

Consumo de agua y producto interno bruto en la cuenca Lerma-Chapala

• Juan José Fernández-Durán* • Antonio Lloret •
Instituto Tecnológico Autónomo de México

*Autor para correspondencia

Resumen

Fernández-Durán, J. J., & Lloret, A. (julio-agosto, 2016). Consumo de agua y producto interno bruto en la cuenca Lerma-Chapala. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(4), 129-138.

El objetivo de este artículo es probar la hipótesis de la curva U invertida de Kuznets en la relación entre el consumo de agua per cápita para uso agrícola y ganadero, que representa en promedio 75% del consumo total, y el PIB per cápita para los municipios en la cuenca Lerma-Chapala. En el contexto de cambio climático, la relación entre consumo de agua y PIB es muy importante, pues la variabilidad en la disponibilidad del agua ha aumentado, forzando a los usuarios y gobiernos a considerar estrategias para su uso eficiente, en donde se incluyan los posibles impactos económicos y ambientales. Al llevar a cabo el análisis a nivel de una cuenca hidrográfica es necesario considerar los efectos espaciales entre municipios vecinos a través de la aplicación de modelos autorregresivos espaciales. Al incluir errores correlacionados espacialmente en los modelos de regresión, no se rechaza la hipótesis de la curva U invertida de Kuznets. Por tanto, cualquier estrategia de mitigación del cambio climático relacionada con el uso eficiente del agua debe ser evaluada en sus costos y beneficios en el PIB municipal en relación con la curva de Kuznets estimada en este artículo.

Palabras clave: agua, cambio climático, análisis espacial, curva de Kuznets.

Abstract

Fernández-Durán, J. J., & Lloret, A. (July-August, 2016). Water Use and Gross Domestic Product in the Lerma-Chapala Hydrographic Basin. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(4), 129-138.

The main objective of this article is to test the Kuznets inverted U-curve hypothesis in the relation between water consumption, for which agriculture and farming represent on average 75% of total consumption, and the GDP in municipalities located in the Lerma-Chapala hydrographic basin. Given the context of climate change, it is essential to understand the relationship between water consumption and GDP: the increased variability in the availability of water has forced governments and users to implement strategies for the efficient use of water resources, and thus they must consider not only likely environmental problems but also economic impact. Using data at the municipal level in a hydrographic basin, we consider the spatial effects among the different municipalities; these effects are modeled using spatial autoregressive models. The Kuznets inverted U-curve hypothesis is not rejected when allowing for spatially correlated errors. Thus, any strategy for mitigating climate change by making an efficient use of water resources must be evaluated in terms of its costs and benefits in the PIB of the municipality in relation to the fitted Kuznets curve presented in this article.

Keywords: Water use, climate change, spatial analysis, Kuznets's curve.

Recibido: 24/02/2014

Aceptado: 16/04/2015

Introducción

El agua es esencial para la vida. Es indispensable para la agricultura, los sistemas sanitarios de las ciudades, la generación de energía y es pieza fundamental de varios procesos industriales. Sin embargo, la disponibilidad de este recurso se encuentra en peligro. En todo el mundo existe una creciente escasez de agua que genera serios

problemas sociales a los gobiernos e industrias, que se han incrementado debido a los altos costos para desarrollar infraestructura hidráulica, degradación del suelo, sobreexplotación de los acuíferos y contaminación de las distintas fuentes de agua (Rosegrant, Cai, & Cline, 2002).

El cambio climático ha aumentado la incertidumbre y variabilidad de la disponibilidad del agua en México, en donde se puede poner en

riesgo su desarrollo económico, derivado de las limitantes que impone la escasez de agua para la producción agrícola y seguridad alimentaria, o bien de la necesidad de disponer recursos para diversos usos municipales e industriales (Frederick & Major, 1997; IPCC, 2007; Schewe *et al.*, 2014). La falta de previsión y adaptabilidad de los gobiernos ante el cambio climático generará impactos en las operaciones de los usuarios en el corto plazo (Bates, Kundzewicz, Wu, & Palutikof, 2008).

En promedio, en el mundo, un 20% del agua se utiliza en la industria y para la generación de energía; un 75%, en agricultura y ganadería; y el restante 5%, al empleo en ciudades y hogares. Estos porcentajes varían por región geográfica, abundancia del agua y de acuerdo con el desarrollo económico (FAO, 2015).

