

ESTIMACIÓN DE LOS IMPACTOS ECONÓMICOS DE UNA SEQUÍA

• Nicholas P. Sisto •

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México

• Ramón Guajardo-Quiroga •

Universidad Autónoma de Nuevo León, México

• Ismael Aguilar-Barajas •

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México

Resumen

Este trabajo propone un enfoque innovador para la estimación de los impactos económicos de una sequía. La metodología propuesta combina estimaciones empíricas de la productividad física del agua de riego, con un modelo de insumo-producto que permite cuantificar los impactos sectoriales (en términos de producto, ingresos y empleo) ocasionados por una reducción en la actividad agrícola. Se presenta un ejercicio de aplicación para la región noreste de México. Los resultados obtenidos sugieren que una sequía puede causar impactos significativos sobre diversos sectores económicos. No obstante lo inevitable de las sequías, existen diversas soluciones técnicas para mitigar sus impactos económicos. La estimación de dichos impactos sirve entonces para el diseño de planes para el manejo de las sequías; en particular, permite justificar hasta dónde invertir en las correspondientes medidas de mitigación.

Palabras clave: agricultura, riego, sequía, impactos económicos sectoriales, noreste de México.

Introducción

La agricultura de riego representa una parte esencial de la producción mundial de alimentos; hasta el 40% de la cosecha global de cultivos proviene de campos de riego (Tilman *et al.*, 2002). En el noreste de México, cientos de miles de hectáreas de tierras agrícolas están habilitadas para el riego, principalmente a partir de fuentes superficiales de agua (*i.e.* presas y corrientes). La figura 1 ubica los diez distritos de riego (DR) pertenecientes a la parte mexicana de la cuenca del río Bravo, territorio que abarca parte de los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas; dicha figura también ilustra la extensión total de la cuenca entre México y los Estados Unidos de América.

La disponibilidad natural de agua superficial, por lo general limita la utilización de la capacidad productiva de los distritos de riego del noreste de México. La figura 2 reporta la superficie regada, así como los volúmenes de aguas superficiales y subterráneas aprovechadas en años recientes para el conjunto de los distritos de riego pertenecientes a la región hidrológica administrada por el Organismo de Cuenca Río Bravo (OCRB). Los datos revelan que de un año a otro, el volumen de aguas superficiales aprovechadas puede bajar hasta en un 50%, como lo muestra el año agrícola (*i.e.* octubre a septiembre) 2000-2001 en relación con el año anterior, 1999-2000. De hecho, las recurrentes reducciones en las precipitaciones pluviales y por ende la disponibilidad de agua superficial

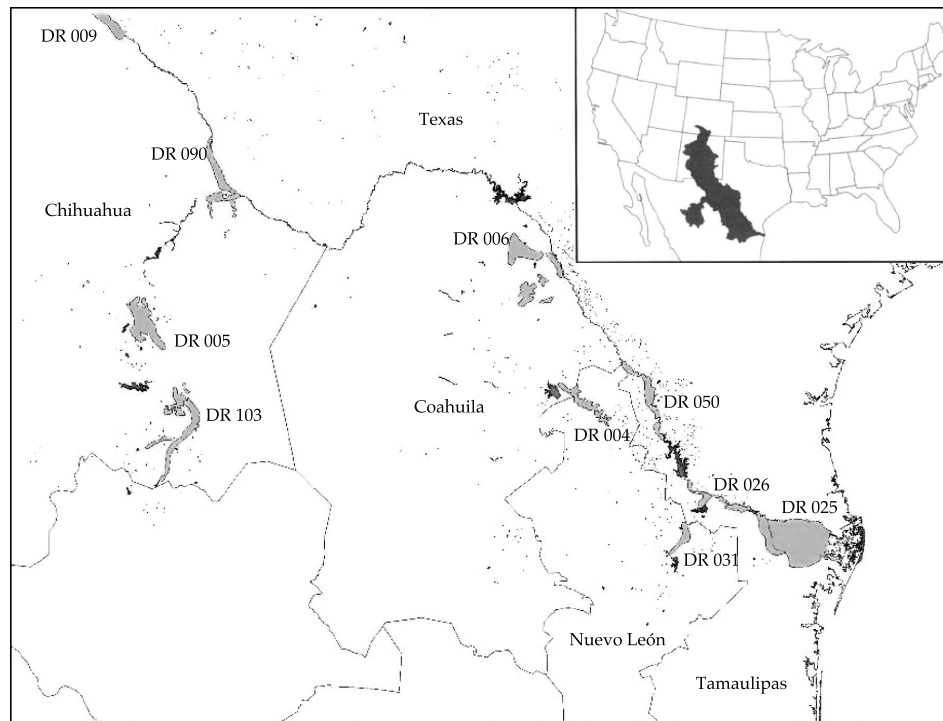
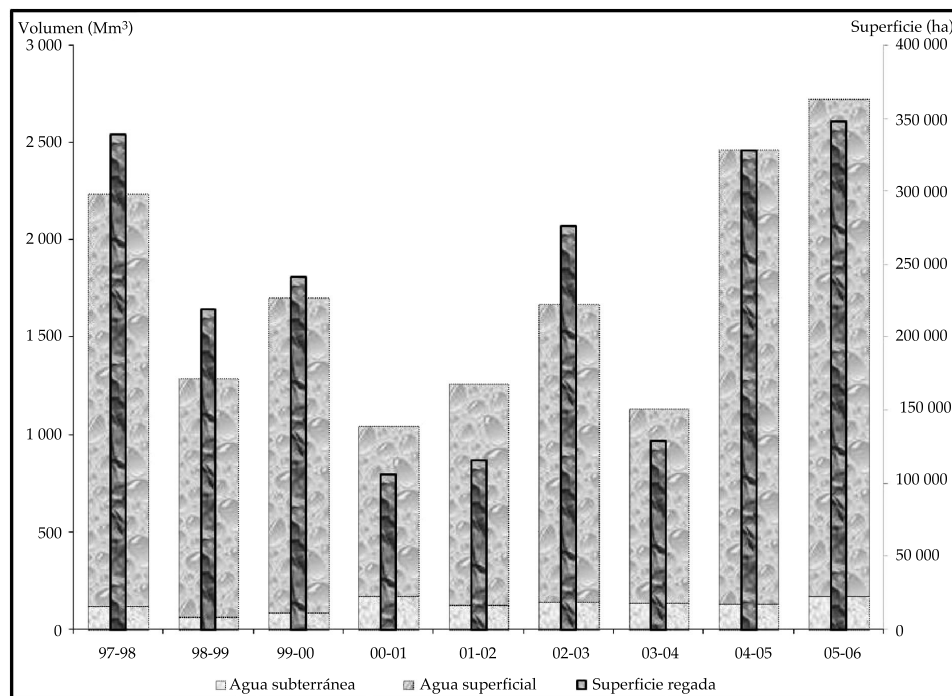


