

Los impactos económicos derivados de la interrupción del caudal por una presa

Felipe Flores Vichi^{1§}

¹Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Avenida Lázaro Cárdenas Ote. y Paseo de la Reforma s/n. Campus Mederos, Monterrey, N. L. México. C. P. 64930. [§]Autor para correspondencia: flovich@gmail.com.

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo principal evaluar los impactos económicos derivados de la construcción de la presa “El Abrevadero”, ubicada en el municipio de Jantetelco en el Estado de Morelos, mediante los cuales se responderá a la siguiente interrogante: ¿Es la interrupción del caudal, mediante una presa, un elemento de crecimiento económico y de cambio estructural que conduce a una mejora en el nivel de vida de la población de un territorio específico? El conocimiento de los efectos de la presa, a nivel social, económico y ambiental son fundamentales para el integral conocimiento de la factibilidad y gestión de las mismas. Para ello se analizarán las variables que determinan el nivel de ingreso del campo “El Potrero”, en el ejido de Tenango, a través de la aplicación de encuestas a productores locales. Se observó que resulta poco significativo el aumento de la producción en función de la cuota y volúmenes de agua utilizados.

Palabras clave: crecimiento e ingreso, embalse, riego.

Introducción

Hoy en día el territorio de distintas cuencas hidrográficas¹ de México y de muchas otras partes del mundo constituye el escenario de profundas contradicciones y conflictos que

se dan en el espacio ecológico y social debido a la falta de armonización entre metas económicas y usos sostenibles de los recursos naturales. Las represas tienen un papel importante en el desarrollo de las cuencas hídricas, en particular, son verdaderos iconos del desarrollo económico y del progreso científico modernos, pero, las mismas podrían impedir el desarrollo sustentable si sus impactos ambientales y sociales no fueran controlados e identificados (Flores, 1998).

Una de las principales actividades humanas dirigidas al manejo del agua es la construcción de presas: lagos artificiales que se forman al construirse un muro grueso que interrumpe el curso de un río, con el fin de controlar el caudal de agua. Estas obras de ingeniería hidráulica actualmente son parte integrante del entorno medioambiental al que influyen y transforman de manera variable (ICOLD, 1995).

Actualmente, el agua regulada por los embalses produce insustituibles beneficios en el riego agrícola, abastecimientos urbanos e industriales, producción hidroeléctrica, actividades recreativas, turismo, principalmente.

A nivel mundial los embalses regulan el agua de alrededor de 40% de la agricultura de riego, lo que significa cerca de 15% de la producción mundial de alimentos. Los indicadores

¹Cuenca hidrográfica: es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por un parte aguas o divisoria de las aguas -aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad-, en donde ocurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con éstos y el medio ambiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por microcuencas.

muestran que en los próximos 20 años, será necesario aumentar el almacenamiento de agua en presas y embalses en unos $1\,200\text{ km}^3\text{ año}^{-1}$, en la actualidad contribuyen con unos $3\,500\text{ km}^3\text{ año}^{-1}$; es decir, 28% del total mundial (Berga, 2003). México cuenta con 4 000 presas, de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con la definición de la “Internacional Comisión on Large Dams” (ICOLD). La capacidad de almacenamiento de las presas es de 150 km^3 de agua, destacando que 51 presas representan casi 70% de la capacidad de almacenamiento (CONAGUA, 2006).

Uno de los usos principales del recurso hídrico almacenado en los embalses se destina a las actividades agrícolas. Las actividades de agricultura de riego representan el 30% del total de la superficie cultivada en México y en términos absolutos ocupa el octavo lugar mundial en superficie irrigada (CONAGUA, 2004). En el sector agrícola se utiliza el 83% del consumo total de agua del país, y se pierde entre 30 y 50% del recurso hídrico por bajas eficiencias de conducción hacia las parcelas y la incorporación de tecnología de riego por parte de los productores (Ojeda, 2004).