Los principales sectores que hacen un uso intensivo del agua son la industria de alimentos y bebidas, minería, manufactura, construcción y comercio, que corresponden aproximadamente a un 60% del total de producto interno bruto (FAO, 2015; INEGI 2015).

En este artículo analizamos el agua como un recurso limitado en la cuenca Lerma-Chapala y en particular, en su uso en la agricultura y ganadería a través del ajuste de un modelo espacial para la curva de Kuznets.

Antecedentes de la curva U invertida de Kuznets

La curva clásica de Kuznets (Kuznets, 1955; Moran, 2005) es una relación entre la desigualdad económica y el producto interno bruto (PIB). Kuznets demostró una relación de U invertida entre estas dos variables, implicando que un país, al inicio, al incrementar su PIB también aumenta la desigualdad económica hasta que alcanza un pico a partir del cual, al incrementar su PIB, producirá un decremento en la desigualdad económica. En su forma original, Kuznets concibió esta relación ocurriendo en el tiempo para un mismo país, pero los primeros artículos que trataban sobre la verificación empírica de la curva de Kuznets utilizaban cortes transversales

de países en vez de una serie de tiempo para un mismo país. Recientemente, la curva U invertida de Kuznets se ha aplicado a problemas en áreas diferentes a la economía del desarrollo. En particular, en problemas del medio ambiente, como la relación entre el PIB per cápita y la cantidad de contaminantes per cápita generada en un país, la curva U invertida de Kuznets ha sido confirmada empíricamente en diferentes naciones y ciudades (Stern, 2004).

El principal objetivo de este artículo es probar empíricamente la hipótesis de la existencia de la curva U invertida de Kuznets al estudiar la relación entre el consumo de agua en la agricultura y ganadería, y el PIB para los municipios de la cuenca Lerma-Chapala, al controlar por la autocorrelación espacial, al utilizar modelos autorregresivos espaciales.

Consumo de agua para la agricultura y ganadería, y el PIB en los municipios de la cuenca Lerma-Chapala

La cuenca hidrográfica de Lerma-Chapala se localiza en la parte oeste del centro de México (figura 1). Tiene una extensión de 54 391 km² (3% del área total de México) y contiene 131 municipios de los estados de Estado de México (32), Guanajuato (40), Jalisco (16), Michoacán (40) y Querétaro (3). El río principal es el Lerma, que desemboca en el lago Chapala. Un total de 11 millones de habitantes viven en esta cuenca, que representan casi 11% de la población total del país, además de que dos millones de habitantes en la ciudad de Guadalajara y dos millones de habitantes en la Ciudad de México hacen uso del agua en la cuenca. El 12.5% de la producción agrícola total de México y 30% de la producción industrial total del país se lleva a cabo en esta cuenca. Un 75% del agua que se utiliza en esta cuenca se destina a la agricultura y ganadería (Cotler, Mazar, & De Anda, 2006).

La figura 2 presenta un mapa de la cuenca Lerma-Chapala, con los nombres de los municipios que se encuentran dentro de ella. Algunos de los municipios más importantes, ya sea en términos de su población total o su producción

industrial total son León, Guanajuato, Silao, Irapuato, Toluca y Querétaro.

El artículo se divide en cinco secciones, incluyendo esta introducción. La segunda sección presenta la metodología con la cual se calculó el consumo de agua en agricultura y ganadería para cada uno de los municipios en la cuenca Lerma-Chapala. La definición de los modelos autorregresivos espaciales y los resultados de su ajuste para estimar la curva U invertida de Kuznets se incluyen en la tercera sección. Ante el cambio climático, las consecuencias para los usuarios y gobiernos de la curva U invertida de Kuznets se presentan en la cuarta sección. Por último, se tienen las conclusiones en la quinta sección.

La hipótesis fundamental de este artículo es la siguiente: *La relación entre el consumo de agua per cápita en la agricultura y ganadería y el PIB per cápita en municipios de la Cuenca Lerma-Chapala sigue una curva U invertida una vez que se controla por autocorrelación espacial.*

De forma intuitiva se espera que el consumo de agua para agricultura y ganadería sea bajo en municipios industriales, y que, además, estos municipios tendrán un PIB más alto que aquellos municipios cuya actividad principal sea la agricultura y ganadería. El principal objetivo es probar que, al utilizar un corte transversal de los municipios en la cuenca Lerma-Chapala, el patrón de curva U invertida no se puede rechazar.