Figura 1. Cuenca del río Bravo y distritos de riego (DR) del lado mexicano.



Fuente: elaboración propia con base en información de la Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación, Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Superficies regadas y volúmenes de agua distribuidos en los distritos de riego. Varios años.

Figura 2. Superficie regada y volúmenes de riego, noreste, total anual (de 1997-1998 a 2005-2006).

que caracterizan el clima de la región pueden llegar a ser aún más extremas (véase, por ejemplo, Esquivel, 2002).

En este trabajo proponemos estimar el impacto de una sequía sobre los distintos sectores de actividad de la economía del noreste en términos de producto, ingresos y empleo, mediante una metodología original que consta de dos componentes principales. Primero, cuantificamos la relación entre el volumen de riego y la masa cosechada para los principales cultivos de la zona de estudio mediante el análisis de datos históricos de producción de los distritos de riego del OCB. Con base en los resultados obtenidos, simulamos las cosechas que se hubieran obtenido en un determinado año de referencia (el 2005-2006), pero con un volumen de riego 50% menor al observado. Ello nos permite estimar las pérdidas de producción de cultivos que se hubieran

registrado a consecuencia de tal reducción en la disponibilidad de agua superficial.

Segundo, simulamos el efecto de las pérdidas agrícolas calculadas anteriormente sobre la economía regional. El cuadro 1 reporta el producto interno bruto (PIB) del noreste en el 2006, desagregado en 17 sectores de actividad económica. Dados los vínculos económicos entre la agricultura y otros sectores de actividad, el impacto de una reducción en la producción agrícola pudiera tener repercusiones más allá del sector 1. Para tener en cuenta estos vínculos, empleamos un modelo inter-industrial de insumo-producto (I-P) de la economía regional. Ello nos permite determinar cuáles hubieran sido las repercusiones sobre el producto, los ingresos y el empleo en cada uno de los 17 sectores de actividad de la región, si se hubiese dado en 2006 el escenario de sequía anteriormente referido.

Cuadro 1. PIB (miles de pesos a precios corrientes), por sector, noreste, 2006.

Sectores	Chihuahua	Coahuila	Nuevo León	Tamaulipas	Noreste
1. Agropecuario, silvicultura y pesca	16 863 000	8 639 594	7 333 531	8 589 202	41 425 327
2. Minería	5 609 857	7 929 894	2 148 063	3 797 149	19 484 963
3. Alimentos, bebidas y tabaco	8 207 794	13 553 321	29 433 919	9 367 975	60 563 009
4. Textiles, vestido y cuero	6 777 895	4 339 058	3 095 681	1 200 655	15 413 289
5. Madera y sus productos	3 217 596	272 720	1 587 965	405 864	5 484 145
6. Papel, imprentas y editoriales	1 715 466	819 606	3 215 136	1 413 977	7 164 185
7. Químico, derivados del petróleo, caucho y plástico	2 869 011	4 700 750	14 751 598	17 135 922	39 457 281
8. Minerales no metálicos, excepto derivados del petróleo	5 477 060	8 876 685	15 695 928	1 003 036	31 052 709
9. Industrias metálicas básicas	1 096 456	18 992 590	15 791 777	352 153	36 232 976
10. Productos metálicos, maquinaria y equipo	42 006 008	43 234 867	57 443 102	21 844 446	164 528 423
11. Otras industrias manufactureras	4 967 697	516 778	1 285 989	2 194 007	8 964 471
12. Construcción	16 910 246	7 437 402	30 120 929	15 255 041	69 723 618
13. Electricidad, gas y agua	2 055 346	4 165 255	6 966 731	9 233 968	22 421 300
14. Comercio, restaurantes y hoteles	123 731 944	54 922 092	132 833 285	62 746 580	374 233 901
15. Transporte, almacenaje y comunicación	35 186 365	23 341 010	67 749 587	32 938 439	159 215 401
16. Servicios financieros y seguros	34 667 679	23 012 217	75 678 145	27 332 430	160 690 471
17. Servicios comunales, sociales y personales	62 455 852	46 316 528	158 804 389	50 222 784	317 799 553
Total (17 sectores)	373 815 272	271 070 367	623 935 755	265 033 628	1 533 855 022

Fuente: elaboración propia con base en INEGI, 2007.

