

La vulnerabilidad de la economía yucateca ante limitaciones en la disponibilidad de agua subterránea. Un enfoque de insumo producto

Lilian Albornoz*
Hilda Guerrero García Rojas**
Daniel Adrián***

Fecha de recepción: 29 X 2013

Fecha de aceptación: 18 VIII 2014

Resumen

El presente trabajo se realizó con un doble objetivo: determinar los sectores productivos que son vulnerables ante posibles limitaciones en la disponibilidad de agua subterránea; y a partir de esto, estimar un precio sombra que refleje la importancia del recurso en el sistema económico regional. Para lograr tal fin, con base en la matriz insumo producto (MIP) estatal 2003, se estiman multiplicadores de valor agregado y agua, se obtienen índices de valor agregado-agua y precios sombra del agua. Los resultados indican que el sector agricultura, ganadería, alimentos, productos eléctricos y de generación eléctrica son vulnerables; el comercio y los servicios son los menos vulnerables. En relación al precio sombra, se obtiene un valor de \$4.00 a \$14.96 pesos por m³ para uso general, y de \$28.00 a \$104.71 para uso industrial-comercial.

JEL: Q25, C61, C67.

Palabras Clave: agua subterránea, matriz insumo producto, precio sombra, multiplicador de valor agregado, multiplicador de agua.

* Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán México, Campus de Ciencias Sociales Dirección: Km. 1 carretera Mérida Tizimín, Mérida, Yucatán México. Correo electrónico: lilian.albornoz@uady.mx.

** Facultad de Economía Vasco de Quiroga, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Dirección: Edificio T2 Ciudad Universitaria Francisco J. Múgica s/n, Morelia Michoacán 50030 México. Correo electrónico: hildaguerrero@fevaq.net.

*** El Colegio de la Frontera Norte, Departamento de Estudios Económicos. Dirección: Km 18.5 carretera escénica Tijuana – Ensenada, San Antonio del Mar, Tijuana, Baja California, México, C.P. 22560. Correo electrónico: daniel.abrhan@yahoo.com.

Los autores agradecen los comentarios de dos dictaminadores anónimos que permitieron mejorar y enriquecer la versión final de este trabajo.

Abstract

This study was conducted with two objectives: determining the productive sectors that are vulnerable to possible limitations in the availability of groundwater and estimating a shadow price that reflects the importance of the resource in the regional economic system. In order to achieve these goals, we estimated value added-water indices and water shadow prices that are based on the regional input output table (RIOT) 2003. The results indicate that agriculture, livestock, food, electrical and power generation products are vulnerable, while trade and services are less not vulnerable. Regarding the shadow price yields a value of \$ 4 to \$ 14.96 pesos per m³ for general use and \$ 28 to \$ 104.71 for industrial and commercial use.

JEL Classification: Q25, C61, C67.

Keywords: groundwater, input output table, shadow price, value added multiplier, water multiplier.

Introducción

El agua subterránea es un recurso natural abundante en la península de Yucatán. La disponibilidad de agua renovable *per cápita* asciende a 7,151.30 m³ por año (CONAGUA, 2010b)¹; sin embargo, su contaminación está imponiendo limitaciones a su disponibilidad; esto es así ya que el manto freático es la única fuente de abastecimiento de agua de la región, y es la única destinataria de los residuos líquidos agrícolas, pecuarios, industriales y domésticos (Marín, Pacheco y Méndez, 2004; Marín, 2007); hay evidencia de altos grados de contaminación en zonas críticas cercanas a grandes concentraciones urbanas que potencialmente inhabilitarían la fuente de suministro (Metcalf *et al.*, 2011; Pacheco *et al.*, 2001; Meacham, 2007). Si los patrones de uso y vertidos de las aguas no se modifican, se corre riesgo de un colapso en los sistemas naturales y económicos vinculados a su conservación y provisión.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011b), el agua renovable² se debe analizar en tres dimensiones: distribución temporal, espacial y en el nivel local. La mayor parte de la precipitación en la península

¹ La disponibilidad media de agua en México es de 4,221.66 m³/habitante/año (CONAGUA 2010). De acuerdo con el Banco Mundial y las Naciones Unidas, una disponibilidad *per cápita* menor a 1000 m³ por año es un nivel de escasez grave (Guerrero, 2005a).