Para probar esta hipótesis se construyó una base de datos que contiene la siguiente información para cada municipio de la cuenca Lerma-Chapala: producción total en 2005 de frijol, maíz, trigo, carne de res y de puerco, huevos (en kilogramos) y leche (en litros); así como utilizar el número total de litros que se necesitan para producir una unidad (kilogramo o litro) de cada uno de estos productos reportados por la Water Footprint Network en www.waterfootprint.org (Mekonnen & Hoekstra, 2010; Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011; WWF, 2012), para cada uno de los estados en la cuenca Lerma-Chapala.

El consumo total de agua en agricultura y ganadería se obtuvo al multiplicar la producción total de estos siete productos por el número

respectivo de litros de agua que se requieren para producirlos. Se seleccionó la producción de 2005, pues sólo se pudo obtener datos del PIB a nivel municipal para este año. Por ejemplo, la Water Footprint Network reportó que se requieren, en promedio, 381 litros de agua para producir un kilo de frijol; 2 315 litros de agua para producir un kilo de maíz; 1 298 litros para un kilo de trigo; 26 809 litros para un kilo de carne de res; 5 013 litros para un kilo de carne de cerdo; 2 382 litros para un litro de leche, y 4 277 litros para un kilo de huevo. Así, el promedio del consumo per cápita de agua para agricultura y ganadería para los municipios de la cuenca Lerma-Chapala en 2005 fue igual a 3 277.22 metros cúbicos, con una desviación estándar de 3 232.32 metros cúbicos.

La figura 3 presenta el total de agua en m^3 que se utilizó en 2005 en agricultura y ganadería para cada uno de los municipios en la cuenca Lerma-Chapala, clasificados en deciles (claro es bajo y oscuro es alto). La figura 4 presenta la misma gráfica, pero en términos per cápita. A partir de la figura 4 es claro que los municipios en la parte superior e inferior de la gráfica presentan los valores más bajos de uso de agua per cápita, ya que varios de estos municipios son principalmente áreas industriales. En el lado izquierdo de la parte central de la gráfica se encuentra la mayoría de los municipios con los consumos per cápita de agua más altos. La figura 5 incluye el PIB per cápita clasificado en deciles.

En la siguiente sección se ajusta un modelo autorregresivo espacial utilizando el logaritmo natural del consumo de agua per cápita en agricultura y ganadería por municipio como variable dependiente (\ln consumo de agua) y el logaritmo natural del PIB per cápita (\ln PIB), y su cuadrado como variables explicativas, tal y como lo especifica la curva U invertida de Kuznets. La figura 6 presenta el diagrama de dispersión del logaritmo natural del consumo per cápita de agua *versus* el logaritmo natural del PIB per cápita para los municipios de la cuenca Lerma-Chapala. Este diagrama presenta una relación negativa entre las dos variables e,

