerdo al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, modificada por García E. (1988), el clima en la zona de estudio, pertenece al grupo de los climas caliente subhúmedo con lluvias en verano Awo(w)i, con régimen de lluvias de verano, tipo ganges. Es el menos húmedo de los Aw, semicálido con verano fresco, temperatura media anual entre 18 y 22 °C y la del mes más frío inferior a 18 °C, con un coeficiente Precipitación-Temperatura (P/T) menor de 44.4 y lluvia invernal menor al 2.8% con respecto de la anual y una diferencia entre el mes más caliente con respecto al mes más frío de 4°C y el mes más caliente en la estación Chihuahua y Punta Campos.

El río Cihuatlán tiene su origen a una elevación de 2,800 msnm, aproximadamente a 15.0 km al norte del poblado de Minatitlán, estado de Jalisco. La dirección de su cauce es irregular en general, en los primeros kilómetros hacia el sur y los 63 restantes hacia el suroeste; al llegar a la costa forma pequeñas lagunas y esteros, siendo el más importante el estero Potrero Grande y posteriormente el de Las Garzas. El área de cuenca total de este río es de 2,105 km². Sobre el río Cihuatlán en un punto situado a 12 km de su desembocadura, es decir, a 40 km aguas debajo de

la confluencia del río Marabasco, se localiza la estación hidrométrica Cihuatlán; localizada a 2 km aguas arriba del poblado del mismo Nombre. De este sitio provienen los datos con los que se analizó el comportamiento hidrológico para un periodo de 37 años (1960-1990 y 1996-2002) para obtener la estadística de los registros de caudales diarios.

En cuanto al análisis de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, éstos se emplearon como indicadores de la calidad del agua aplicando un índice que se basa en la estructura de la comunidad, llamado Índice de Comparación Secuencial (ICS) de Cairns y Dickson (1971). Este índice define la calidad del agua de acuerdo con los resultados obtenidos, teniendo que valores de 0 a 8, son aguas contaminadas, de 8.1 a 12, son aguas medianamente contaminadas y de 12.1 en adelante,

grado de tolerancia y requerimientos ecológicos de la comunidad, con base en las consideraciones de Hilsenhoff (1982). El muestreo de los organismos se realizó en el mes de octubre de 2004. Se consideraron las siguientes estaciones sobre el río Marabasco desde el poblado de Minatitlán: antes de la descarga de la Presa de Jales ($19^{\circ} 20' 52.44''$ N, $104^{\circ} 04' 54''$ W), después de la descarga de la Presa de Jales ($19^{\circ} 20' 43''$ N, $104^{\circ} 04' 38''$ W), después del poblado de Peña Colorada ($19^{\circ} 21' 24''$ N, $104^{\circ} 05' 19''$ W), la última estación se estableció en la Boquilla 5, que es el sitio donde se pretende construir la cortina de la presa ($19^{\circ} 16' 27.6''$ N, $104^{\circ} 26' 16.74''$ W) (fig. 1).