Una de las particularidades² que distinguen el uso del agua en México se refiere al modelo de aprovechamiento del agua mediante la intensidad temporal y distribución espacial. La construcción y operación de presas han permitido enfrentar la desigual distribución espacial del agua: su tendencia a concentrarse en la zona sureste, así como en parte del este y del oeste del país. Se ha abierto la puerta para el aprovechamiento durante la temporada de secas del líquido almacenado en las presas. Si bien la construcción de presas ha beneficiado a algunas regiones y sectores económicos y sociales (consumidores(as) de energía eléctrica y agricultores(as), principalmente), ha sido de negativas consecuencias ecológicas y socioeconómicas para otros, tales como la desecación de terrenos, mayor incidencia de las inundaciones y desplazamiento de comunidades locales.

A pesar de los beneficios de orden económico que han generado las presas aún persiste el debate relacionado con el impacto ambiental que estas estructuras originan en los ecosistemas. Han causado múltiples cambios, como aquellos de los patrones naturales de flujo del agua, de la fragmentación de la conectividad de los ecosistemas fluviales y sobre la interrupción del flujo y los pulsos que

mantienen a los hábitats riparios, los cuales renuevan y enriquecen las planicies, deltas y suelos de la cuenca baja, y controlan y regulan las fluctuaciones hídricas extremas.

La introducción de estos cambios sobre el flujo natural del agua provoca el aislamiento de poblaciones e interrumpe las migraciones de otras especies, modificando la calidad del agua “presa abajo” en relación a los cambios de temperatura, cantidad de nutrientes, turbidez, gases disueltos, concentración de metales pesados y minerales (Cotler, 2005).

La presa de almacenamiento “El Abrevadero” se ubica sobre el cauce del río Barranca Amatzinac, en su parte baja, en las cercanías del poblado de Tenango, en el municipio de Jantetelco, Morelos. La obra se proyectó para satisfacer las necesidades de riego derivadas de la problemática generalizada de los usuarios de la “Asociación de Usuarios de la Barranca Amatzinac parte Baja”, quienes cuentan con derechos de agua para riego que datan de 1926, otorgados por decreto presidencial. Actualmente abastece agua para uso agrícola a 164 hectáreas en el ejido de Tenango, particularmente en el Campo “El Potrero”, el cual cuenta con 97 productores agrícolas.

La presa tiene una capacidad total de $1\,317\text{ Mm}^3$, y cuenta con 504 m de longitud, una altura máxima de cortina de 30.5 m, el ancho de corona es de 5 m y el bordo libre de 1.72 m. El vertedor de tipo CREAGER de cresta libre de longitud de cresta vertedora de 50 m con una capacidad máxima de descarga de $352\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$, es una obra de toma tipo tubería de acero con una capacidad de $0.300\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ y tiene como fuente de abastecimiento la Barranca de Amatzinac, con un beneficio potencial de 224 ha y 97 familias.

La conducción se realiza mediante el canal principal (1.5 km), una red de distribución (3 km) y un bordo de almacenamiento de $160\,000\text{ m}^3$ de capacidad.

Las presas o embalses artificiales provocan cambios a nivel local y regional, afectando la dinámica de la cuenca hidrológica, modificando la geomorfología de arenas río abajo, la calidad del agua al alterar los flujos naturales, sedimentos y nutrientes (Poméon). Asimismo, estos embalses están sometidos a un enriquecimiento paulatino de nutrientes, provocando el proceso de eutrofización. Lo que conduce a la proliferación de organismos indeseables y en casos extremos, traen consigo problemas de toxicidad (López y Serna, 1999).

²Existen particularidades sociales y ambientales identificadas con el uso del agua en México: una se refiere a la desigual distribución del recurso, tanto sectorial como regionalmente. En el caso agrícola, se concentra en unas cuantas entidades del noroeste del país, cuya actividad, en vez de satisfacer la demanda nacional de maíz, frijol y otros granos básicos, exporta a Estados Unidos de América; uva, tomate y otras hortalizas y frutas. El desperdicio es el otro rasgo del uso del agua, originado por las deficiencias y la falta de mantenimiento de la infraestructura, y por las pautas de consumo de los usuarios que generan las bajas tarifas.