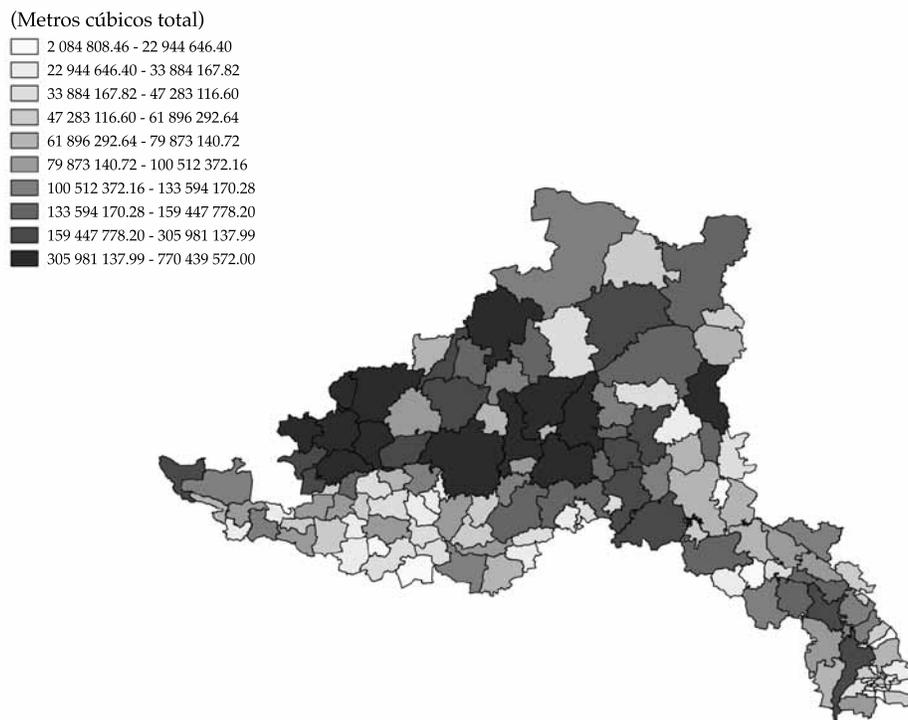


Figura 3. Deciles del consumo de agua en agricultura y ganadería para los municipios de la cuenca Lerma-Chapala.

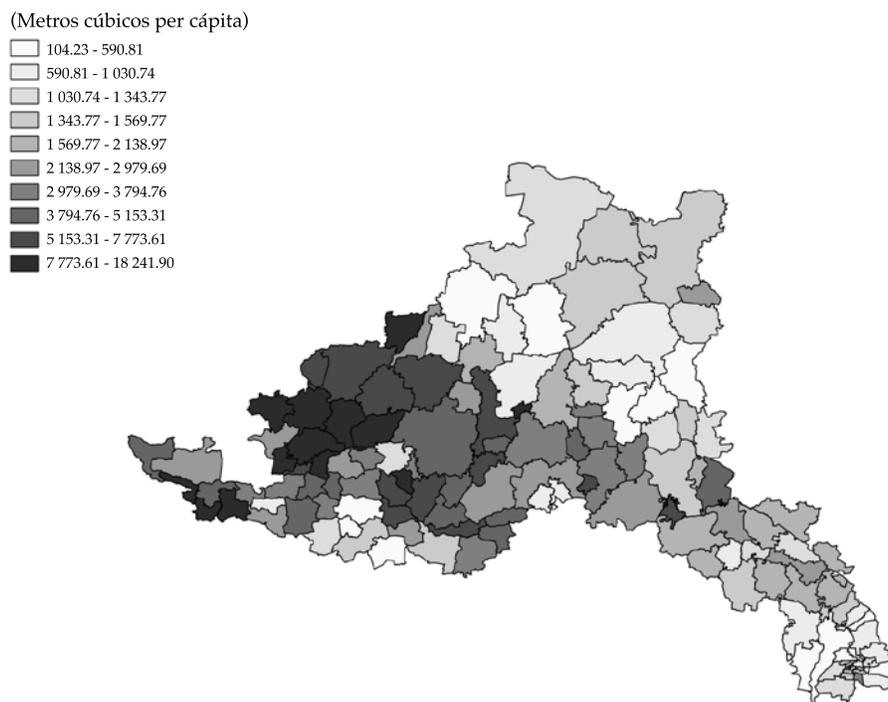


Figura 4. Deciles del consumo per cápita de agua en agricultura y ganadería para los municipios de la cuenca Lerma-Chapala.

(Pesos de 2005 per cápita)

- 18 503.91 - 33 002.61
- 33 002.61 - 37 133.03
- 37 133.03 - 39 920.68
- 39 920.68 - 43 228.27
- 43 228.27 - 46 639.10
- 46 639.10 - 49 349.93
- 49 349.93 - 53 006.15
- 53 006.15 - 57 860.80
- 57 860.80 - 68 909.80
- 68 909.80 - 13 887.25