² Cantidad de agua que es renovada por la lluvia y por el agua de otras regiones (intercambios), que se infiltra en el subsuelo y que es susceptible de explotarse anualmente en una región.

de Yucatán ocurre en las estaciones de verano y otoño (junio-octubre); durante el año, la precipitación media es de 1,218mm; en el nivel nacional, el promedio asciende a 760mm; la relativa elevada precipitación pluvial, junto con la gran capacidad de infiltración del terreno y la reducida pendiente topográfica, favorece la renovación del agua subterránea. La tasa de recarga de los acuíferos subterráneos en la península de Yucatán es superior a su tasa de extracción, por lo que existe volumen disponible, superior a los 5,000 millones de m³ anuales, para otorgar en nuevas concesiones de extracción³ (DOF, 2009). Sin embargo, el enfoque de la administración del agua que instrumenta la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y que está en función de la oferta (otorgamiento de nuevas concesiones), conduce a desperdicios e ineficiencias en el consumo (Rivero y García, 2011), y soslaya el caudal necesario por los sistemas subacuáticos para mantener la estabilidad y la conservación de los ecosistemas vinculados a su existencia.

El desarrollo urbano y el crecimiento de las ciudades, así como de la población y de sus actividades económicas están demandando grandes volúmenes de agua para su uso y consumo, así también para la descarga de aguas residuales del uso agrícola, pecuario, doméstico e industrial. A nivel estatal (Yucatán) predomina el uso consuntivo agrícola excepto en el área metropolitana de la ciudad de Mérida cuyo uso predominante es el público urbano (CONAGUA, 2011a). Del volumen total concesionado para uso consuntivo en el año 2009, 76.65% corresponde al uso agrícola para el riego de cultivos; 19.71% para el uso público urbano que se distribuye a través de las redes de agua potable para abastecer a hogares, industrias y servicios conectados a la red; 2.90% a la industria autoabastecida que extrae agua directamente de pozos subterráneos y 0.73% a la generación de energía eléctrica (CONAGUA, 2011a)⁴.

Las descargas de aguas residuales concesionadas al año 2003 ascienden a 48 millones de m³ al año (CONAGUA, 2010a), sin embargo, este dato no incluye las aguas residuales en las fosas sépticas⁵ de las casas-habitación y

³ En la península, no hay acuíferos sobreexplotados, ni con intrusión marina, solo el acuífero de Xpujil está sujeto al fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres (CONAGUA, 2011b).

⁴ El uso agrícola comprende los rubros agrícola, pecuario, acuicultura, múltiples y otros de la clasificación REPDA; el uso abastecimiento público incluye los rubros público urbano y doméstico; el uso industria autoabastecida incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio; y uso energía eléctrica incluye el volumen concesionado para generación de energía eléctrica sin contar hidroelectricidad, ya que esta última hace un uso no consuntivo del agua.

⁵ En los últimos años, los nuevos desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Mérida invierten en infraestructura de drenaje; sin embargo, esto es reciente y marginal, pues predominan los pozos de absorción o fosas sépticas para el desecho de las aguas residuales en las casas-habitación y en los edificios públicos y privados.

edificios que potencialmente podrían alcanzar los cuerpos de agua subterráneos y contaminarlos de manera permanente. Las granjas porcícolas y avícolas, actividades en las que se especializa la economía estatal (Albornoz, Canto y Becerril, 2012), son dos de las actividades económicas que más contribuyen a la contaminación del agua subterránea, a través de vertidos residuales, aunque actualmente se está instrumentando un programa que ofrece apoyo financiero al sector, para la adquisición de infraestructura para el tratamiento de sus aguas residuales (Mendez y Castillo, 2009).