En los embalses artificiales la eutrofización se presenta relativamente rápido por los usos a los que son sometidos, aunado a un manejo inadecuado. Por lo tanto; es indispensable el diagnóstico de las condiciones de la calidad del agua, como base para un manejo adecuado.

Las características físicas químicas y microbiológicas, evaluadas como indicadores de calidad del agua en la temporada de secas, muestran diferencias significativas entre las tres secciones de la presa: afluente, presa y efluente; lo cual debe considerarse como un efecto en la interrupción del caudal ecológico.

Materiales y métodos

Se emplea una función de producción construida a partir de un análisis Bayesiano de probabilidad para proveer los medios necesarios para especificar el nivel esperado de producción a partir de escenarios provistos por series de tiempo estacionarias.

Para determinar los ingresos derivados de la actividad agrícola se emplean técnicas econométricas aplicadas a modelos de producción vinculados a cada

uno de los principales cultivos de la zona de estudio. A partir de los resultados se estima el comportamiento de los ingresos generados con la presencia de la infraestructura hídrica.

Para tales efectos, se recopiló información sobre precios de mercado de los productos agrícolas, la oferta total en toneladas por hectárea, los precio de la dotación de agua para riego y los costos de producción. Los datos se obtuvieron a partir de una encuesta que reveló las prácticas agrícolas y variables que intervienen en el proceso de producción local, así como aspectos de comercialización. Los resultados obtenidos hacen referencia a dos escenarios: a) ausencia de la presa; y b) presencia de la presa.

Los datos y la información se obtuvieron a través de encuestas directas aplicadas a los productores agrícolas del ejido de Tenango, a partir de un muestreo aleatorio simple sobre una población de 97 productores agrícolas, se obtuvo una muestra de 49 unidades de análisis con un nivel de confianza de 95% y un margen de error de 10%. A continuación se presentan las estadísticas descriptivas básicas para el rendimiento agrícola por cultivo empleadas en la construcción de los modelos de producción agrícola bayesianos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rendimiento por cultivo.

Cultivo	Sin presa			n	Con presa			N
	Rendimiento (t ha ⁻¹)				Rendimiento (t ha ⁻¹)			
	Min.	Ave.	Máx.	Min.	Ave.	Máx.		
Sorgo	3	5.1	10	29	3	6.4	10	21
Maíz	1	3.7	7	23	1	6.1	12	28
Arroz	5	8.1	12	10	5	9.6	12	23
Ejote	6	8.0	12	4	4	8.5	10	8
Frijol	3	4.7	6	3	2	3.2	6	5
Cebolla	3	5.5	8	2	3	3.0	3	1
Pepino	3	3.5	4	2	3	3.6	4	3

La construcción de las funciones de producción suponen que el cultivo “j” con una cantidad cosechada “q_j” (en toneladas), y un volumen de agua concesionado para riego “x_{1j}” (en unidades monetarias por hectárea), y “x_{2j}” como la superficie de tierra cosechada (en hectáreas), serán las variables que revelen comportamientos de producción agrícola.

Suponiendo que los demás factores de la producción se mantienen en proporciones fijas con la extensión de tierra que posee cada agricultor. Estas proporciones se mantienen constantes para el periodo de observación analizado.