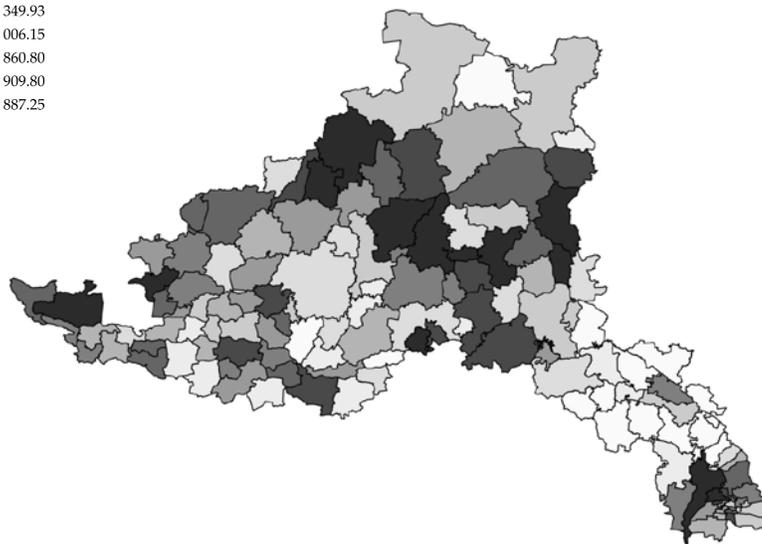


Figura 5. Deciles del PIB per cápita para los municipios de la cuenca Lerma-Chapala.

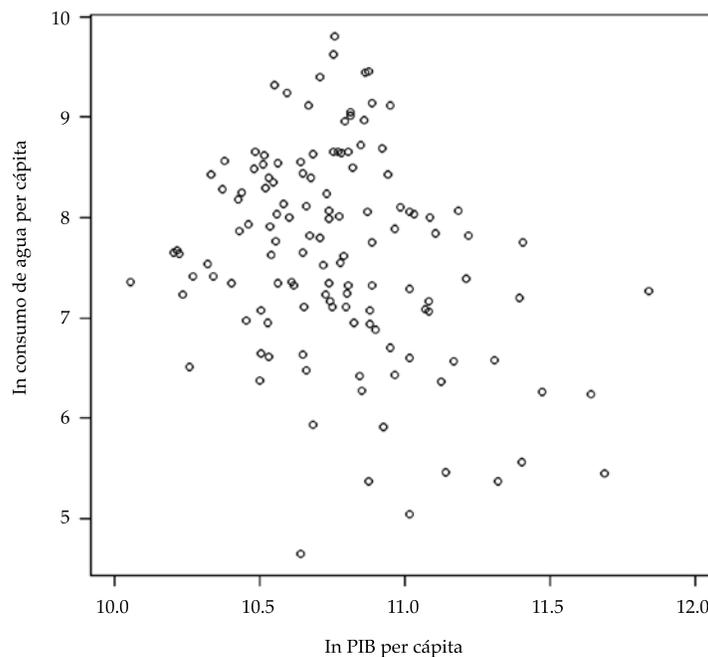


Figura 6. Diagrama de dispersión del logaritmo natural del PIB per cápita (ln PIB per cápita) vs. el logaritmo del consumo de agua per cápita en agricultura y ganadería (ln consumo de agua per cápita).

inclusive, es posible que exista una relación cuadrática entre ambas variables.

Análisis espacial de la curva U invertida de Kuznets en la cuenca Lerma-Chapala

La forma general de un modelo autorregresivo espacial (Anselin, 1988) es la siguiente:

$$\mathbf{Y} = \rho W_1 \mathbf{Y} + X\beta + \mathbf{u} \quad (1)$$

$$\mathbf{u} = \lambda W_2 \mathbf{u} + \mathbf{e} \quad (2)$$

$$\mathbf{e} \sim N(0, \sigma^2 I_{n \times n}) \quad (3)$$

donde las matrices W_1 y W_2 se obtienen a partir de las matrices W_1^* y W_2^* al estandarizar sus renglones para que sumen uno. Las matrices W_1^* y W_2^* son de vecindad con un uno en la posición (i, j) si los municipios i y j son vecinos, es decir, si tienen frontera en común y un cero en caso contrario. El vector \mathbf{Y} contiene los valores observados de la variable dependiente; X es una matriz de variables independientes con cada columna conteniendo los valores observados de una variable independiente; \mathbf{u} es un vector de errores estocásticos que pueden estar espacialmente correlacionados, y \mathbf{e} es un vector de errores estocásticos con elementos que no están correlacionados y tienen varianza constante igual a σ^2 , media igual a cero y siguen una distribución normal, implicando que son estocásticamente independientes. Si el parámetro ρ en la ecuación (1) es significativamente diferente de cero, implica que el promedio de los valores de la variable dependiente en los vecinos es importante para explicar el valor de la variable dependiente en el municipio de interés. De manera similar, el parámetro λ en la ecuación (2) determina si los errores \mathbf{u} están correlacionados espacialmente o no. Si ρ y λ son simultáneamente iguales a cero, entonces el modelo autorregresivo espacial es equivalente a una regresión lineal múltiple y el método de mínimos cuadrados ordinarios se puede utilizar para ajustar el modelo a partir de los datos

