

Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant

Estimates of ecological flows in the Río Valles with the Tennant method

Germán Santacruz de León¹
y Miguel Aguilar-Robledo²

¹Programa Agua y Sociedad. El Colegio de San Luis, A.C. Parque de Macul # 155, Col. Colinas del Parque. San Luis Potosí, S.L.P. C.P. 78299. Tel. (444) 8 11 01 01 ext. 6109. Autor para correspondencia: gsantacruz@colsan.edu.mx

²Programa Multidisciplinario en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Industrias 101-A, Fracc. Talleres, San Luis Potosí, SLP, 78494, México. Tel/fax. (444) 818-2475 y 818-6453

Santacruz de León G. y M. Aguilar-Robledo. 2009. Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant. *Hidrobiológica* 19(1): 25-32

RESUMEN

Los caudales ecológicos se definen como el régimen fluvial en un cuerpo de agua que permite mantener el funcionamiento del ecosistema acuático en condiciones naturales. La legislación ambiental en México establece la importancia de fijar estos caudales en los cuerpos de aguas nacionales, sin embargo, son pocos los ríos en los que se tienen establecidos. Se fijaron dos puntos (Micos y Santa Rosa) sobre el cauce principal del Río Valles, San Luis Potosí; a la información hidrométrica registrada en esos puntos se le aplicó el método Tennant para estimar los caudales ecológicos. Los resultados mostraron que en los últimos treinta años, dichos flujos han disminuido entre 10 % y 11 %. Se concluyó que, en términos de flujo de agua, las condiciones más adversas para la vida acuática se presentan de marzo a mayo en el tramo Micos-Santa Rosa.

Palabras clave: Caudales ecológicos, método Tennant, Río Valles.

ABSTRACT

The ecological flows are defined as the fluvial regime in a water body needed to function fluvial ecosystem. The environmental legislation in Mexico establishes the importance to setup ecological flows in water; however they are few rivers with established ecological flows. In this research were set two points (Micos and Santa Rosa) on the mainstream River Valles, San Luis Potosí; on these points was applied Tennant method for estimating ecological flows. Results showed that over the past thirty years ecological flows have declined between 10% and 11%. We conclude that in terms of water flow, the most adverse conditions for aquatic life are presented from March to May in the Micos-Santa Rosa section.

Key words: Ecological flow, Tennant method, Río Valles.

INTRODUCCIÓN

Las corrientes superficiales perennes han constituido para numerosos pueblos la fuente de suministro de agua y de evacuación de los desechos líquidos producto de las actividades de sus habitantes. Numerosas investigaciones han demostrado que los cuerpos de agua superficiales en el planeta, se encuentran con graves niveles de contaminación, originando una reducción

importante de la fauna acuática; la situación anterior podría revertirse sí, por un lado, se regulan las descargas de aguas residuales y, por otro lado, se fijan caudales ecológicos considerando las condiciones existentes en cada río.

El caudal ecológico se define como el régimen fluvial que se da en un río, humedal o zona costera para mantener ecosistemas y sus beneficios donde se dan usos del agua que competen

entre sí y donde los caudales se regulan; o como el caudal que es capaz de mantener el funcionamiento del ecosistema fluvial en condiciones naturales (King *et al.* 2003 citado por Stewardson, 2005; Dyson *et al.*, 2006).

Los métodos para la estimación de los caudales ecológicos se agrupan en los que hacen uso de los caudales medidos en estaciones hidrométricas y que son registrados en series históricas y los métodos que hacen uso de los modelos de simulación del hábitat, en los que se determinan parámetros hidráulicos que tienen incidencia en la distribución de los organismos acuáticos y con los que se obtiene respuesta de éstos a esos parámetros (García, *et al.*, 1999). Se agrupan en cuatro tipos: i) métodos hidrológicos; ii) métodos de evaluación hidráulica; iii) métodos de evaluación del hábitat y iv) métodos holísticos (Arthington, *et al.*, 2005; Stewardson, 2005; Maunder & Hindley, 2005).