Nuestro uso del análisis I-P para tratar temas de agua sigue la literatura establecida. Por ejemplo, Thorvaldenson y Pritchett (2006) utilizan este método para medir los impactos económicos de reducciones permanentes en las superficies de riego en el estado de Colorado, Estados Unidos. En EconSearch (2007), el método I-P se aplica para calcular los impactos económicos de diversos escenarios de asignación de agua entre distintos sectores de actividad en el sur de Australia; Guajardo y García (2001) lo usan para caracterizar la estructura del sector agua y sus relaciones intersectoriales en el estado de Nuevo León. La contribución específica de nuestro trabajo consiste en, por una parte, aplicar el método I-P al tema de la sequía, y por otra, fundamentar el análisis en estimaciones empíricas de la productividad física del agua de riego con base en un modelo original, el cual representa una extensión del trabajo de Sisto (2009).

El resto de este trabajo se organiza de la siguiente manera. A continuación se explicita y detalla nuestra propuesta metodológica. En la siguiente sección se presentan los resultados del análisis de los datos de producción de los distritos de riego del OCRB, así como las estimaciones de las pérdidas de producción de cultivos y sus impactos económicos sectoriales bajo un escenario de sequía. En la penúltima sección se discuten los resultados, y se identifican sus alcances y límites. En las conclusiones, se propone que la metodología utilizada pudiera contribuir al diseño de políticas públicas que permitan manejar las condiciones emergentes generadas por las sequías. También se sugieren algunas áreas prioritarias para la ampliación y profundización del estudio de los impactos de las sequías.

Metodología

Iniciamos con una representación formal del proceso de producción de riego para un cultivo j durante un determinado ciclo agrícola:

$$\begin{aligned} l_{reg}^j &= h(w_{bru}^j, \epsilon) \\ q^j &= g[w_{net}^j, l_{cos}^j(l_{reg}^j), \Gamma] \\ \epsilon &\equiv \frac{w_{net}^j}{w_{bru}^j} \end{aligned} \quad (1)$$

Según la primera ecuación de (1), la superficie que recibe riego (l_{reg}^j) durante el ciclo agrícola se determina con base en el volumen bruto de riego (w_{bru}^j) (i.e. el volumen de agua disponible en la(s) fuente(s) de abastecimiento), así como de la eficiencia hidráulica de la infraestructura de riego (ϵ) (i.e. la proporción del agua extraída que efectivamente llega a los módulos de riego después de las pérdidas por infiltración y evaporación). El resultado del riego se representa en la segunda ecuación: la masa cosechada del cultivo (q) depende del volumen neto de riego (w_{net}^j) (i.e. el volumen recibido en los módulos de riego), de la superficie cosechada (l_{cos}^j), que depende de la superficie que recibió riego, así como de un vector de variables de ubicación geográfica (Γ), que capturan las diferencias naturales de productividad entre los distintos distritos de riego del OCRB. Finalmente, en tercera posición en el sistema (1), se define la eficiencia anteriormente referida (ϵ). Sustituyendo la primera ecuación y la identidad en la segunda ecuación, reducimos el sistema (1) a:

$$\begin{aligned} q^j &= g\{\epsilon^j \cdot w_{bru}^j, l_{cos}^j[h(w_{bru}^j, \epsilon^j)], \Gamma\} \\ &= f(w_{bru}^j, \epsilon^j, \Gamma) \end{aligned} \quad (2)$$

Para caracterizar empíricamente la ecuación (2), especificamos el siguiente modelo de regresión:

$$q^j = c \cdot (w_{bru}^j)^\alpha \cdot (\epsilon^j)^\beta \cdot (e)^{\sum_i \gamma_i \Gamma_i} \cdot (e)^\mu \quad (3)$$

En (3), c es una constante; μ , un término de error, y el suscrito i identifica los distintos elementos del vector Γ . Para obtener

estimaciones de los valores de los parámetros de (3) corremos regresiones de mínimos cuadrados ordinarios sobre su transformación logarítmica.

Los datos que usamos para ello provienen de dos series de documentos que obtuvimos del Organismo de Cuenca Río Bravo (OCRB) en Monterrey, Nuevo León. La serie "Superficie, producción y valor de las cosechas de los distritos de riego" reporta la superficie sembrada, la superficie cosechada y la producción para cada cultivo por distrito de riego, año y ciclo agrícola; también se indica si se trata de producción de riego o de temporal.

La serie "Informe de distribución de aguas" reporta la superficie regada y los volúmenes de agua de riego para cada cultivo por distrito de riego, año y ciclo agrícola; los volúmenes de riego incluyen el total de las extracciones (*i.e.* el volumen bruto), así como el volumen entregado a los usuarios (*i.e.* el volumen neto).