Función de producción sin presa: $q_j^k = f(x_1, x_2) = c(x_{1j}^k)^\alpha (x_{2j}^k)^\beta$

Función de producción con presa: $q_j^p = f(x_1, x_2) = c(x_{1j}^{\alpha})^{\delta} (x_{2j}^{\beta})^{\theta}$

Modelo econométrico y estimación

El modelo econométrico propuesto se emplea para definir el comportamiento de los cultivos en función de las condiciones de dotación de agua y superficie cosechada. El aumento en los ingresos derivados de la producción, se limitan a las condiciones técnicas de producción, por lo que el modelo determina el alcance que pueden lograr los cultivos en ambos escenarios:

Modelo sin presa: $\ln q_j(t) = \ln c + \alpha \ln x_{1j}^k(t) + \beta \ln x_{2j}^k(t) + u^k(t)$

Modelo con presa: $\ln q_j(t) = \ln c + \delta \ln x_{1j}^p(t) + \phi \ln x_{2j}^p(t) + u^p(t)$

Ambos modelos son una versión log-lineal. El modelo se estima por dos procesos estadísticos: mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y mínimos cuadrados generalizados (MCG). Seleccionando la estimación mediante MCG ya que fueron más eficientes. Esta última contempla para la matriz varianza-covarianza del término de error, heteroscedasticidad y autocorrelación de primer orden dentro de cada escenario (sin presa y con presa). Todas las regresiones mostraron un poder explicativo alto.

Para la mayoría de los cultivos, no se rechazó la hipótesis de rendimientos constantes a escala. Por lo tanto, en el ejido de Tenango, los rendimientos a escala son aproximadamente constantes, ya que duplicar la superficie cultivada y el volumen de agua aplicada implicaría aumentar la cosecha dos veces, lo cual dadas las condiciones tecnológicas y de organización para la dotación del recurso hídrico resulta poco factible.

Por otra parte, suponemos que los productores del cultivo “j” buscan maximizar sus ganancias:

$$\text{Max: } [\pi_j = p_j f(x_1, x_2) - p_1 x_1 - p_2 x_2]$$

Donde: p_j = precio del cultivo (pesos mexicanos por tonelada); p_1 = precio del agua (la cuota de riego por hectárea); y p_2 = precio de la tierra, entonces el productor debe elegir “ x_1 ” y “ x_2 ” de manera que obtenga:

$$\frac{\partial f(x_1, x_2) / \partial x_1}{\partial f(x_1, x_2) / \partial x_2} = \frac{PM_1}{PM_2} = \frac{p_1}{p_2}$$

La igualdad entre el producto marginal físico relativo al agua y su precio relativo. En realidad el precio del agua es muy bajo para los productores agrícolas, por lo que los productores aplican agua hasta donde “ PM_1 ” alcance prácticamente a cero.

Un producto marginal del agua nulo significa que cualquier variación en la dotación de agua, manteniendo la superficie cultivada constante, no produce ningún efecto sobre la cantidad del cultivo cosechada.

Por lo tanto, el agua de riego “en el margen” no tiene ningún valor para los productores. Sin embargo, el agua en su totalidad tiene un valor para los productores ya que en el límite, sin agua no hay producción.

Resultados y discusión

Debido a que el valor estimado del parámetro “ α ” es numéricamente pequeño para todos los cultivos, el producto marginal del agua es prácticamente nulo para todos los cultivos. Esto se debe al precio relativamente bajo del agua de riego.

Con base en los resultados de la Cuadro 2, es posible verificar el comportamiento de la producción agrícola de acuerdo a la percepción y vocación productiva de los agricultores.

Para el caso del sorgo, maíz, arroz y pepino, el volumen de agua no es significativo en sus decisiones de producción, este resultado supone que los productores no consideran el recurso hídrico como un bien limitado. Mientras que los productores de ejote, frijol y cebolla si introdujeron en su proceso de decisión la importancia relativa del agua en su proceso productivo.

Por el contrario, el recurso tierra es de suma importancia para la producción y refleja una importancia mayor por parte de los productores al momento de tomar decisiones en sus prácticas agrícolas. Para todos los cultivos resulta más relevante la tenencia y propiedades naturales de la tierra para aumentar la producción.

Al momento de construir y destinar el uso de una presa a actividades agrícolas, para el caso de todos los cultivos, excepto para los agricultores de ejote, el agua nuevamente adquiere una importancia relativa, por debajo del recurso

tierra. De acuerdo con estos resultados, el productor recibe y transfiere señales sobre la percepción de que el agua es ilimitada, sobre todo si está presente una estructura hídrica que permita gestionar el agua en cuanto a dotación y cuota.