Los métodos hidrológicos son los más empleados en los países en vías de desarrollo, por ejemplo en México (García *et al.*, 1999) y en Nepal (Smakhtin, 2001); su principal desventaja es que la significancia ecológica de las estadísticas hidrológicas no es clara. El mejor conocido de ellos es el método Tennant, que fue desarrollado en Estados Unidos de Norteamérica (Smakhtin, 2001; Stewardson, 2005), y es ampliamente usado en la planeación a nivel de cuencas hidrográficas (Acreman & Dunbar, 2004), actualmente se emplea, en su forma original o modificado, en 25 países (Moore, 2004; Pyrce, 2004).

En el río Valles, localizado en el estado de San Luis Potosí, se ha presentado en diferentes años mortandad de la fauna acuática en la época de estiaje; la que se puede asociar, además de las condiciones impuestas por el estiaje, con el incremento en las extracciones de agua para uso doméstico y agroindustrial, así como con las descargas de aguas residuales al río.

En tal sentido los objetivos de esta investigación fueron estimar los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant y analizar su variación espacio-temporal. Se emplea este método ya que es práctico, sencillo, económico, además de que no requiere personal altamente especializado para su aplicación porque sólo se utilizan datos de estaciones hidrométricas (o pluviométricas) para la obtención de la distribución mensual del caudal de reserva ecológico (García, *et al.*, 1999) y así, puede constituirse en una primera aproximación a los caudales ecológicos establecidos en la legislación ambiental mexicana.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio la constituye el Río Valles que, en conjunto con sus tributarios, forma una cuenca hidrográfica de 3199 km²; esta cuenca presenta climas subhúmedos con lluvias en verano de humedad media y alta y climas semicálidos subhúme-

dos con lluvias en verano, la precipitación pluvial media anual es de 1300 mm. La corriente principal, localizada en el estado de San Luis Potosí, tiene un recorrido de 150 km desde su origen, a 800 msnm, hasta su desembocadura, a 100 msnm, con el Río Tropaón afluente del Río Pánuco.

El Río Valles cuenta con dos estaciones hidrométricas, las cuales tienen más de veinte años de registro de caudales; en la parte media del río se ubica la estación Micos (22.11° N. y 99.16° W) y en su parte baja la estación Santa Rosa (22.01° N y 99.06° W) (Figura 1). La información hidrométrica de estas estaciones se obtuvo del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (IMTA, 2002). El período de registro para cada estación se dividió en dos (1960-1975 y 1976-2000), para cada uno de esos periodos se calcularon los caudales medios anuales, medios mensuales y se determinó el período de estiaje y avenidas; con esta información se calcularon los caudales ecológicos empleando el método Tennant modificado para México, cuyo desarrollo matemático y su base de cálculo adaptado para México se desarrolló en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (García, *et al.*, 1999).

El método Tennant establece los siguientes criterios: 1) el 10 % del caudal medio anual es el mínimo recomendable para mantener un hábitat que permite en un corto plazo la sobrevivencia de la mayoría de las formas de vida acuática; 2) El 30 % del caudal medio anual es recomendable para mantener un hábitat adecuado para la sobrevivencia de las diversas formas de vida acuática; 3) el 60 % del caudal medio anual es recomendable para generar un hábitat de características excelentes a excepcionales para la mayoría de las formas de vida acuática, durante los períodos de crecimiento iniciales (García, *et al.*, 1999; Maunder & Hindley, 2005; Pyrce, 2004). En tal sentido, el método Tennant identifica diferentes niveles de caudales recomendados como adecuados para la vida acuática con base en diversas proporciones de los caudales medios (Acreman & Dunbar, 2004; Moore, 2004; Smakhtin, 2001; Stewardson, 2005), proporciona de manera rápida y económica una aproximación de los caudales ecológicos, considerando a éstos como un porcentaje del caudal medio anual (Pyrce, 2004).