Resultados y discusión

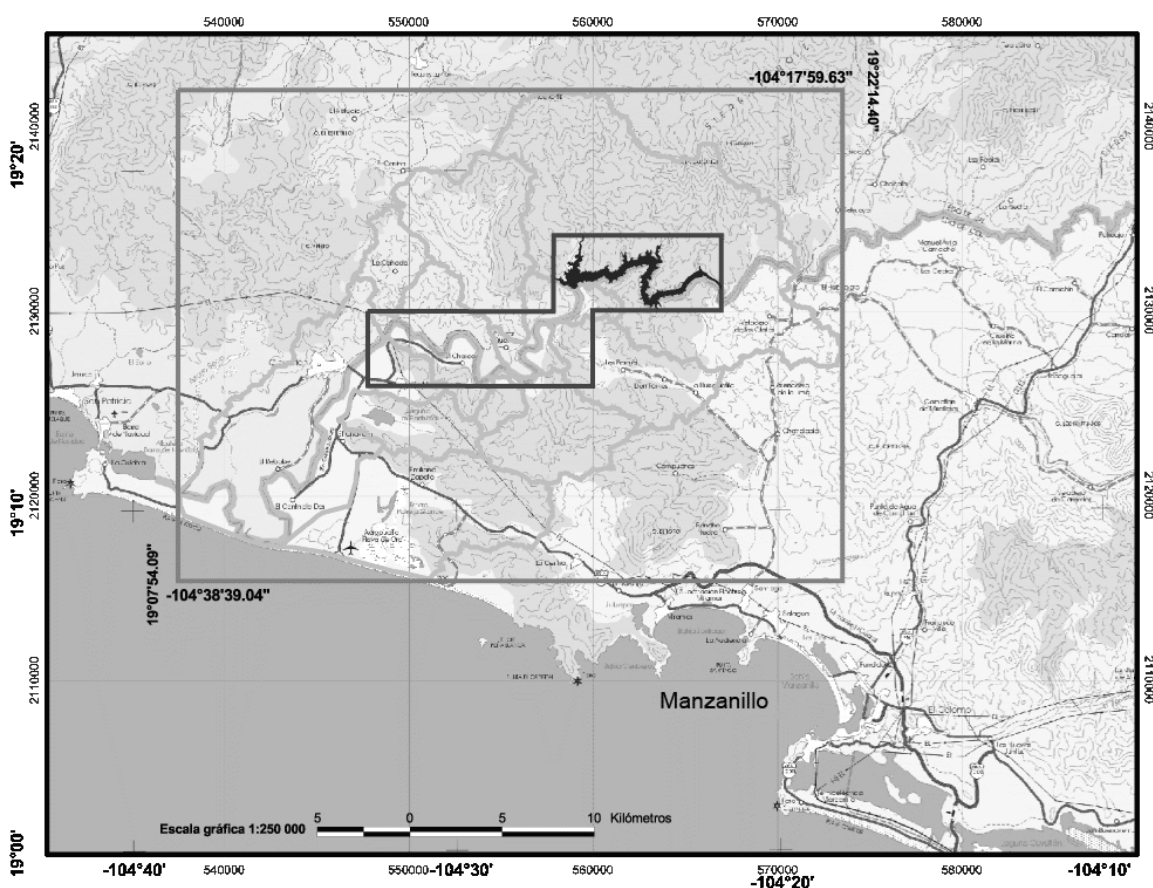


Figura 1. Plano de localización de la zona de estudio en el río Marabasco.

se consideran aguas limpias. También se definió el

Análisis de macroinvertebrados bentónicos y

calidad del agua

Como puede observarse en la tabla 1, las estaciones aguas arriba localizadas en el poblado de Peña Colorada, antes y después de la descarga de la presa de Jales, resultaron con condiciones de aguas no contaminadas con índices por arriba de 12 que es el criterio establecido.

Los resultados obtenidos para las siguientes dos estaciones determinaron condiciones de aguas medianamente contaminadas después del poblado de Peña Colorada, y de contaminación en la Boquilla 5, sin embargo estos resultados no necesariamente representan estas condiciones de contaminación, sino que la baja diversidad observada se debe a el arrastre de los organismos por haberse muestreado en época de lluvias, con el consecuente aumento del gasto del río. Además, los organismos encontrados en estas estaciones son considerados como indicadores de aguas no contaminadas, como los efemerópteros, los coleópteros y los crustáceos encontrados. Debido a lo anterior se debe muestrear en otras épocas del año.

Del análisis de la comunidad de macroinvertebrados se obtuvieron las siguientes familias: Elmidae, Pleuroceridae, Leptophlebiidae, Psephenidae, Palaemonidae, y Naucoridae. Los élmidos son escarabajos totalmente acuáticos que habitan en sistemas lóticos; se presentan tanto en época de lluvias como de estiaje, y presentan un grado de tolerancia de 4 (muy buena calidad del agua) con base en Hilsenholff (1982, 1988). Los gastrópodos pertenecientes a la familia Pleuroceridae son caracoles completamente acuáticos, que pueden presentarse en sistemas lóticos, lénticos y rocas; se presentan tanto en época de lluvias como de estiaje, son organismos con una tolerancia de 3.7 (muy buena calidad del agua). Los efemerópteros de la familia Leptophlebiidae se presentan en sistemas

lóticos en rocas y sedimentos, tanto en época de lluvias como de estiaje; presentan una tolerancia de 2 (excelente calidad del agua). Los organismos de la familia Psephenidae son escarabajos semiacuáticos, presentes sobre todo en sistemas lóticos y básicamente en época de estiaje. Su tolerancia es de 5.4 (buena calidad del agua). Los hemípteros de la familia Naucoridae, se pueden encontrar en sistemas lóticos, lénticos y sobre vegetación; se presentan tanto en lluvias como en estiaje y presentan una tolerancia de 5 (buena calidad del agua).