La presencia de una presa no redunde en mayores incrementos sobre la productividad, ya que el agricultor interioriza información equivocada sobre los límites del agua existentes en la región (Boucher, 2003).

Cuadro 2. Regresiones (MCG) y pruebas de rendimientos a escala.

Cultivo	α (t-statistic)	β (t-statistic)	δ (t-statistic)	ϕ (t-statistic)	Ho: $\alpha+\beta=1$ (t-statistic)
Sorgo	-0.0405 (-2.18)	1.0461 (33.52)	-0.0354 (-1.16)	2.3641 (28.64)	0.57
Maíz	-0.0075 (-0.69)	1.0099 (62.37)	-0.0042 (-1.57)	3.5748 (56.33)	0.43
Arroz	-0.0219 (-0.98)	1.0279 (42.16)	-0.0113 (-2.57)	1.9751 (28.79)	0.98
Ejote	0.0589 (3.52)	0.8494 (36.51)	0.0789 (5.79)	1.1527 (17.21)	3.58
Frijol	0.0653 (2.44)	0.6783 (36.89)	-0.0024 (1.94)	0.0054 (33.91)	-4.79
Cebolla	0.0258 (1.42)	0.9921 (47.92)	-0.0146 (5.96)	0.01255 (52.69)	0.25
Pepino	-0.0968 (-1.09)	0.9633 (16.25)	-0.0063 (-2.33)	0.0667 (27.48)	-3.22

Por otra parte, con base en la función maximizadora de ganancias, se identifica que la cuota del agua es constante para todos los productores lo que conlleva a un uso regulado por los propios ejidatarios, lo cual se introduce dentro de la función como un costo, por otra parte se identificaron los

costos de producción en función del número de hectáreas destinadas a la producción de cada cultivo, y finalmente se incluyeron los precios pagados al productor promedio por cultivo. Así, el resumen de los resultados de ambos escenarios son los siguientes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ingresos máximos esperados con ausencia de la presa.

Cultivo	X_2 Promedio hectáreas	Costos Promedio (\$ USD)	Precio Medio rural (\$ USD/t)	Ingreso Esperado (\$ USD)	Ingreso Promedio/ha (\$ USD)
Sorgo	2.4	223	118.42	284.2	25.44
Maíz	2.9	270	244.73	709.73	151.69
Arroz	2.3	214	192.45	442.67	99.46
Ejote	1	93	343.71	311.6	218.57
Frijol	1.8	167	493.95	889.1	400.98
Cebolla	0.5	47	303.25	151.6	210.26
Pepino	1	93	200.18	200.17	107.14

Fuente: elaboración con datos de encuesta directa y del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Año 2002.

Utilizando los precios medios rurales de los cultivos, es posible determinar los ingresos máximos esperados cuando existe una infraestructura hídrica para uso agrícola, se pudo observar que de acuerdo a las características

de producción agrícola, los cultivos que generan un mayor ingreso son el frijol y la cebolla, mientras que el cultivo con menor vocación de ingresos es el sorgo (Cuadro 4).

Tabla 4. Ingresos máximos esperados con la presencia de la presa.

Cultivo	X ₂ promedio (ha)	Costos promedio (\$ MX)	Precio medio rural (\$ MX/t)	Ingreso esperado (\$ MX)	Ingreso promedio (\$ ha ⁻¹)
Sorgo	2.2	2 160	1 381.03	3 038	399
Maíz	1.8	1 767	2 360.64	4 249	1 379
Arroz	2.7	2 651	2 439.79	6 587	1 458
Ejote	2.3	2 258	3 693.5	8 495	2 712
Frijol	1.2	1 178	5 850.57	7 021	4 869
Cebolla	0.5	491	4 043.48	2 022	3 062
Pepino	1	982	2 266.9	2 267	1 285

Fuente: Elaboración con datos de encuesta directa y del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Año 2002.