La base de datos que construimos incluye todos los distritos de riego del OCB (DR 042 Buenaventura, DR 089 El Carmen, DR 005 Delicias, DR 009 Valle de Juárez, DR 090 Bajo Río Conchos, DR 103 Río Florido, DR 006 Palestina, DR 004 Don Martín, DR 050 Acuña-Falcón, DR 026 Bajo Río San Juan, DR 031 Las Lajas, DR 025 Bajo Río Bravo). El periodo de observación abarca desde el año agrícola 1997-1998 hasta el 2005-2006. De las regresiones obtenemos directamente, para cada cultivo, la elasticidad de la masa cosechada con respecto al riego:

$$\frac{\partial q^j}{\partial w_{bru}^j} \cdot \frac{w_{bru}^j}{q^j} = \alpha \quad (4)$$

la cual mide el efecto proporcional de un cambio en el volumen bruto de riego sobre la masa cosechada de cultivo. Usamos esta elasticidad para simular el efecto de una reducción en el volumen bruto de riego sobre la cosecha del cultivo con la siguiente fórmula:

$$\Delta q^j = \alpha \cdot (q^j)_0 \cdot \frac{\Delta w_{bru}^j}{(w_{bru}^j)_0} \quad (5)$$

donde el subíndice 0 se refiere a los valores observados en el año de referencia; Δw_{bru} representa una variación en el volumen bruto de riego (*i.e.* un escenario de sequía), y Δq^j mide la reducción en las toneladas cosechadas del cultivo j . A continuación exponemos cómo, mediante un modelo I-P, se estiman los impactos de estas pérdidas agrícolas sobre la economía del noreste.

Un modelo I-P ofrece una representación esquemática del funcionamiento de una economía enfocada en explicitar las relaciones de interdependencia que unen entre sí a sus diversos sectores de actividad. Formalmente se trata de un sistema de ecuaciones lineales:

$$X = AX + Y$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

en el que X es un vector de productos sectoriales; Y , un vector de demandas finales; n , el número de sectores económicos contemplados, y la matriz A (conocida como matriz de insumo-producto o matriz de Leontief) vincula los diversos sectores en términos de la procedencia sectorial de sus insumos, así como el destino sectorial de su producto.

El proceso para la construcción de nuestro modelo I-P para el noreste consta de dos etapas. Tomamos como punto de partida un modelo I-P nacional de 17 sectores, calibrado para el año 2000, el cual fue elaborado por Consultoría Internacional Especializada (CIESA). Primero, actualizamos la matriz de insumo-producto de este modelo al 2004, para tener en cuenta los cambios en los precios y la tecnología desde el año 2000. Segundo, regionalizamos el modelo para enfocarlo al noreste. Tanto la actualización como la regionalización se basan en metodologías estándares. Para la actualización se utilizó un programa computacional que combina los métodos de Henry, y de McMenamin y Haring (véase Miller y Blair, 1985).

La información requerida sobre la demanda final de los sectores económicos en 2004 se obtuvo de las cuentas nacionales para el ingreso y el producto, publicadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el Banco de México (Banxico). La regionalización se efectuó mediante el procedimiento conocido como "*Location Quotients*", que compara la importancia relativa de una industria en una región respecto a su importancia relativa en la nación (véase Miller y Blair, 1985); para ello empleamos los datos de producto interno bruto nacional y por entidad federativa del INEGI. Solucionando nuestro modelo por el vector de los 17 productos sectoriales X , obtenemos:

$$X = (I - A)^{-1}Y$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{17} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1,17} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{17,1} & \dots & a_{17,17} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{17} \end{bmatrix} \quad (7)$$

cada elemento de la matriz $(I - A)^{-1}$ (conocida como la Inversa de Leontief o matriz de interdependencia) representa la cantidad de producto del sector i requerido para satisfacer los requerimientos de la demanda final de una unidad del sector j . Los impactos de las pérdidas agrícolas calculadas en (5) sobre los productos sectoriales de la región se calculan entonces como:

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \vdots \\ \Delta x_{17} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1,17} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{17,1} & \dots & a_{17,17} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta y_1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

donde $\Delta y_1 = \sum_j p^j \cdot \Delta q^j$ y p^j representa el precio de mercado del cultivo j . Para calcular los impactos sobre los ingresos sectoriales R , se introduce en (8) una matriz de multiplicadores de ingreso r , obteniendo:

$$\begin{bmatrix} \Delta R_1 \\ \vdots \\ \Delta R_{17} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & r_{17} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1,17} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{17,1} & \dots & a_{17,17} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta y_1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

De la misma manera, introduciendo en (8) una matriz de multiplicadores de empleo e , los impactos sobre los niveles sectoriales de empleo E se calculan como:

$$\begin{bmatrix} \Delta E_1 \\ \vdots \\ \Delta E_{17} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & e_{17} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1,17} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{17,1} & \dots & a_{17,17} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta y_1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Por la especificación de los coeficientes y multiplicadores en (8), (9) y (10), los impactos calculados incluyen los efectos directos, indirectos (*i.e.* que resultan de la vinculación regresiva inter-industrial o encadenamientos productivos) e inducidos (*i.e.* que derivan de los gastos de los ingresos obtenidos a través del pago por los servicios de trabajo). Para ello seguimos un procedimiento estándar que consiste en incluir en la matriz de I-P como sectores endógenos al consumo privado (columna) y los ingresos de las familias (renglón), además de los sectores productivos de la economía regional (ONU, 1999).

Resultados

Nuestra base de datos de producción agrícola en los doce distritos de riego del OCRB incluye 243 cosechas de maíz, sorgo y algodón registradas desde el año agrícola 1997-1998 hasta el 2005-2006. Durante este periodo, más

del 85% del volumen cumulativo de riego observado se destinó a estos tres cultivos. El cuadro 2 ofrece un resumen básico de los datos para las siguientes variables de la ecuación (3): masa cosechada de cultivo (q , en toneladas), volumen bruto de riego (w_{bru} , en miles de metros cúbicos), y razón entre el volumen neto y el volumen bruto de riego (ε). La información se reporta por cultivo; separamos las cosechas de “maíz” y “maíz grano”, así como de “sorgo” y “sorgo grano”, tal y como aparece en los documentos del OCRB anteriormente referidos.