De las familias determinadas, los Elmidae y los Leptophlebiidae fueron los más abundantes, siendo que la primera familia son consumidores de algas y detritos orgánicos finos, habitando cursos de agua corriente y presentan como adaptación respiratoria el Plastron, que es una capa fina de microsedas hidrófobas en varias partes del cuerpo que mantiene al animal rodeado de una capa de aire, que se comunica con un área debajo de los élitros. La presencia de este Plastron y las uñas tarsales largas permite a estos organismos vivir en aguas de flujo rápido, con altos contenidos de oxígeno disuelto y no contaminadas. Para el caso de los segundos insectos, presentan una gran adaptación a diferentes ambientes y condiciones de vida, pudiendo inclusive sobrevivir en ambientes moderadamente contaminados.

Por otra parte, tal como se ha estudiado (Palmer et al. 1992; Ligon et al., 1995; Grown y Grown, 2001), la diversidad de macroinvertebrados bentónicos o el número de taxa presentes, es menor en sitios en donde existen ríos regulados por presas que en aquellos en donde no existe una cortina de una presa, por lo que los efectos ocasionados por el manejo del agua, sobre todo con fluctuaciones constantes, pueden afectar a las comunidades acuáticas.

Con base en las características anteriores, se

Tabla 1. Resultados de calidad del agua en las estaciones de muestreo sobre el río Minatitlán-Marabasco, con base en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.

Estación de Muestreo	Índice de Comparación Secuencial	Dictámen
Antes de la descarga de la presa de Jales.	13.73	No contaminada
Después de la descarga de la presa de Jales.	17.17	No contaminada
Después del poblado de Peña Colorada	9.0	Medianamente contaminada
Boquilla 5 (Cortina)	6.88	Contaminada

observa que estos organismos son dependientes de un flujo continuo de agua, lo que los hace buenos indicadores, por lo tanto, el que la presa permita un flujo constante durante todo el año, y no sólo en la época de lluvias, hará que estas comunidades al ser parte importante de la cadena trófica, permitan el establecimiento de otras durante todo el año, como el de la comunidad de peces.

Análisis Hidrológico y del Caudal Ecológico

En la tabla 2 se presenta el análisis de los registros de caudales diarios sobre el comportamiento hidrológico en el río Marabasco, para un periodo de 37 años (1960-1990 y 1996-2002).

Tabla 2. Caudales promedio (m^3seg^{-1}) del río Marabasco.

promedio	27.14
mínimo	0.01
máximo	238.23
D Standard	40.22
Varianza	1617.85

Por lo anterior se puede decir que el río es netamente estacional, cuyos aportes máximos se

presentan durante la época de lluvia (avenidas) correspondiente a los meses de junio a noviembre, en donde los caudales mensuales en época de lluvia llegan a ser del orden de hasta $240 m^3s^{-1}$, mientras que en los meses de secas (estiaje) de enero a mayo, los caudales disminuyen drásticamente oscilando entre 0 y $15 m^3s^{-1}$, como se puede observar en la fig. 2, con una varianza muy grande particularmente para la época de lluvias y manteniéndose muy constante en la época de estiaje.

La dinámica natural del sistema hidrológico en el río Marabasco presenta dos épocas; la primera en donde el régimen hidrológico tiene un periodo con caudales mínimos, y en algunos meses hay ausencia de caudal, entre los meses de febrero a mayo. Mientras que en la temporada de lluvias (entre junio y noviembre) el curso del río ocupa un lecho más ancho, modificando la geomorfología del río, e incluso inundando las áreas agrícolas del DR. 053.