Aunque la capacidad de agua subterránea es excedentaria, si continúan las mismas prácticas de uso y consumo para el año 2030, podría haber problemas por sobreexplotación en los acuíferos de la región⁶. A nivel nacional, la eficiencia en el uso de agua para irrigación es del 46% (Rivero y García, 2011) y las pérdidas de agua en la red municipal de distribución de agua potable es del 30 al 50%. Además, se presume que la industria hace un uso poco productivo del agua (Guerrero, 2005a)⁷. Las ineficiencias en el uso productivo agrícola e industrial y en la distribución del agua para uso urbano no son las únicas fuentes de insostenibilidad del recurso. El precio vigente del agua es menor al costo de oportunidad del recurso hídrico y al no reflejar su verdadero valor genera ineficiencias en su asignación, debido a que no se aprovecha en su uso más valorado. El agua tiene un valor económico, social, ecológico que de no verse reflejado en el precio que se paga por su consumo, estaría induciendo al uso no sostenible.

La tarifa por consumo de agua que cobra el organismo encargado de su administración varía según el tipo de uso y la zona de disponibilidad. Las tarifas tienen una amplia variación, el agua para riego tiene un precio cero en todas las zonas de disponibilidad a nivel nacional y el uso industrial en la zona uno de mayor escasez presenta el valor más elevado de 20.5042 pesos por m³ (DOF, 2012).

El desarrollo sustentable de la región depende del uso eficiente del agua en la producción, pues es el recurso más valioso con el que se cuenta para garantizar la sostenibilidad de los sistemas productivos y naturales. De continuarse con las prácticas actuales, el agua podría convertirse en un factor

⁶ Declaración del director general de la CONAGUA, José Luis Luege Tamargo, publicado en <http://www.eluniversal.com.mx/notas/668366.html> consultado el día 5 de junio de 2012. Por otra parte, el cambio climático mundial alteraría los patrones de precipitación pluvial con un comportamiento incierto para la región (Orellana *et al.*, 2009), lo que eventualmente pondría en riesgo la capacidad de recarga natural de los depósitos subterráneos y la provisión de agua para satisfacer los requerimientos de la población y de sus actividades.

⁷ Las ineficiencias reportadas líneas arriba son representativas de la situación en el nivel nacional y, por lo tanto, Yucatán no es la excepción.

que limite el crecimiento económico y poblacional previsto para los próximos años. El potencial de crecimiento actual y futuro depende de los cambios en la disponibilidad de agua en los acuíferos, y una política que tenga como objetivo su conservación y preservación, debería considerar los efectos de esos cambios.

El presente trabajo tiene como objetivo establecer qué tan vulnerable es la economía yucateca a la limitación en la disponibilidad de agua subterránea, y obtener un ranking de los sectores productivos con base en un índice del valor agregado de la producción por unidad de agua (m^3). Lo anterior permitirá aportar elementos para el diseño de políticas en relación a la administración eficiente del agua subterránea y proveerá las bases para tomar decisiones que procuren reducir la vulnerabilidad regional por medio de la reestructuración de la producción sectorial. Las medidas de adaptación local a los cambios en la disponibilidad de agua son relevantes, ante el eventual embate de los efectos del cambio climático que amenaza a la región. En este sentido, es importante la creación de incentivos para estimular la demanda final en aquellos sectores que cumplan con dos requisitos: tener el mayor potencial para crear riqueza y ser menos dependientes de las concesiones de extracción de agua subterránea. En este trabajo, estos sectores se identifican a partir de la estimación de los multiplicadores de valor agregado y de agua subterránea⁸, estimados con base en la matriz de insumo producto de la economía yucateca del año 2003 (Albornoz *et al.*, 2012) y en información de la CONAGUA. Se cuantifican los volúmenes concesionados de agua subterránea al nivel de 45 subsectores de la economía local. Se comparan los multiplicadores monetarios de valor agregado y los multiplicadores de requerimientos de agua en unidades físicas, para obtener un indicador del valor agregado de la producción por unidad de agua (en m^3). También, se estima el precio sombra del agua por m^3 , con base en el modelo propuesto por Liu y Chen (2008). Otros estudios, realizados en el nivel nacional (Guerrero, 2005a; Yúnez y Rojas, 2008), hacen uso de la información de consumos efectivos de agua, sin embargo, este estudio tomó como base los volúmenes concesionados y no los aprovechados, porque no se dispone de información confiable y veraz de los consumos efectivos del universo de las unidades productivas locales y porque los resultados pretenden apoyar la toma de decisiones en relación a una administración eficiente del agua con base en los volúmenes concesionados, que es el enfoque actual de la política sectorial que se instrumenta en nuestro país.