RESULTADOS

De 1960 al año 2000, el caudal medio anual en la estación Micos descendió de 28.98 m³s⁻¹ a 26.01 m³s⁻¹. Ello se debió, entre otras causas, al incremento en los volúmenes de agua extraídos para usos agroindustriales y domésticos antes del punto donde se localiza la estación hidrométrica. El caudal ecológico mínimo, pasó de 2.89 m³s⁻¹ a 2.60 m³s⁻¹ y el considerado como excelente pasó de 8.69 m³s⁻¹ a 7.80 m³s⁻¹ en ese mismo periodo (Tablas 1 y 2); en términos porcentuales éstos disminuyeron entre 10.0 y 10.2 por ciento, respectivamente.

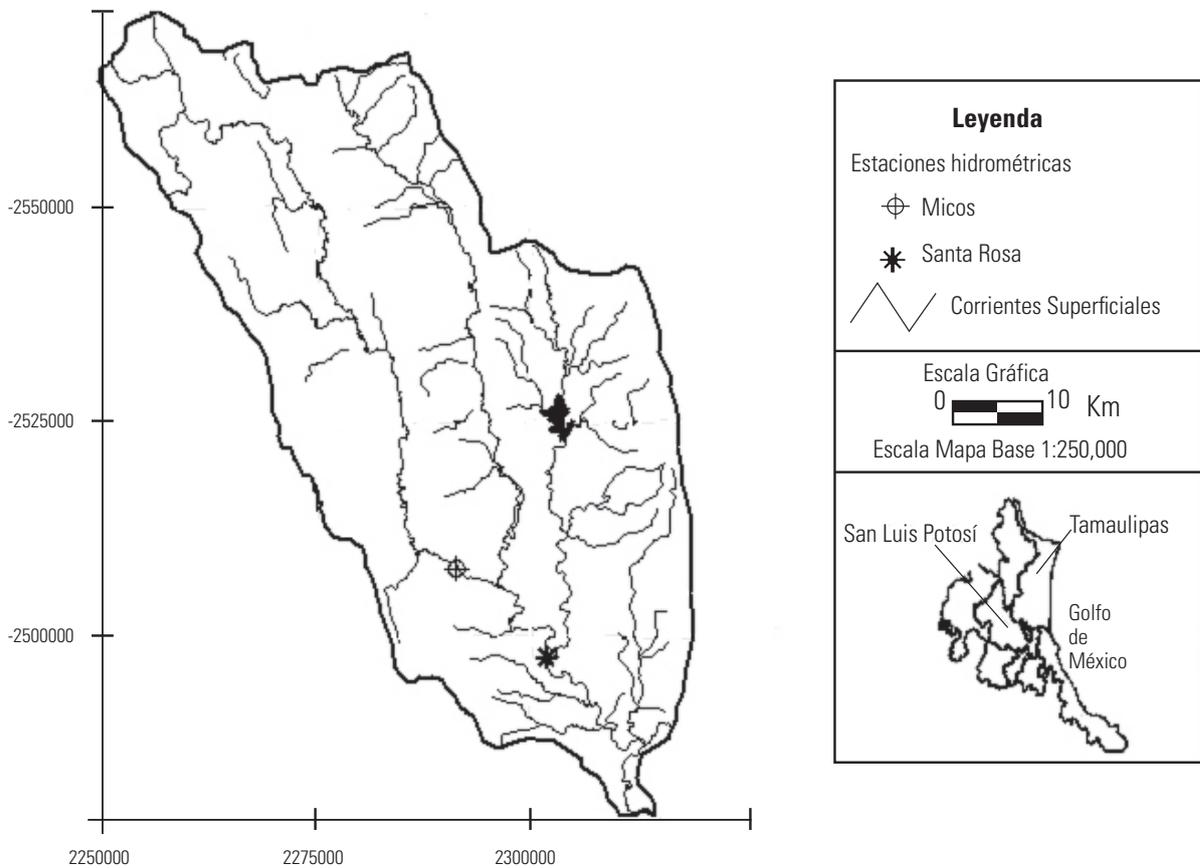


Figura 1. Localización de estaciones hidrométricas en la cuenca del Río Valles.