El ingreso promedio esperado derivado de la construcción de la presa “El Abrevadero” tuvo un incremento 15% en términos globales. Para cada cultivo en particular, la producción de sorgo aumentó el nivel de ingresos 40%, mientras que el arroz y la cebolla presentaron un aumento en los ingresos por hectárea de 30%. En todos los cultivos analizados se presenta esta tendencia de crecimiento en el ingreso, lo cual puede traducirse en un incremento del desarrollo local (Fontaine, 2006).

Con la introducción de la presa “El Abrevadero” los cultivos han mostrado un mayor rendimiento promedio anual, cabe destacar que el maíz aumento su rendimiento 65%, mientras que el frijol y la cebolla experimentaron una tendencia decreciente, 32% y 45% respectivamente. Esto se debe en primera instancia a una mayor organización y gestión del agua a nivel local. Sin embargo, no es compatible con las señales equivocadas sobre la disponibilidad del recurso en el mediano y largo plazos.

Conclusiones

Los modelos de desarrollo local que permiten cuantificar los niveles de ingreso serán útiles si se enmarcan en un enfoque de territorio, ya que la articulación adecuada de los lazos históricos, materiales e inmateriales dependerá en gran medida del beneficio esperado producido por la actividad agrícola de riego.

El hecho de que los rendimientos constantes a escala sea una característica del proceso de producción agrícola en el ejido de Tenango, muestra la necesidad de conocimiento y técnicas agrícolas que redunden en una disminución de los costos de producción, y por ende en un aumento progresivo de la actividad agrícola de riego.

Resulta poco significativo el aumento de la producción en función de la cuota y volúmenes de agua utilizados, con base en los resultados del modelo econométrico propuesto se define a la superficie cultivada como un elemento relevante para el aumento de la cantidad cosechada. Por lo que se debe orientar la capacitación al uso intensivo de las hectáreas disponibles para su uso agrícola.

Con la construcción de la presa “El Abrevadero” los cultivos han mostrado un mayor rendimiento promedio anual lo que ha permitido un incremento en el nivel de ingresos.

Literatura citada

- Berga, L. 2003. Economic evaluation of hydraulic projects, including Dams. General Report. Q. 81. *In: Transactions XXI International Congress on Large Dams*. Montreal. Icold. Paris. 1:671-737.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2004. Estadísticas del Agua en México. Semarnat-CNA. 2da. Edición. México D.F., 143 pp.

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2006. Estadísticas del Agua en México. Sistema Nacional de información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua. 1ra. Ed. México D.F., 101 pp.
- Cotler, H. y Gutiérrez, S. 2005. Inventario y evaluación de presas de la Cuenca Lerma-Chapala. Instituto Nacional de Ecología. Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. URL: http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/download/inv_eval_presas.pdf.
- Flores, P. 1998. Impacto económico de una sequía en el Distrito de Riego 017. Región Lagunera, y medidas para aminorarlo. Tesis de Maestría. Montecillo, México. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. 125 p.
- Fontaine, R. E. 2006. Evaluación social de proyectos. Colombia. Alfaomega Colombiana. Décimo segunda edición. 471 pp.
- ICOLD. 1995. Position paper on Dams and Environment. Icold. Paris. 10 pp.
- Morin, E. 1980. La Méthode. Tome I. La nature de la nature. Du Seuil, Paris. 399 pp.
- López, E. y Serna, J. 1999. Valoración estacional del zooplancton del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México y su relación con el fitoplancton y factores ambientales. Rev. Biol. Trop. 47(4):643-657.
- Ojeda, W. y Herrera, J. 2004. Uso eficiente del agua y la energía en sistemas de bombeo. IMTA. Jiutepec, Morelos. ISBN: 968-7417-41-2, 2000.
- Poméon, T. y Boucher, F. 2006. Las dinámicas colectivas en dos cuencas lecheras mexicanas: Tlaxco, Tlaxcala y Tizayuca, Hidalgo. Agroalimentaria. 22:49-64.