⁸ Los multiplicadores de valor agregado y de agua permitieron estimar un índice de valor agregado-agua de los sectores económicos con base en la información de la matriz de insumo producto. Aunque existen otros índices (FAO, 2003) para estimar la productividad en términos de agua (productividad física, por ejemplo unidades físicas por m^3 de agua), los que aquí se estiman aprovechan la riqueza de información generada por el modelo de Leontief y son inherentes al mismo modelo.

Aunque el agua en la región peninsular, y en México, es considerado el recurso natural más valioso a preservar, existen muy pocos estudios que aborden la problemática y sus implicaciones en la economía de una región (Guerrero, 2005a; Guerrero, 2005b); menos aún son los estudios que integran los usos del agua en el marco de una matriz de insumo producto, tanto en el nivel internacional (Velázquez, 2006; Dietzenbacher y Velázquez, 2007; Liu y Chen, 2008; Llop, 2006; Duarte, Sánchez y Bielsa, 2002; Smajgl y Liagre, 2010), como nacional (Yúnez y Rojas, 2008)⁹ y estatal (Guajardo y García, 2001). La literatura que documenta la vinculación de la economía y los sistemas naturales, destaca el hecho de que los análisis de la estructura del sector de agua deberán ser abordados desde un nivel subnacional debido, en parte, a que las regiones difieren en relación a la abundancia y disponibilidad de agua.

El resto del documento se organiza de la siguiente forma: en la sección uno se presenta el modelo de insumo producto híbrido con unidades físicas de agua, el modelo de programación lineal propuesto para estimar el precio sombra del agua subterránea por m³ y las fuentes de información que sirvieron de base para las estimaciones. La sección dos presenta los resultados obtenidos de cada modelo; por último, se concluye y se presenta un breve resumen de los resultados obtenidos.

1. Modelos del agua y fuentes de información

1.1. Modelo de insumo producto ambiental para la estimación de multiplicadores y modelo de programación lineal para estimar el precio sombra del agua

En el modelo de insumo producto ambiental, siguiendo a Miller y Blair (2009) y Velázquez (2006), los datos del recurso ambiental en unidades físicas se agregan como una fila a la matriz de transacciones intersectoriales, esta última medida en unidades monetarias.

El volumen de agua, asociado a un vector dado de producción bruta, se puede expresar de la siguiente manera:

$$w = \alpha_w x \quad (1)$$

⁹ Yúnez y Rojas (2008) estiman un modelo de equilibrio general, con base en una matriz de contabilidad social de las regiones rurales de México, elaborado por Alborno (2006).

Donde a_w es el vector de volumen directo de agua concesionado por unidad monetaria producida, un elemento del vector está dado por $a_{wj} = W_j/x_j$ ($j = 1, \dots, n$) el cual representa el cociente del volumen total de agua por sector de actividad W_j y el valor de la producción del sector x_j ; x es el vector del valor de la producción bruta total y w es el vector de los volúmenes concesionados de agua; el modelo de insumo producto en función de la demanda final $x = (I - A)^{-1}y$ puede sustituirse en (1) para expresar w en función de la demanda final, es decir, los volúmenes directo e indirecto de agua para sostener la demanda final (Miller y Blair, 2009):

$$w = a_w(I - A)^{-1}y \tag{2}$$

Donde A es la matriz de coeficientes directos de insumo producto; en tanto que, un elemento de la matriz está dado por $a_{ij} = x_{ij}/x_j$, el numerador x_{ij} representa el valor de las compras que j realiza al sector i , en la matriz de transacciones; mientras que el denominador x_j es el valor de las compras totales que el sector j realiza a todos los sectores de la economía, y es el vector de demanda final (consumo privado, consumo de gobierno, formación bruta de capital, variación de existencias y exportaciones), y el vector dado por $a_w(I - A)^{-1} = L$ constituye los denominados multiplicadores del agua tipo I, donde un elemento l_j representa el volumen directo e indirecto de agua en todos los sectores de la economía proveedores de insumos al sector j (que incluye volumen de agua del sector j para satisfacer el incremento en la demanda de su producción), debido a un incremento unitario monetario en los gastos de demanda final de j . Se supone que el volumen de agua varía linealmente con el nivel de producción en la economía de la región.