Las demás variables de la ecuación (3) (*i.e.* los elementos del vector Γ) se definen con respecto a la estructura espacial que encontramos en los datos. El cuadro 3 reporta, para cada distrito de riego, el número de cosechas observadas por modalidad de producción (riego o temporal) y por cultivo. Estas cifras revelan la existencia de tres distintos grupos de distritos: en el grupo Oeste (DR005, DR009, DR042, DR089, DR090, DR103) no existe producción de temporal; en el grupo Centro

(DR004, DR006, DR031, DR050), producción de riego y de temporal coexisten, no obstante las cosechas de riego son más frecuentes; al revés, en el grupo Este (DR025, DR026), las cosechas de temporal son más frecuentes. Este agrupamiento de distritos coincide con la ubicación geográfica de los distritos y con las condiciones climáticas que enfrentan: para los seis distritos de la región Oeste, la precipitación media anual (PMA) es menor a 383 mm; para los dos distritos de la región Este, es mayor a 584 mm; para los demás distritos ubicados en la región Centro es de entre 410 y 550 mm. Con base en este resultado, definimos dos variables dicotómicas para incluir en el vector Γ de la ecuación (3): *Centro*, con valor 1 para las cosechas observadas en los distritos pertenecientes al grupo Centro y 0 para las demás; y, *Oeste*, con valor 1 para las cosechas observadas en los distritos pertenecientes al grupo Oeste y 0 para las demás.

Para cada cultivo corremos una regresión de mínimos cuadrados ordinarios sobre una transformación logarítmica de (3) que

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas: masa cosechada (q , toneladas), volumen bruto de riego (w_{bru} , miles de m^3), eficiencia de conducción (ε , proporción), por cultivo (de 1997-1998 a 2005-2006), OCRB.

		Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Algodón ($n = 53$) ¹	q	4 542	5 674	14	20 164
	w_{bru}	17 233	22 407	176	91 278
	ε	0.60	0.11	0.35	0.80
Maíz ($n = 20$)	q	16 903	36 526	18	132 660
	w_{bru}	20 109	34 918	51	111 640
	ε	0.63	0.15	0.40	0.88
Maíz grano ($n = 50$)	q	21 366	63 138	0	269 780
	w_{bru}	32 342	80 923	11	384 640
	ε	0.59	0.14	0.28	0.79
Sorgo ($n = 14$)	q	68 812	127 180	19	415 830
	w_{bru}	66 982	93 981	13	286 410
	ε	0.57	0.12	0.41	0.77
Sorgo grano ($n = 48$)	q	58 135	151 030	3	624 600
	w_{bru}	58 746	127 800	19	542 480
	ε	0.59	0.14	0.30	0.85
Sorgo forrajero ($n = 49$)	q	16 763	19 597	500	66 180
	w_{bru}	6 557	6 800	231	27 607
	ε	0.58	0.13	0.35	0.85

Nota 1: n = número de observaciones (*i.e.* cosechas). Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Número de cosechas por distrito, cultivo y modalidad (de 1997-1998 a 2005-2006), OCRB.

Ubicación	Distrito	Algodón		Maíz		Sorgo	
		Riego	Temp.	Riego	Temp.	Riego	Temp.
Oeste PMA ¹ ≤ 383 mm	DR 005	9	0	10	0	9	0
	DR 009	8	0	1	0	17	0
	DR 042	6	0	7	0	7	0
	DR 089	5	0	8	0	8	0
	DR 090	9	0	12	0	3	0
	DR 103	2	0	4	0	6	0
Centro 410 ≤ PMA ≤ 550 mm	DR 004	0	0	4	2	12	6
	DR 006	0	0	9	3	23	8
	DR 031	0	0	2	0	8	2
	DR 050	0	0	6	3	13	2
Este PMA ≥ 584 mm	DR 025	6	7	6	9	6	16
	DR 026	8	8	6	16	8	21
Total		53	15	75	33	120	55

Nota 1: PMA: precipitación media anual. Fuente: elaboración propia.

incluye todas las variables explicativas: $w_{bru'}$, ε , una constante, más en su caso las variables dicotómicas *Centro* y *Oeste*, así como una variable adicional, *Grano*, con valor 1 para las cosechas de maíz o sorgo, donde aparece esta distinción en los documentos del OCRB, y 0 para las demás. Corremos una segunda regresión, donde se excluyen las variables estadísticamente insignificantes según la primera; ello, para verificar la estabilidad de los valores estimados para los parámetros. Los resultados de las regresiones se presentan en el cuadro 4. Para todas las regresiones, el poder explicativo del modelo medido por la R^2 (ajustada para tomar en cuenta el número de variables explicativas) es alto: más del 92% de la variación encontrada en la cantidad cosechada q es capturada por el modelo para todos los cultivos, con excepción del sorgo forrajero, donde la proporción, sin embargo, supera el 80%.

Utilizamos las estimaciones de la elasticidad definida en (4) (i.e. el parámetro α asociado con la variable $\ln w_{bru'}$) para elaborar un escenario de sequía que se presenta en el cuadro 5. Tomamos como referencia el último año de observación (2005-2006). La segunda

y tercera columnas del cuadro reportan para este año la suma de las cantidades cosechadas y de los volúmenes de riego correspondientes, por cultivo, en los doce distritos del OCRB. La cuarta columna reporta las elasticidades estimadas. Las siguientes dos columnas presentan los volúmenes de riego bajo un escenario de sequía (i.e. el 50% de los valores observados en el periodo de referencia), así como las pérdidas de producción calculadas según la fórmula (5). En la última columna aparecen los precios que usamos para valorar las pérdidas agrícolas y alimentar el modelo I-P de la economía del noreste como descrito en (8). Estos precios representan valores promedios para el periodo de observación.