Tabla 1. Caudales ecológicos en la estación hidrométrica Micos, 1961-1975.

Meses	Caudal mensual máximo	Caudal mensual mínimo	Caudal medio mensual	Caudal Ecológico (Q _E)				
				Mínimo	Aceptable	Bueno	Excelente	Excepcional
Enero	16.92	6.66	11.09	2.89	2.89	5.78	8.69	11.59
Febrero	13.37	4.98	8.37	2.89	2.89	5.78	8.69	11.59
Marzo	9.97	4.06	6.93	2.89	2.89	5.78	8.69	11.59
Abril	7.08	3.99	5.58	2.89	2.89	5.78	8.69	11.59
Mayo	12.57	3.36	6.44	2.89	2.89	5.78	8.69	11.59
Junio	72.13	5.39	25.68	2.89	8.69	11.59	14.49	17.39
Julio	98.95	10.02	52.46	2.89	8.69	11.59	14.49	17.39
Agosto	101.48	11.40	58.62	2.89	8.69	11.59	14.49	17.39
Septiembre	227.69	33.42	79.60	2.89	8.69	11.59	14.49	17.39
Octubre	84.32	17.83	51.06	2.89	8.69	11.59	14.49	17.39
Noviembre	56.55	14.17	25.41	2.89	2.89	5.78	8.69	11.59
Diciembre	25.66	9.42	16.48	2.89	2.89	5.78	8.69	11.59
Caudal medio anual =			28.98					

Nota: Los caudales en todas las tablas están dados en m³s⁻¹

Tabla 2. Caudales ecológicos en la estación hidrométrica Micos, 1976-2000.

Meses	Caudal mensual máximo	Caudal mensual mínimo	Caudal medio mensual	Caudal Ecológico (QE)				
				Mínimo	Aceptable	Bueno	Excelente	Excepcional
Enero	18.78	4.18	10.19	2.60	2.60	5.20	7.80	10.40
Febrero	14.34	3.78	7.93	2.60	2.60	5.20	7.80	10.40
Marzo	11.24	3.20	6.29	2.60	2.60	5.20	7.80	10.40
Abril	8.82	2.92	5.30	2.60	2.60	5.20	7.80	10.40
Mayo	16.39	3.10	5.73	2.60	2.60	5.20	7.80	10.40
Junio	135.07	3.15	23.25	2.60	7.80	10.40	13.01	15.61
Julio	267.39	3.26	69.29	2.60	7.80	10.40	13.01	15.61
Agosto	104.96	4.51	46.86	2.60	7.80	10.40	13.01	15.61
Septiembre	201.77	7.72	64.20	2.60	7.80	10.40	13.01	15.61
Octubre	100.49	13.08	40.95	2.60	7.80	10.40	13.01	15.61
Noviembre	33.71	6.05	19.21	2.60	2.60	5.20	7.80	10.40
Diciembre	23.02	5.24	12.94	2.60	2.60	5.20	7.80	10.40
Caudal medio anual =			26.01					

El decremento en los valores de los caudales ecológicos implica que las condiciones ecológicas en el sitio estudiado del río no son las más favorables para la vida acuática.

El caudal medio mensual en la estación Micos para los meses de febrero a mayo, del primer periodo analizado, fue inferior a los caudales ecológicos excelentes y excepcionales. El caudal medio mensual del mes de febrero, del segundo periodo, está ligeramente por arriba del caudal considerado como excelente, pero es inferior al considerado como excepcional. Los caudales medios mensuales de marzo, abril y mayo resultaron inferiores a los caudales considerados como excepcionales y excelentes (Figuras 2 y 3).

Los caudales mensuales mínimos de los meses de diciembre a agosto, del primer periodo, resultaron inferiores a los caudales ecológicos considerados como excepcionales y excelentes. En el segundo periodo, sólo el mes de octubre presentó un caudal mínimo mensual por arriba de los considerados como excepcionales y excelentes.