Los multiplicadores del agua pueden modificarse al emplear el modelo de insumo producto cerrado en relación a los hogares. Estos multiplicadores denominados tipo II consideran los efectos inducidos de los pagos al factor trabajo y el gasto en consumo en la estructura de las interrelaciones productivas (Smajgl y Liagre, 2010; Miller y Blair, 2009). Los multiplicadores tipo II se calculan agregando la fila de sueldos y salarios y la columna de consumo privado a la matriz de demanda intermedia y recalculando los multiplicadores de Leontief.

$$T = \begin{bmatrix} Z & y_{i1} \\ v_{1j} & 0 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$H = T\hat{x}^{-1} \quad (4)$$

$$g = a_w(I - H)^{-1}y^{scp} \quad (5)$$

Donde Z es la matriz de demanda intermedia, y_{i1} es el vector de consumo privado, v_{1j} es el vector de sueldos y salarios, T es la matriz de transacciones intermedias cerrado a los hogares; \hat{x}^{-1} es la inversa de la matriz diagonal de producciones brutas, H es la matriz ampliada de coeficientes técnicos de insumo producto, $d = a_w(I - H)^{-1}$ es la matriz de multiplicadores tipo II del agua y y^{scp} es el vector de demanda final, sin la columna de consumo privado de los hogares. Los multiplicadores de agua tipo II pueden interpretarse como la cantidad adicional de agua, para satisfacer el incremento unitario monetario en la demanda final del sector j . Como señalan Smajgl y Liagre (2010), mientras menor sea el valor de los multiplicadores, mayor es el potencial de crecimiento de la economía de una región bajo condiciones de limitación en la disponibilidad de agua, considerando un marco temporal de corto plazo.

Los multiplicadores de valor agregado tipo II están dados por: $m = a_v(I - H)^{-1}$, donde a_v es el vector de valor agregado total por valor unitario de la producción, un elemento está dado por $a_v = V_j/x_j$, es el cociente del valor agregado y valor de la producción del sector j .

Los multiplicadores tipo II del valor agregado y agua se normalizan para fines comparativos¹⁰, para ello, se obtuvieron índices de los respectivos multiplicadores de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$m_j^n = \frac{m_j}{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^n m_j} \quad (6)$$

¹⁰ Los índices de valor agregado tipo II se normalizaron para hacer comparaciones intersectoriales y como instrumento para jerarquizar a los sectores en dos grupos: sectores con multiplicadores mayores al promedio y aquellos menores al promedio; el mismo procedimiento se realizó para el índice del multiplicador de agua tipo II (ver cuadro 1). Dado que el objetivo fue estimar índices de valor agregado tipo II-agua tipo II, esto es, índices de productividad económica del agua para evaluar la riqueza sectorial generada por m^3 de agua, en la literatura sobre el tema de productividad económica (FAO, 2003; Velázquez, 2006; Dietzenbacher y Velázquez, 2007), estos índices son suficientes para caracterizar de manera sencilla la dependencia de la economía en un recurso, por lo que no fue necesario, para los fines de este estudio, estimar índices ponderados por algún factor.

$$d_j^n = d_j / \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j \right) \tag{7}$$

Donde el superíndice n significa normalizado. Con base en los valores de los multiplicadores, los sectores fueron agrupados en cuatro grupos, como sigue:

Cuadro 1
Clasificación con base en los multiplicadores tipo II de valor agregado y agua

multiplicadores		agua	
		alto	Bajo
Valor agregado	Alto	$m_j^n > 1$ $d_j^n > 1$	$m_j^n > 1$ $d_j^n < 1$
	Bajo	$m_j^n < 1$ $d_j^n > 1$	$m_j^n < 1$ $d_j^n < 1$

Nota: véase anexo 1.