Los resultados de la estimación de los impactos sectoriales de las pérdidas agrícolas en términos de producto, ingresos y empleo, según las fórmulas especificadas en (8), (9) y (10), respectivamente, se reportan en el cuadro 6. Las pérdidas agrícolas —valuadas en 1 049 millones de pesos— causan en total una reducción de \$2 294 millones en el producto de la región y \$311 millones en el ingreso, así como la pérdida de 5 050 empleos anualizados (un empleo anualizado equivale a una persona

Cuadro 4. Resultados de las regresiones.

		$\ln c$	$\ln w_{bru}$	$\ln \varepsilon$	Γ_i		Grano	R^2 (ajustado)
					Centro	Oeste		
Algodón	(1)	-2.07 (-4.64) ¹	1.11 (23.06)	-0.54 (-1.09)		-0.696 (-3.00)		0.9234
	(2)	-1.80 (-4.83)	1.12 (24.63)			-0.86 (-4.94)		0.9231
Maíz ²	(1)	1.44 (4.41)	0.937 (30.47)	1.12 (3.43)	-1.22 (-5.46)	-1.43 (-7.71)	-0.12 (-0.91)	0.9658
	(2)	1.37 (4.33)	0.937 (30.51)	1.15 (3.52)	-1.23 (-5.50)	-1.43 (-7.78)		0.9659
Sorgo ³	(1)	2.6408 (6.326)	0.924 (29.59)	2.03 (7.25)	-1.55 (-7.07)	-1.97 (-9.77)	-0.28 (-2.00)	0.9763
Sorgo forrajero	(1)	-0.49 (-0.74)	1.21 (12.62)	1.27 (2.30)		0.28 (1.32)		0.8062
	(2)	-0.41 (-0.62)	1.24 (13.15)	1.56 (3.06)				0.8032

Nota 1: estadística de *Student*. Nota 2: “maíz” y “maíz grano”. Nota 3: “sorgo” y “sorgo grano”.

La ecuación de regresión es $\ln q = \ln c + \alpha \cdot \ln w_{bru} + \beta \cdot \ln \varepsilon + \gamma_1 \cdot \text{CENTRO} + \gamma_2 \cdot \text{OESTE} + \gamma_3 \cdot \text{GRANO} + u$.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5. Escenario de sequía.

Cultivos	Valores observados Año de referencia 2005-2006			Valores simulados Escenario de sequía (-50% w_{bru})		
	q (toneladas)	w_{bru} (miles de m ³)	α (elasticidad)	Δw_{bru} (miles de m ³)	Δq (toneladas)	p (\$/tonelada)
Algodón	26 887.64	83 755.15	1.1226	-41 877.58	-15 092.03	5 676.00
Maíz	545 462.30	731 245.80	0.9368	-365 622.90	-255 494.54	1 759.00
Sorgo	709 848.10	762 686.80	0.9242	-381 343.40	-328 035.00	1 396.00
Sorgo forrajero	107 481.50	56 726.16	1.2100	-28 363.08	-65 026.31	860.00
Total		1 634 413.91		-817 206.96		

Fuente: elaboración propia.

empleada por un año percibiendo el ingreso promedio nacional). Nótese que en el caso del sector 12 (construcción), los impactos obtenidos son nulos; ello deriva de dos causas: la primera se debe a la naturaleza de la matriz de insumo producto nacional que utilizamos como base para nuestro modelo regional, en la cual el sector construcción no le vende (sólo le compra) al resto de los sectores de la economía (*i.e.* sus productos se consideran como inversión); la segunda causa se origina del escenario mismo con el cual alimentamos el modelo I-P, donde los impactos económicos surgen de un cambio en

el valor de la producción de un sector distinto al sector de la construcción (*i.e.* la agricultura).

Discusión

Por su magnitud absoluta, los impactos totales presentados en el cuadro 6 son relevantes. La pérdida total de 5 050 empleos en la región significa una afectación directa a un número igual de familias, es decir, 20 000 personas o más. Los resultados también resaltan la importancia de los impactos externos al sector agrícola: en términos de producto, casi la mitad

Cuadro 6. Impactos sectoriales de una reducción de 50% en la disponibilidad de agua para riego, noreste, 2006.

Sectores	Impactos (valores negativos)		
	Producto (miles de pesos)	Ingreso (miles de pesos)	Empleo (#)
1. Agropecuario, silvicultura y pesca	1 199 546.07	150 421.37	3 326.2
2. Minería	45 157.46	6 932.87	76.6
3. Alimentos, bebidas y tabaco	173 884.94	14 051.91	246.7
4. Textiles, vestido y cuero	68 044.44	10 350.89	200.9
5. Madera y sus productos	13 394.34	1 580.33	36.3
6. Papel, imprentas y editoriales	26 777.06	4 415.68	36.1
7. Químico, derivados del petróleo, caucho y plástico	173 691.23	24 299.53	265.7
8. Minerales no metálicos, excepto derivados del petróleo.	24 405.72	2 557.92	27.2
9. Industrias metálicas básicas	43 507.93	1 694.03	18.1
10. Productos metálicos, maquinaria y equipo	189 820.72	17 270.88	290.0
11. Otras industrias manufactureras	37 691.68	5 107.09	99.1
12. Construcción	0	0	0
13. Electricidad, gas y agua	41 254.90	7 383.10	39.7
14. Comercio, restaurantes y hoteles	45 375.58	8 687.07	107.1
15. Transporte, almacenaje y comunicación	49 619.62	9 841.02	35.5
16. Servicios financieros y seguros	71 311.89	5 246.08	15.8
17. Servicios comunales, sociales y personales	90 937.92	40 898.59	228.7
Total (17 sectores)	2 294 421.51	310 738.35	5 049.5

Fuente: elaboración propia.