observados. En este artículo, \mathbf{Y} = logaritmo natural del total de agua per cápita utilizada en la agricultura y ganadería en un municipio (ln consumo de agua); X_1 = logaritmo natural del PIB per cápita (ln PIB), y $X_2 = X_1^2$. En este caso, la ecuación (1) toma la siguiente forma:

$$\text{ln consumo de agua} = \rho W_1 \text{ ln consumo de agua} + \beta_0 + \beta_1 \text{ ln PIB} + \beta_2 (\text{ln PIB})^2 + \mathbf{u}$$

En este artículo se comparan los siguientes modelos al aplicar ciertas restricciones en el modelo definido por las ecuaciones (1), (2) y (3):

1. Modelo 1: el modelo autorregresivo espacial ($\lambda = 0$).
2. Modelo 2: el modelo espacial con errores correlacionados espacialmente ($\rho = 0$).
3. Modelo 3: el modelo de regresión lineal múltiple ajustado por mínimos cuadrados ordinarios ($\rho = 0$ y $\lambda = 0$).

El criterio de información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés) se utiliza para comparar los modelos. En los tres modelos, el intercepto β_0 no resulta ser significativamente diferente de cero, con un nivel de significancia de 1%. En términos del AIC, el mejor modelo es aquel con el menor valor del AIC. En este caso, el mejor modelo es el modelo 2 con AIC = 286.39, seguido del modelo 1 con AIC = 290.44 y el modelo 3 con AIC = 371.58.

Los resultados de la estimación del modelo 2 se tienen en el cuadro 1.

El valor estimado del parámetro λ es igual a 0.7786 y el valor p de la hipótesis nula de que λ es igual a cero es menor a 10^{-15} , claramente rechazando la hipótesis nula. La ecuación (1) ajustada para el modelo 2 es la siguiente:

$$\text{ln consumo de agua} = 2.3058 * \text{ln PIB} - 0.1477 * (\text{ln PIB})^2 \quad (4)$$

y la ecuación (2) ajustada es:

$$\mathbf{u} = 0.7786 * W\mathbf{u} + \mathbf{e}.$$

Cuadro 1. Estimaciones de los coeficientes de la curva U invertida de Kuznets en el modelo 2 con errores correlacionados espacialmente.

Variable	Coefficiente estimado	Error estándar	Valor p
ln PIB	2.3058	0.2087	< 10 ⁻¹⁵
(ln PIB) ²	-0.1477	0.0191	< 10 ⁻¹⁴

Estos resultados confirman la curva U invertida de Kuznets, pero cuando se controla por errores espacialmente correlacionados. La figura 7 presenta el diagrama de dispersión junto con la curva U invertida de Kuznets al utilizar los resultados del modelo 2 ajustado. El punto máximo de la parábola ajustada se da en ln PIB = 7.81. Por tanto, para valores del ln PIB menores a 7.81 incrementos del PIB están asociados con incrementos en el consumo de agua en agricultura y ganadería, y una vez que el logaritmo natural del PIB sobrepasa 7.81, entonces incrementos en el PIB están relacionados con reducciones en el consumo de agua en agricultura y ganadería. Este efecto se debe a que municipios

con alto PIB se vuelven más eficientes en su consumo de agua para agricultura y ganadería, donde la cantidad de agua a utilizarse puede ser menor y su consumo es más eficiente.

Una de las ventajas de expresar el modelo en el logaritmo natural de las variables es que para predecir los cambios en la variable consumo de agua ante un cambio en la variable PIB, utilizando la ecuación (4), se puede trabajar con cambios porcentuales. El cuadro 2 incluye los cambios porcentuales esperados en la variable consumo de agua per cápita ante un incremento de 1% en el PIB per cápita. Dada la forma cuadrática de la curva de Kuznets en la ecuación (4), el cambio porcentual esperado en el consumo de agua per