En el mes de abril se presentan las condiciones más críticas para la vida acuática en la estación Micos. En ese mismo mes, del primer periodo analizado, se obtuvo un caudal medio mensual inferior al caudal ecológico recomendable. Para el segundo periodo, el gasto medio mensual de abril resultó ligeramente superior al caudal ecológico recomendable (Figuras 4 y 5).

En la estación Santa Rosa el comportamiento de los caudales resultó similar a los de la estación Micos. El caudal

medio anual decreció de $38.92 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a $34.51 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Tablas 3 y 4). El descenso en los caudales medios mensuales generó que los caudales ecológicos disminuyeran. La reducción fue de 11 %, porcentaje significativo y similar al que se presentó en la estación Micos. Los meses de abril y mayo, que resultaron con los menores valores de caudal medio mensual, son en los que se presentan, en términos hidrométricos, las condiciones más adversas para la vida acuática. Por ejemplo, el caudal medio mensual de abril, en el primer periodo, resultó inferior a los caudales ecológicos bueno, excelente y excepcional en 18.8 %, 47.17 % y 60.37 %, respectivamente; en el segundo periodo el mismo mes de abril presentó un valor que fue inferior a esos caudales en porcentajes similares a los anteriores (Tablas 3 y 4).

DISCUSIÓN

El conocimiento de la variación espacial y temporal de los caudales ecológicos es muy importante. El decremento en los valores aquí obtenidos, es el reflejo de que se están presentando acciones humanas que provocan la disminución de los flujos naturales.

Es importante recordar que la estación Micos se encuentra aguas arriba de la estación Santa Rosa, de modo que el caudal aforado en esta última corresponde a una mayor superficie hidrográfica e incluye a una parte del aforado en Micos. De manera que, el caudal medio anual para la estación Micos, en el periodo 1960-1975, fue de $28.98 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y en la estación Santa Rosa

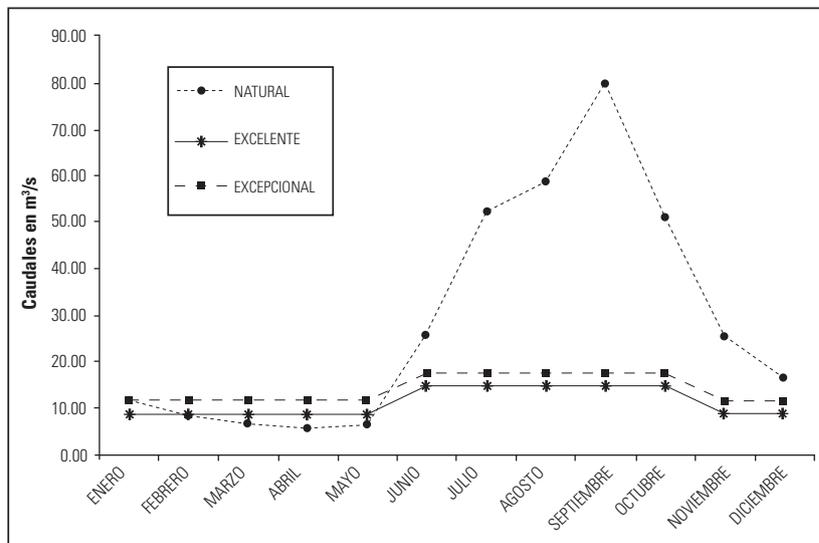


Figura 2. Caudal medio mensual versus caudales ecológicos en la estación Micos, periodo 1960-1975