Fuente: elaboración propia

a partir de los índices (6) y (7), se estima un índice de valor agregado tipo II-agua tipo II por sector j , según la siguiente fórmula:

$$I_j^n = m_j^n / d_j^n \tag{8}$$

Mientras mayor sea el valor del índice, mayor es el potencial de generación de riqueza del sector j por unidad de agua y menos vulnerable el crecimiento económico del sector j ante limitaciones en la disponibilidad del agua. Mientras menor sea el valor del índice, menor es la riqueza generada por unidad de agua y más vulnerable es el crecimiento del sector j ante posibles limitaciones en la disponibilidad del agua. El valor del índice I_j^n puede interpretarse como la proporción del valor agregado sectorial, en relación a la proporción de volumen concesionado de agua sectorial.

Por otra parte, en el modelo de programación lineal para estimar el precio sombra del agua, la función objetivo es la maximización del valor agregado de la economía local expresada en la siguiente función matemática, sujeta a las restricciones que siguen (Liu y Chen, 2008):

$$\max(\sum_{j=1}^n a_{vj}x_j) \quad (9)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + y_i + u_i - v_i = x_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{wj}x_j \leq w \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n u_j - \sum_{j=1}^n v_j \geq c \quad (12)$$

Donde x_j es el valor de la producción bruta del sector j ; a_{vj} es el coeficiente de valor agregado del sector j ; a_{ij} es un elemento de la matriz de coeficientes directos de insumo producto; y_j es el valor de la demanda final sin exportaciones del sector j ; u_j son las exportaciones del sector j ; v_j son las importaciones del sector j ; a_{wj} es el coeficiente de volúmenes concesionados de agua del sector j ; w es el límite superior de la disponibilidad de agua en m^3 en la región; c es el límite inferior de las exportaciones netas. Las variables de decisión son x_j, y_j, u_j, v_j ($j = 1, \dots, n$). Las restricciones corresponden a las ecuaciones de insumo producto por sector (10), la cantidad total de agua que puede ser usada en un periodo (11), el límite inferior para las exportaciones netas (12) y los límites inferiores (superíndice l) y superiores (superíndice h) que a continuación se indican:

$$\begin{aligned} x_j &\geq x_j^l \\ x_j &\leq x_j^h \\ u_j &\leq u_j^h \\ v_j &\leq v_j^h \\ y_j &\geq y_j^l \end{aligned}$$

El problema de programación lineal se resolvió con el programa de computación LINDO® versión 6.1.

1.2. Fuentes de información

La información del agua se obtuvo de la base de datos del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), sistema de información administrada por la

CONAGUA. Los datos disponibles son el volumen de extracción de agua subterránea¹¹ en m³, esto es, volúmenes concesionados¹² (o asignados) para 2003, por titular de concesión (o asignación) clasificada según tipo de uso: agrícola, doméstico, acuacultura, servicios, industrial (que incluye manufactura y generación de electricidad excepto hidroeléctricas), pecuario, público urbano y usos múltiples (cuadro 2).

Cuadro 2
Número de títulos y volúmenes de aguas nacionales por uso en Yucatán, 2003

Clasificación (uso)	Concesión de aprovechamiento		Permiso de descarga		Aprovechamiento productivo	
	Títulos (# s)	Volumen (m ³ /año)	Título s (# s)	Volumen (m ³ /año)	Títulos (# s)	Volumen (m ³ /año)
Agrícola	5,060	297,349,852.13	0	0.00	5,061	297,691,727.13
Doméstico	61	23,249.75	0	0.00	0	0.00
Acuacultura	7	992,491.00	4	27,130,622.60	7	992,491.00
Servicios	313	5,042,704.06	795	2,375,896.04	314	5,066,361.06
Industrial	205	31,033,744.07	271	13,640,635.90	204	31,026,723.17
Pecuario	1,140	10,481,243.15	139	3,648,985.14	1,142	10,787,131.45
Público urbano	663	241,597,197.52	3	0.00	0	0.00
Múltiple	4,048	252,937,248.09	119	1,421,381.51	4,046	252,250,524.69
Total	11,497	839,457,729.77	1,331	48,217,521.19	10,774	597,814,958.50

Nota: la suma de los títulos de concesión y de permisos es diferente al total debido a que cada título registrado puede contener varios aprovechamientos y/o descargas. Los usuarios de las actividades agrícolas, pecuarias, domésticas e hidroeléctricas no requieren el título de descarga de aguas residuales, siempre que en la solicitud se asuma la obligación de sujetarse a las normas o condiciones correspondientes.