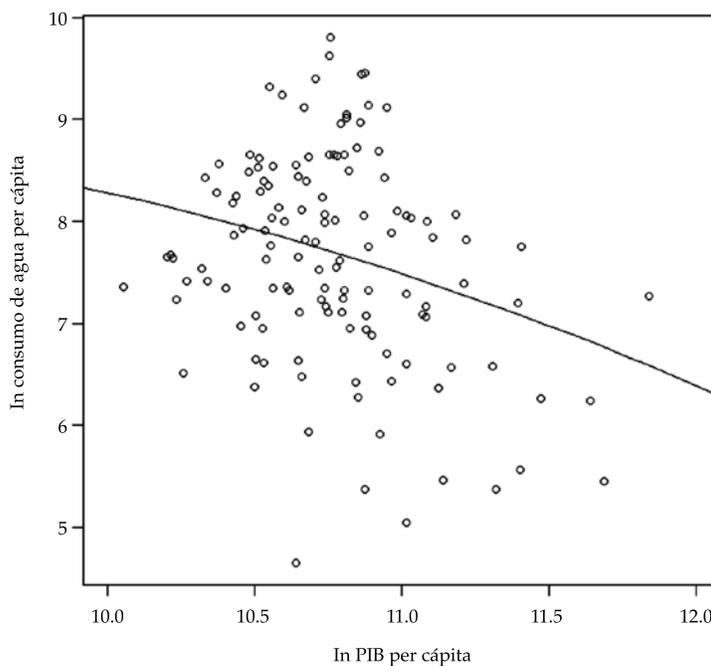


Figura 7. Diagrama de dispersión del logaritmo natural del PIB per cápita (ln PIB per cápita) vs. el logaritmo del consumo de agua per cápita en agricultura y ganadería (ln consumo de agua per cápita), junto con la curva U invertida de Kuznets ajustada para el modelo 2.

Cuadro 2. Incrementos porcentuales esperados en la variable consumo de agua per cápita ante un incremento de 1% en el PIB para diferentes valores del PIB per cápita.

PIB per cápita	ln PIB (per cápita)	Incremento porcentual en PIB per cápita (%)	Cambio porcentual en consumo de agua per cápita (%)
403.43	6	1	0.5334
1 096.63	7	1	0.2380
2 980.96	8	1	-0.0574
8 103.08	9	1	-0.3528
22 026.47	10	1	-0.6482
59 874.14	11	1	-0.9436
162 754.79	12	1	-1.2390
442 413.39	13	1	-1.8298

cápita depende del valor del PIB per cápita. Por ejemplo, para un municipio con un valor del ln PIB igual a 10 se espera un cambio porcentual en la variable consumo de agua per cápita de -6.48% ante un incremento de 10% en el PIB per cápita.

Implicaciones de la curva U invertida de Kuznets en relación con el cambio climático

Al considerar datos en el consumo de agua en agricultura y ganadería, y el PIB de municipios en la cuenca Lerma-Chapala se concluye que no se rechaza la curva U invertida de Kuznets al utilizar el logaritmo natural de las variables y controlar por errores correlacionados espacialmente en modelos autorregresivos espaciales.

Además, a partir de la figura 7, es claro que todos los municipios se encuentran en la parte decreciente de la curva de Kuznets. El agua es un recurso valioso en la creación de riqueza, medida a través del PIB, en los sectores agrícola y ganadero, por lo que es necesario su uso de una forma estratégica y más todavía por los efectos del cambio climático. El estudio CERES 2009 (www.ceres.org) señala algunas de las tendencias que ocurrirán en cuanto al consumo de agua a consecuencia del cambio climático y crecimiento poblacional. Por ejemplo, temperaturas más altas provocarán un mayor consumo de agua en agricultura y ganadería, además de variaciones en las reservas de agua como consecuencia también de cambios en las

precipitaciones. Aparte, se espera un aumento de las zonas erosionadas y desérticas. Respecto a los efectos del crecimiento poblacional, cada vez será más difícil a los gobiernos incrementar la capacidad de la infraestructura para hacer llegar agua de calidad a un número creciente de habitantes, sobre todo en países subdesarrollados y en desarrollo. Aparte, al incrementarse la contaminación de las fuentes y reservas de agua, la situación puede empeorar más.

La vulnerabilidad de México al cambio climático depende en gran medida de los cambios en la disponibilidad de agua (IPCC, 2007). La adaptación de los usuarios a modificaciones en la disponibilidad de agua, tanto en los sectores agrícola y ganadero como en el industrial, consistirá en reducir los efectos adversos o en tomar ventajas de las oportunidades que surgirán ante los nuevos escenarios. Dentro de estas estrategias está el ahorro de agua y energía, tratamiento y reciclado del agua, e incluso el uso de fuentes alternativas de energía. Otras posibles estrategias son el desarrollo de mercados de agua y la medición en tiempo real del uso del agua (Bergkamp & Sadoff, 2008).