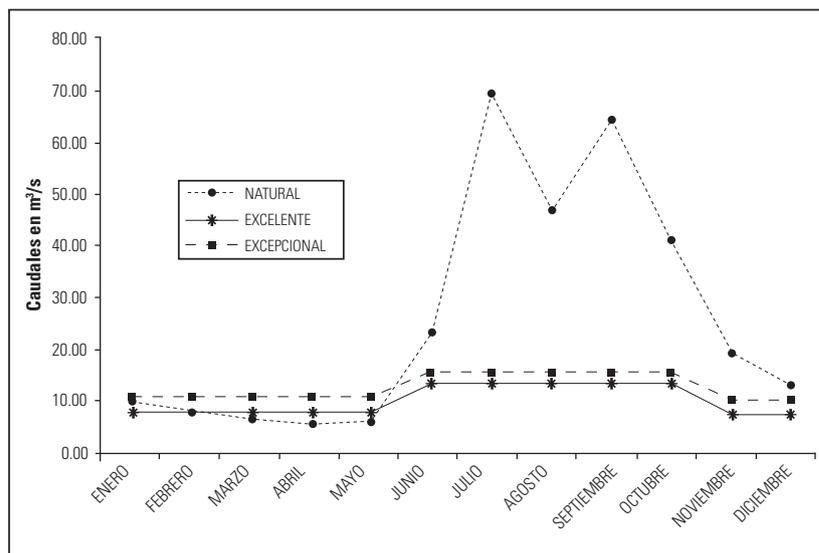


Figura 3. Caudal medio mensual versus caudales ecológicos en la estación Micos, periodo 1976-2000

fue de $38.92 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. En el segundo período (1976-2000) su valor se redujo en ambos sitios, fue de $26.01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para la estación Micos y de $34.51 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para la estación Santa Rosa.

De acuerdo con lo anterior, el incremento en el caudal medio anual en el tramo Micos-Santa Rosa fluctuó entre 24.5 % y 25.5 %, ello a pesar del aumento en las extracciones de agua del río para usos domésticos y agroindustriales.

Con base en los resultados se deben establecer, sobre todo con fines de gestión integrada de recursos hídricos e incluso con la finalidad de limitar las extracciones de agua del río, en el tramo Micos-Santa Rosa un caudal ecológico de $16.9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, valor

que resulta de sumar al caudal ecológico excepcional el 25 % del caudal medio anual en la estación Micos. Sin embargo, los caudales medios mensuales, en condiciones actuales, de enero a mayo resultan inferiores al caudal ecológico anterior.

Los resultados permiten concluir que el caudal ecológico ha disminuido entre 10 % y 11 % en los últimos treinta años en el tramo estudiado del río Valles; que los meses más críticos, en relación con la cantidad de agua que fluye por los puntos estudiados, para la vida acuática son marzo y abril, meses en los que se presenta el período de sequía y, con ella, las mayores extracciones de agua para uso agrícola y doméstico.

Tabla 3. Caudales ecológicos en la estación hidrométrica Santa Rosa, 1959-1975.

Meses	Caudal mensual máximo	Caudal mensual mínimo	Caudal medio mensual	Caudal Ecológico (QE)				
				Mínimo	Aceptable	Bueno	Excelente	Excepcional
Enero	26.33	7.15	14.74	3.80	3.80	7.60	11.68	15.57
Febrero	18.90	5.51	10.54	3.80	3.80	7.60	11.68	15.57
Marzo	11.61	4.51	7.90	3.80	3.80	7.60	11.68	15.57
Abril	8.86	3.89	6.17	3.80	3.80	7.60	11.68	15.57
Mayo	15.02	3.64	6.89	3.80	3.80	7.60	11.68	15.57
Junio	125.83	4.60	40.06	3.80	11.68	15.57	19.46	23.35
Julio	175.15	9.86	66.50	3.80	11.68	15.57	19.46	23.35
Agosto	182.34	10.55	76.46	3.80	11.68	15.57	19.46	23.35
Septiembre	351.99	35.73	109.11	3.80	11.68	15.57	19.46	23.35
Octubre	189.88	17.33	72.05	3.80	11.68	15.57	19.46	23.35
Noviembre	87.94	14.61	35.02	3.80	3.80	7.60	11.68	15.57
Diciembre	33.59	9.68	21.61	3.80	3.80	7.60	11.68	15.57
Caudal medio anual =			38.92					

Tabla 4. Caudales ecológicos en la estación hidrométrica Santa Rosa, 1976-2000.