Como se mencionó anteriormente, para la evaluación del caudal ecológico en el río Cihuatlán se utilizó la información de la estación hidrométrica Marabasco, ubicada sobre el puente de entrada a la ciudad de Cihuatlán. Por una parte se consideró

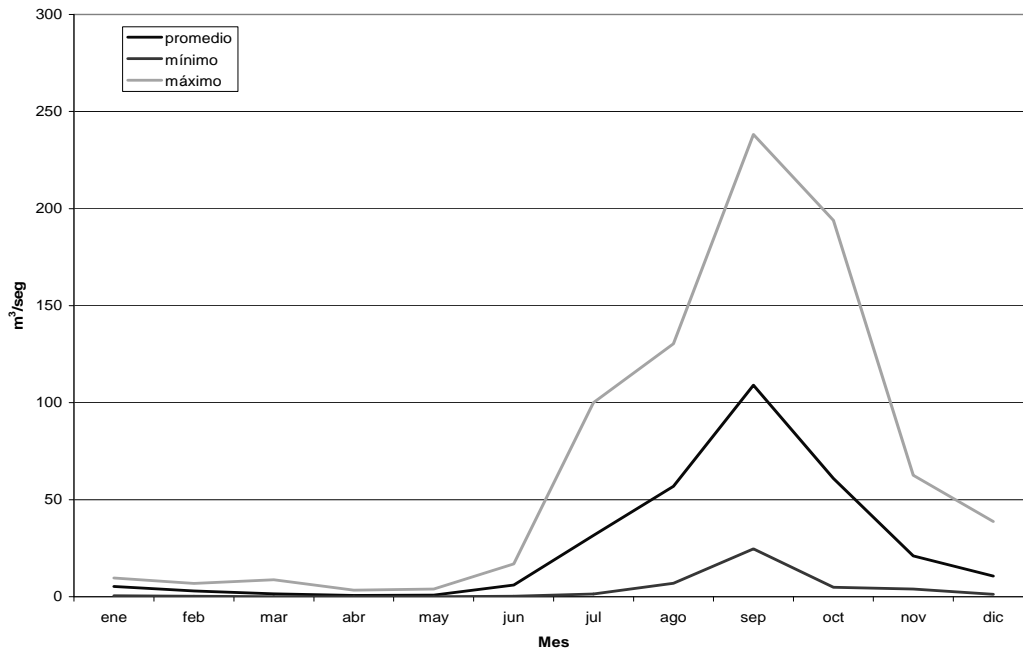


Figura 2. Comportamiento hidrológico anual del río Marabasco. (N= 37).

determinar el caudal ecológico para obtener el criterio cualitativo mínimo, calculado para todo el año como el 10% de los caudales medios anuales, siendo el caso más desfavorable para la conservación del hábitat acuático fluvial y para reducir el impacto en los organismos adaptados a reproducirse, migrar, desovar, etc., cuando ocurren cambios estacionales. Sin embargo, en la tabla 3 se presentan los caudales recomendables, como el porcentaje del Caudal Medio Anual (25.94 m³/seg.) con base en los criterios de Tennant (http://globalwaters.net/glows/Portals/0/lectures/EV R4211Sp2007_Lec16.pdf).

Para los caudales ecológicos recomendables en el Marabasco, se empleó el criterio cualitativo aceptable para la época de avenidas y estiaje, de esta manera se recomendó utilizar como mínimo un porcentaje del 10% del caudal medio anual para la época de estiaje, y el 30% para la época de

avenidas, con la finalidad de conservar los caudales más adecuados para la sobrevivencia de la mayoría de las formas de vida acuática (ver tabla 4).

A partir del análisis hidrológico, se determinó que la capacidad de almacenamiento de la presa representa el 17.5% del volumen promedio anual de escurrimiento en el río (850.9 Mm³) y las extracciones para satisfacer las demandas de riego equivalen al 18.4% del mismo escurrimiento anual.

Un análisis del funcionamiento del vaso muestra que con los registros históricos de caudales, y si se considera como demanda adicional, la distribución mensual del caudal ecológico recomendable dado en la tabla 3, existirán deficiencias para cumplir con este caudal en el 16 % de los meses (456 en total). Para mantener los caudales que se presentan en los meses de estiaje (marzo a mayo), se propone la distribución presentada en la tabla 5 y graficada en la fig. 3, de esta manera las deficiencias se

Tabla 3. Caudales recomendables para el río Marabasco.