(48%) del impacto total sucede fuera del sector 1, mientras que para los ingresos y el empleo, las cifras son de 52 y 34%, respectivamente. Estos impactos se distribuyen en todo el resto de la economía, pero tienden a concentrarse principalmente en unos cuantos sectores. Por ejemplo, en términos de producto, los sectores 10 (productos metálicos, maquinaria y equipos), 3 (alimentos, bebidas y tabaco) y 7 (químicos) suman casi la mitad (49.1%) del impacto observado fuera de la agricultura. Los mismos tres sectores son también los más castigados en términos de empleos, mientras que el sector 17 (servicios comunales, sociales y personales) presenta la mayor pérdida de ingresos.

Es importante recalcar que, por la naturaleza misma del fenómeno, no existe una respuesta única y definitiva a la pregunta: ¿Cuál es el impacto económico de una sequía? Los impactos totales y sectoriales

dependerán de la cuantía de la reducción en la disponibilidad de agua, así como de las condiciones económicas tanto estructurales como coyunturales, incluyendo los precios de los cultivos afectados, entre otras variables. En este trabajo, los impactos estimados están en forma de *pronósticos* obtenidos mediante una simulación numérica, en donde se contempla un escenario hipotético de sequía. Otra manera de abordar el mismo tema sería la estimación *ex post* de los impactos económicos de un evento histórico de sequía. Para ello, la metodología tendría que ser distinta a la presentada aquí. El principal reto en este caso consistiría en identificar el impacto específico de la sequía en el producto, los ingresos y el valor agregado de la economía, neto del efecto de los múltiples demás factores que afectan el desempeño económico, como demanda, inversión y política fiscal, entre muchos otros factores.

También cabe subrayar que las estimaciones de impactos presentadas son conservadoras por tres razones. Primero, contemplan únicamente los efectos directos de una sequía sobre la agricultura de riego y sus repercusiones sobre los demás sectores de la economía; no se incluyen los efectos directos que se ocasionarían en otras actividades (por ejemplo, la ganadería), ni las repercusiones que estos efectos tendrían. Segundo, las estimaciones tampoco toman en cuenta las consecuencias económicas de los impactos ambientales de una sequía, en términos, por ejemplo, de la productividad de los ecosistemas, la calidad del agua superficial y la erosión de los suelos, entre otros posibles impactos. Tercero, más allá de lo económico están las cuestiones sociales que aquí no se abordan; obviamente, pudieran ser muy relevantes, como en términos de la migración o del efecto disparejo de la sequía sobre distintos estratos sociales.

Más allá de las cifras particulares presentadas, la contribución de este trabajo consiste en establecer un procedimiento para pronosticar los impactos de una sequía. Este procedimiento es replicable y pudiera contribuir al diseño de políticas públicas para mitigar los estragos ocasionados por una sequía, como se detalla a continuación en la sección de conclusiones.

Conclusiones

En contraste con los repentinos y muy visibles daños causados por otros tipos de desastres naturales, tales como huracanes o inundaciones, las consecuencias de las sequías, siendo difusas en el tiempo y el territorio, son más sutiles. En este trabajo demostramos cómo, a pesar de ello, resulta factible cuantificar los daños económicos causados por una sequía y que éstos pueden llegar a ser amplios y significativos.

Las sequías forman parte natural del patrón climático y por lo tanto son inevitables. Sin embargo existen medidas para mitigar sus

consecuencias. En Foster *et al.* (2010) se presenta una serie de estudios de casos que ilustran cómo el manejo integrado de las fuentes superficiales y subterráneas de agua puede mejorar el suministro de agua tanto para el sector urbano como el agrícola y, por extensión, contribuir a mitigar los efectos de una sequía. Los autores se enfocan en la identificación de las condiciones institucionales que se requieren para lograr tal integración. A parte de la dimensión institucional existen tecnologías específicas —en particular la recarga inducida o artificial de los acuíferos (véase Bouwer 2002)— que se pueden emplear para la mitigación de los efectos de las sequías. Inducir la recarga de los acuíferos en tiempos de alta disponibilidad de aguas superficiales permite constituir reservas para su uso en tiempos de escasez. Donde la cercanía entre sistemas municipales de agua y fuentes subterráneas lo permita, la adecuada ubicación de los puntos de descarga de las aguas residuales tratadas en la superficie también contribuiría en este sentido. Asimismo, el desarrollo de nuevas fuentes de aguas subterráneas presenta otra vía para la constitución de reservas de agua.

El incremento de la eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego también puede contribuir a la mitigación de los impactos de una sequía. Por lo general, se considera que el beneficio de tal incremento consiste en la liberación de volúmenes para usos no agrícolas. No obstante, desde una perspectiva de manejo de sequía, adquiere un beneficio adicional: la posibilidad de mantener, ante una reducción en la disponibilidad de agua para riego, una mayor producción de cultivos con todo lo positivo que ello implica para el sector agrícola y el resto de la economía.