Meses	Caudal mensual máximo	Caudal mensual mínimo	Caudal medio mensual	Caudal Ecológico (QE)				
				Mínimo	Aceptable	Bueno	Excelente	Excepcional
Enero	29.67	4.48	13.54	3.40	3.40	6.80	10.35	13.80
Febrero	21.26	3.58	9.86	3.40	3.40	6.80	10.35	13.80
Marzo	15.41	3.05	6.96	3.40	3.40	6.80	10.35	13.80
Abril	11.09	2.68	5.66	3.40	3.40	6.80	10.35	13.80
Mayo	21.22	2.53	6.45	3.40	3.40	6.80	10.35	13.80
Junio	229.87	3.15	28.77	3.40	10.35	13.80	17.26	20.71
Julio	479.28	3.14	92.07	3.40	10.35	13.80	17.26	20.71
Agosto	150.77	4.37	60.78	3.40	10.35	13.80	17.26	20.71
Septiembre	235.86	7.47	86.88	3.40	10.35	13.80	17.26	20.71
Octubre	131.37	14.29	54.88	3.40	10.35	13.80	17.26	20.71
Noviembre	61.16	6.08	29.07	3.40	3.40	6.80	10.35	13.80
Diciembre	43.78	4.75	19.20	3.40	3.40	6.80	10.35	13.80
Caudal medio anual =			34.51					

Por otro lado, se concluye que es importante conocer la variación temporal de los caudales medios anuales que escurren por un sitio; sobre todo, cuando éstos se emplean para calcular y, con ello, fijar caudales ecológicos. Los resultados muestran que en un lapso considerable de tiempo, por ejemplo de más de 30 años, los cauda-

les naturales y los caudales ecológicos presentan variaciones; de aquí que estos últimos no deben considerarse como fijos en el tiempo. Es recomendable que en un río sometido a nuevas y grandes extracciones de agua para usos humanos se calculen y revisen, cuando menos en un período de diez años, tales caudales.

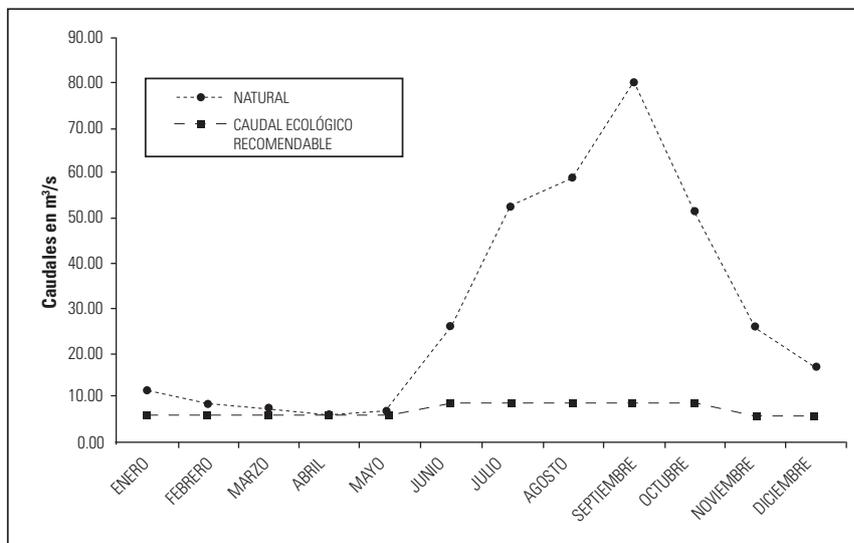


Figura 4. Caudal medio mensual versus caudal ecológico recomendable en la estación Micos, periodo 1960-1975