Mes	Valor* Promedio Anual (m ³ /s)	Caudal Ecológico Recomendable (Porcentaje del Caudal Medio Anual)				
		Mínimo	Aceptable	Bueno	Excelente	Excepcional
		10%	10%-30%	20%-40%	30%-50%	40%-60%
Enero	5.341	2.714	2.714	5.428	8.142	10.856
Febrero	3.017	2.714	2.714	5.428	8.142	10.856
Marzo	1.508	2.714	2.714	5.428	8.142	10.856
Abril	0.738	2.714	2.714	5.428	8.142	10.856
Mayo	0.772	2.714	2.714	5.428	8.142	10.856
Junio	6.041	2.714	8.142	10.856	13.57	16.284
Julio	31.614	2.714	8.142	10.856	13.57	16.284
Agosto	56.942	2.714	8.142	10.856	13.57	16.284
Septiembre	108.969	2.714	8.142	10.856	13.57	16.284
Octubre	60.887	2.714	8.142	10.856	8.227	16.284
Noviembre	21.094	2.714	2.714	5.485	8.142	10.856
Diciembre	10.650	2.714	2.714	5.485	8.142	10.856

* Caudales de un periodo de cuarenta años (1960-2002).

Tabla 4. Propuesta de Caudales Ecológicos para el río Marabasco.

Mes	Caudal Natural (m ³ /s)	Caudal ecológico Recomendable (m ³ /s)
Enero	5.341	2.714
Febrero	3.017	2.714
Marzo	1.508	2.714
Abril	0.738	2.714
Mayo	0.772	2.714
Junio	6.041	8.142
Julio	31.614	8.142
Agosto	56.942	8.142
Septiembre	108.969	8.142
Octubre	60.887	8.142
Noviembre	21.094	2.714
Diciembre	10.650	2.714

reducirán a un 13% (57 contra 73 meses). En promedio se espera que más del 80% del volumen que escurre por la presa transite aguas abajo llegando a los cuerpos costeros.

Conclusiones

El río Marabasco es netamente estacional, cuyos aportes máximos se presentan durante las épocas de

noviembre, los caudales en época de lluvia llegan a ser del orden de $240 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mientras que en los meses de estiaje correspondientes a enero-mayo, disminuyen drásticamente oscilando entre 0 y $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Este comportamiento hidrológico, es típico de sistemas afectados por fenómenos meteorológicos de manera anual como son los ciclones, generando lluvias torrenciales en periodos de tiempo corto, lo cual provoca que se formen

Tabla 5. Caudal respetando meses de estiaje

Mes	Caudal Natural ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Caudal ecológico recomendable ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Enero	5.341	2.714
Febrero	3.017	2.714
Marzo	1.508	1.508
Abril	0.738	0.728
Mayo	0.772	0.722
Junio	6.041	6.041
Julio	31.614	8.142
Agosto	56.942	8.142
Septiembre	108.969	8.142
Octubre	60.887	8.142
Noviembre	21.094	2.714
Diciembre	10.650	2.714