Dados los resultados en este artículo del ajuste de la curva U invertida de Kuznets en los municipios de la cuenca Lerma-Chapala, cualquier estrategia de adaptación debe considerar el valor del PIB per cápita del municipio y, sobre todo, qué tan alejado se encuentra dicho valor al que corresponde al pico de la curva (ln PIB = 7.81), para llevar a cabo un análisis de

costo-beneficio en términos del incremento del PIB per cápita y el consumo adicional de agua al implementar dicha estrategia.

Conclusiones

En este artículo se ha demostrado una relación estadísticamente significativa entre el consumo de agua y el PIB, tal como lo sugiere al curva U invertida de Kuznets, pero al utilizar un modelo autorregresivo espacial con errores espacialmente correlacionados. Todos los municipios en la cuenca Lerma-Chapala se encuentran en la parte decreciente de la curva de Kuznets, implicando que el consumo per cápita de agua para agricultura y ganadería se disminuye al incrementarse el PIB per cápita. Debido al cambio climático, los distintos usuarios deberán diseñar estrategias que tomen en cuenta la relación de la curva U invertida de Kuznets en relación con los cambios en el consumo per cápita de agua en agricultura y ganadería, y PIB per cápita.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo de la Asociación Mexicana de Cultura, A. C., para la elaboración de este trabajo.

Referencias

- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models (Studies in Operational Regional Science, Vol. 4)* (289 pp.). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. & Palutikof, J. P. (2008). *El cambio climático y el agua. Documento Técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (224 pp.). Ginebra: Secretaría del IPCC.
- Bergkamp, G. & Sadoff, C. W. (2008). Water in a sustainable economy: 25th Anniversary Edition. Special Section: Paying for nature's services (pp. 107-238). En *2008 State of the World: Innovations for a Sustainable Economy*. Washington, DC: Worldwatch Institute.
- Cotler, H., Mazar, M., & De Anda, J. (2006). *Atlas de la cuenca Lerma Chapala: construyendo una visión conjunta* (196 pp.). México, DF: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- FAO (2015). *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Base de datos AQUASTAT*. Fecha de consulta: 5 de diciembre 5 de 2015. Recuperado de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>.
- Frederick, K. D., & Major, D. C. (1997). Climate Change and Water Resources. *Climatic Change*, 37, 7-23.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard*. (224 pp.). London and Washington, DC: Earthscan.
- INEGI (2015). *PIB y Cuentas Nacionales de México*. Fecha de consulta: 5 de diciembre de 2015. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/>.
- IPCC (2007). *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007* (104 pp.). Core Writing Team, Pachauri, R. K., & Reisinger, A. (eds.). Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel for Climate Change.
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, 45, 1-28.
- Moran, T. P. (2005). Kuznets's Inverted U-Curve Hypothesis: The Rise, Demise and Continued Relevance of a Socioeconomic Law. *Sociological Forum*, 20, 209-244.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). *The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products*. Value of Water Research Report Series 47. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE, 2010. Recovered from <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf>
- Rosegrant, M. W., Cai, X., & Cline, S. A. (2002). *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity* (322 pp.). Washington, DC and Colombo, Sri Lanka: International Food Policy Research Institute and International Water Management Institute.
- Schewe, J. et al. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, March 2014, 111(9), 3245-3250, doi: 10.1073/pnas.1222460110.
- Stern, D. I. (2004). The Environmental Kuznets Curve (pp. 517-525). In *Encyclopedia of Energy*. Cleveland, C. J. (editor). San Diego, USA: Academic Press, 2004.
- WWF (2012). *Water Footprint of Mexico in the Context of North America*. Fecha de consulta: 6 de diciembre de 2015. Recuperado de http://waterfootprint.org/media/downloads/Water_Footprint_of_Mexico.pdf.

Dirección institucional de los autores

Dr. Juan José Fernández-Durán
Dr. Antonio Lloret

Instituto Tecnológico Autónomo de México
División Académica de Administración y Contaduría
Río Hondo 1, Col. Progreso Tizapán, México
jfddez@itam.mx
antonio.lloret@itam.mx