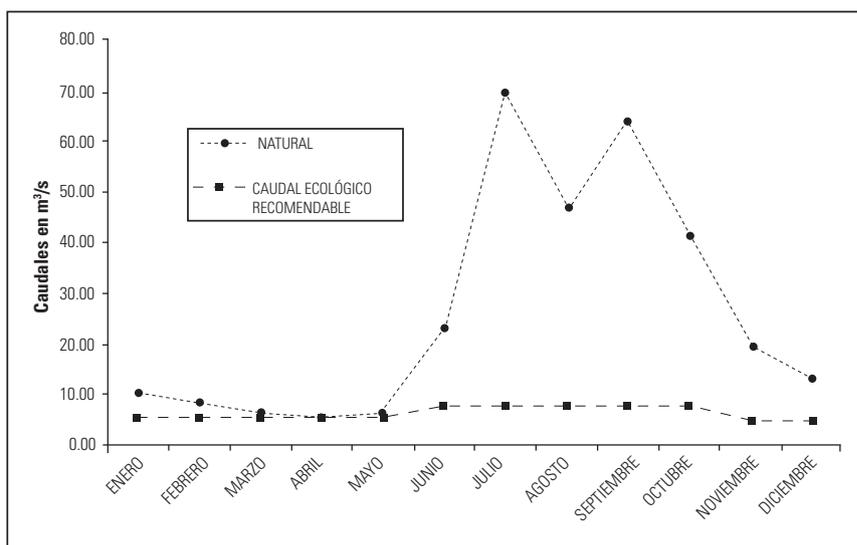


Figura 5. Caudal medio mensual versus caudal ecológico recomendable en la estación Micos, periodo 1976-2000

Se concluye que en México, a pesar de que la legislación en la materia lo establece, a pocos ríos se les han fijado, por uno u otro método, caudales ecológicos, esto se debe en buena medida a que, por un lado, son pocos las corrientes superficiales que cuentan con estaciones hidrométricas o, por otro lado, a que las que existen no funcionen adecuadamente; lo anterior limita el uso del método Tennant.

Finalmente es necesario realizar acciones, tanto en el río como en la cuenca, que mejoren las condiciones ecológicas favorables para la vida acuática. Sobre todo, cuando ella se ve impactada por la contaminación producida por las descargas de

agua residual doméstica y agroindustrial en el río. Sin embargo, se debe considerar que el caudal ecológico no especifica calidad del agua, sólo cantidad o volumen, por lo que a partir de él no se pueden deducir efectos de contaminación.

REFERENCIAS

ACREMAN, A & M. DUNBAR 2004. Defining environmental river flow requirements-a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 8 (5): 861-876.

ARTHINGTON, A., R.THARME, S. BRIZGA, B. PUSEY & M. KENNARD. 2005. *Environmental flow assessment with emphasis on holistic metho-*

- dologies*. Technical Report. Centre for Riverine Landscapes, Faculty of Environmental Sciences, Griffith University, Nathan, Queensland, Australia. 31 p.
- DYSON, M., G. BERGKAMP, & J. SCANLON (EDS.) 2003. *Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales*. Traducción de José María Blanch. UICN-ORMA. San José, Costa Rica. 125 p.
- GARCÍA, E., R. GONZÁLEZ, P. MARTÍNEZ, J. ATHALA & G. PAZ-SOLDÁN. 1999. *Guía de aplicación de los métodos de cálculo de caudales de reserva ecológicos en México*. Libro en CD. Colección Manuales. CNA-IMTA-SEMARNAP. México.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA. 2002. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). IMTA-SEMARNAT. Discos Compactos. México.
- MAUNDER, D & B. HINDLEY. 2005. *Establishing Environmental Flow Requirements -Synthesis Report*. Produced by Fisheries and Oceans Canada, Ontario, Canada. 77 p.
- MOORE, M. 2004. *Perceptions and interpretations of Environmental Flows and implications for future water resource management*. Tesis de Maestría. Department of Water and Environmental Studies. Linköping University. Suecia. 56 p.
- PYRCE, R. 2004. *Hydrological Low Flow Indices and their Uses*. Watershed Science Centre. WSC Report No. 04-2004. Ontario. Canada. 33 p.
- SMAKHTIN, V. U. 2001. Low Flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* (240): 147-186.
- STEWARTSON, M. 2005. *Environmental flow analysis*. Technical Report 05/13. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Australia. 47 p.
- Recibido:* 23 de abril de 2008.
- Aceptado:* 10 de marzo de 2009.