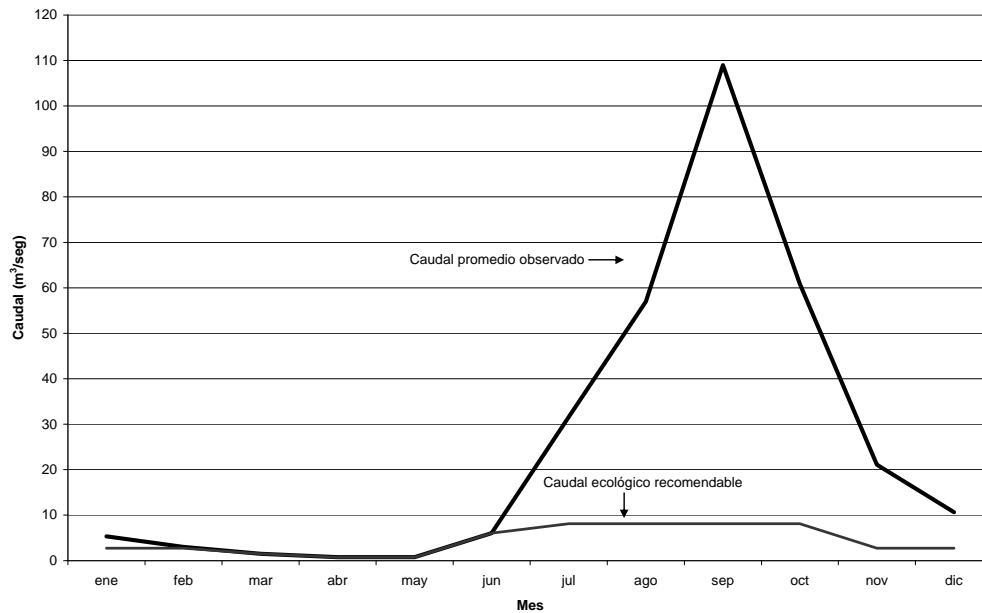


Figura 3. Patrón de comportamiento de caudales en la zona de estudio en el río Marabasco.

lluvia correspondiente a los meses de junio a avenidas de agua de gran magnitud que a su vez

acarrear gran cantidad de material. Las características de los organismos determinados indican que son dependientes de un flujo continuo de agua, lo que los hace buenos indicadores, sin embargo debe hacerse un estudio más detallado para determinar sus requerimientos ecológicos y como varían estas poblaciones a lo largo del año. Con una política de operación adecuada de la presa con base en las recomendaciones derivadas de este estudio, se podrá respetar el patrón de comportamiento mensual registrado históricamente en los meses de estiaje, y se podrán mantener las condiciones de flujo y profundidad necesarias para la permanencia de la comunidad de macroinvertebrados observada en el río.

Agradecimientos

Los autores agradecemos la ayuda proporcionada por el M.A. Alejandro Ordóñez y al M.C. Alejandro Ruíz por su apoyo en el trabajo de campo, así como al Biól. Marco A. Mijangos por su colaboración en el trabajo de campo, elaboración de mapas y análisis de planos.

Bibliografía

Cairns, J. y K. L. Dickson. (1971). A simple method for the biological assessment of the effects of water discharges on aquatic bottom-dwelling organisms. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 43 (5): 755-772 pp.

- Castro, L. M. Carvajal, Y, y Monsalve, E., 2006. Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. *Ingeniería y Universidad*, Vol. 10: N° 2: 21-30.
- García, E., González, R., Martínez, P. Athala, J., y Paz Soldán, G., 1999. Guía de aplicación de los métodos de cálculo de caudales de reserva ecológicos en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Colección Manuales. México, 190 pp.
- García E., (1987). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios. 4a Ed. México.
- Growns, I. O., & Growns, J. E., 2000. Ecological effects of flow regulation on macroinvertebrate and periphytic diatom assemblages in the Hawkesbury-Nepean River, Australia. *Regulated Rivers: Research & Management*. Vol. 17 N° 3: 275-293.
- Hilsenhoff W.L. (1982). Using a Biotic Index to evaluate water quality in streams. Technical Bulletin No. 132. Department of Natural Resources. Madison Wisconsin.
- Hilsenhoff W.L. (1988). Rapid Field Assessment of organic pollution with a family level biotic index. *J.N. Benthol Soc.* 7(1):65-68
- Ligon, F.K., Dietrich, W., Trush, W., 1995. Downstream Ecological Effectys of Dams. *BioScience*, Vol. 45, N° 3: 183-192.
- Palmer, M. A, Bely, A. E., y Berg, K., 1992. Response of invertebrates to lotic disturbance: a test of the hyporheic refuge hypothesis. *Oecologia*. Vol. 89 N° 2: 182-194.
- Poff, N. L., y Ward, J. V., 1997. The natural flow regime. A paradigm for river conservation restoration. *BioScience*. Vo. 47 N° 11: 769-784.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México.
- USAID, 2007. Global water for sustainability program. Water Resources. EVR4211- April2, 2007. Lecture: Protection water for the Environment. http://globalwaters.net/glows/Portals/0/lectures/EVR4211Sp2007_Lec16.pdf.