Las condiciones particulares en cada región determinarán la factibilidad técnica de la mitigación, pero en cada caso se tendrá que considerar, para evaluar su conveniencia económica, la relación entre su costo y los beneficios generados. Estos beneficios consisten en la reducción de los impactos

económicos; los ejercicios de simulación, como el presentado en este trabajo, adquieren para este fin una gran relevancia práctica.

Agradecimientos

Este trabajo es una extensión del estudio “Cuenca del Río Grande/Río Bravo: Socioeconomía, Productividad Agrícola e Impactos Económicos de la Asignación del Agua”, patrocinado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y llevado a cabo por la Cátedra de Investigación del ITESM *Economía de la Frontera Norte de México* y el Centro de Estudios Asiáticos de la UANL. Agradecemos el apoyo del IMTA y la colaboración del OCB en Monterrey, sin los cuales la realización de este trabajo no hubiera sido posible. Agradecemos también las aportaciones y sugerencias de dos árbitros anónimos.

Recibido: 05/02/10

Aprobado: 27/09/10

Referencias

- BOUWER, H. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*. Vol. 10, 2002, pp. 121-142.
- CONAGUA. *Superficies Regadas y Volúmenes de Agua Distribuidos en los Distritos de Riego*. Varias ediciones. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación, Gerencia de Distritos y Unidades de Riego, 1997-2006.
- CONAGUA. *Superficie, producción y valor de las cosechas de los distritos de riego*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación, Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Varias ediciones, 1997-2006.
- CONAGUA. *Informe de distribución de aguas*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación, Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Varias ediciones, 1997-2006.
- CIESA. *Matriz insumo producto de México*. Monterrey, México: Consultoría Internacional Especializada, 1993, 1996, 2000.
- ECONSEARH PTY LTD. *Economic Impact of the Low River Flows in South Australia*. Technical Report. Marryatville, South Australia: EconSearch, 2007.
- ESQUIVEL, E. Lluvia y sequía en el norte de México – Un análisis de la precipitación histórica en Chihuahua. *Gaceta Ecológica*. Núm. 65, 2002, pp. 24-42.
- FOSTER, S., VAN STEENBERGEN, F., ZULETA, J., and GARDUÑO, H. Conjunctive Use of Groundwater and Surface Water: from spontaneous coping strategy to adaptive resource management [en línea]. GW-MATE, WorldBank, GWP, February, 2010. Disponible en *WorldWide Web*: <http://siteresources.worldbank.org/INTWAT/Resources/SO2ConjunctiveGWSWUseJune2010.pdf>.
- GUAJARDO-QUIROGA, R. y GARCÍA-LÓPEZ, P. Análisis de las Interrelaciones Económicas del Agua en el Estado de Nuevo León. *Estudios Económicos*. Vol. 16, núm. 2, 2001, pp. 253-270.
- INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 2001-2006*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2007, 222 pp.
- MILLER, R.E. and BLAIR, P.D. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1985.
- ONU. *Manual sobre la compilación y el análisis de los cuadros de insumo producto*. New York: Organización de las Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, 1999.
- SISTO, N. Environmental flows for rivers and economic compensation for irrigators. *Journal of Environmental Management*. Vol. 90, No. 2, 2009, pp. 1236-1240.
- TILMAN, D., CASSMAN, K.G., MATSON, P.A., NAYLOR, R., and POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. Vol. 418, 2002, pp. 671-677.
- THORVALDENSON, J. and PRITCHETT, J. *Economic Impact Analysis of Reduced Irrigated Acreage in Four River Basins in Colorado*. Technical Report. Boulder, USA: Department of Agricultural and Resource Economics, Colorado State University, 2006.

Abstract

SISTO, N.P., GUAJARDO-QUIROGA, R. & AGUILAR BARAJAS, I. Estimating the economic impacts of drought. *Water Technology and Sciences, formerly Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish)*. Vol. II, No. 2, April-June, 2011, pp. 111-123.

This paper proposes an innovative approach for estimating the economic impacts of a drought. The methodology proposed combines empirical estimates of the physical productivity of irrigation water with an input-output analysis that traces the impacts of a reduction in agricultural activity on an economy's products, incomes and employment. We present a case study for the northeastern region of Mexico. The results suggest that a drought may exert a significant impact on several distinct sectors of the economy. Even though droughts are inevitable, their economic impacts can be managed. Estimating these impacts, therefore, contributes to the design of drought management plans; in particular, in terms of justifying expenses on mitigating measures.

Keywords: agriculture, irrigation, drought, economic impacts by sector, northeastern Mexico.

Dirección institucional de los autores

Dr. Nicholas P. Sisto

Departamento de Economía y Centro del Agua para
América Latina y el Caribe
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de
Monterrey
Avenida E. Garza Sada 2501 Sur
64849 Monterrey, Nuevo León, MÉXICO
sisto@itesm.mx

Dr. Ramón Guajardo-Quiroga

Centro de Estudios Asiáticos
Universidad Autónoma de Nuevo León
Biblioteca Universitaria "Raúl Rangel Frías" 3^{er} piso
Avenida Alfonso Reyes 4900 Norte
64440 Monterrey, Nuevo León, MÉXICO
rguajardoq@yahoo.com

Dr. Ismael Aguilar-Barajas

Departamento de Economía
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de
Monterrey
Avenida E. Garza Sada 2501 Sur
64849 Monterrey, Nuevo León, MÉXICO
iaguilar@itesm.mx