Fuente: Adrián, 2012; CONAGUA, 2010a. *Registro Público de Derechos de Agua*, México.

En este trabajo, se toma el volumen de agua concesionado según aprovechamiento productivo, para estimar los índices de vulnerabilidad ante cambios en la disponibilidad de agua. Esta condición aunque muy restrictiva, permite estimar un escenario posible en el cual las unidades productivas explotan la totalidad del recurso concesionado y que representa una situación límite que no debe descartarse, sobre todo cuando hay carencia de

¹¹ En este trabajo se toma el volumen de extracción de agua subterránea concesionado para aprovechamiento productivo, para estimar los índices de vulnerabilidad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el volumen concesionado puede no coincidir con el verdadero volumen aprovechado (Dinar, Guerrero, Yúnez y Medellín, 2008; Rivero y García, 2011), así como, que el uso registrado puede no coincidir con el verdadero uso del agua.

¹² La CONAGUA realiza una concesión de aprovechamiento para los usos distintos al público urbano y doméstico; los volúmenes que se destinan a estos dos usos suele denominarse volúmenes asignados, a diferencia de los volúmenes concesionados para los demás usos.

información confiable y veraz sobre los consumos efectivos del agua del universo de las unidades productivas locales. Además, las concesiones representan parámetros que no deben soslayarse, sobre todo porque para la CONAGUA son la base para determinar futuras concesiones y para la administración del recurso. Así mismo, los resultados de este estudio pretenden apoyar la toma de decisiones fundamentadas para la óptima administración del recurso llevado a cabo por la autoridad competente.

La clasificación del agua por usos en el REPGA es distinta a la clasificación del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), la cual sirve como base para la estructuración de las cuentas que se presentan en la matriz de insumo producto (MIP) nacional (INEGI, 2007) y regional (Albornoz *et al.*, 2012).

El presente estudio solo tomará en cuenta el volumen de agua subterránea autoabastecida y concesionada para aprovechamiento productivo; del total del subsuelo de Yucatán al año 2003, el 28.79% es para uso público urbano¹³ y doméstico, mientras que el 71.21% es destinado al autoabastecimiento para el consumo de alguna actividad productiva (suponiendo que la categoría de uso múltiple se destina a alguna actividad productiva); el número de concesiones de aprovechamiento de agua subterránea destinada a alguna actividad productiva asciende a 10774 títulos registrados al año 2003.

La reclasificación de los usos del REPGA a su respectivo código SCIAN 2002 (INEGI, 2002) se basó en la denominación de la persona física/moral, titular de la concesión. Se reclasificaron los siguientes usos: industrial, servicios y múltiple en el nivel de subsector/sector de actividad del SCIAN 2002, que abarcan 4564 títulos registrados. Se recurrió al directorio en línea del Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) de la Secretaría de Economía y al Directorio Estadístico de Unidades Económicas (INEGI, 2010) del INEGI, también en línea, para poder determinar el giro principal de actividad de los concesionarios de títulos.

Se toman los volúmenes de extracción bruta de agua subterránea concesionados hasta el año 2003 en la integración del vector de coeficientes de agua; los volúmenes netos de las descargas no se consideraron, debido a que los volúmenes aprovechados y descargados son volúmenes con calidades diferentes e incomparables (Okadera, Watanabe y Xu, 2006; Duarte *et al.*, 2002; CONAGUA, 2011b). Las aguas descargadas están sujetas a un proceso de degradación cualitativa y pérdida cuantitativa, generada durante el

¹³ El uso público urbano del REPGA comprende la red pública municipal, la cual distribuye volúmenes de agua potable (sin descartar su utilización en las actividades productivas); dado lo anterior, el agua potable ya es considerado un volumen de agua diferente, por lo que para fines de este estudio no se tomará en cuenta su consumo.

proceso productivo o por la modificación de su composición química, física o biológica natural.

Dada la extrema confidencialidad del padrón de productores del sector primario del estado de Yucatán a cargo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) fue imposible reclasificar el uso agrícola y pecuario a un nivel de mayor desagregación al subsector del SCIAN. En el cuadro 3, se presenta la clasificación de usos de acuerdo al SCIAN 2002, se sustituyó el nombre de la actividad correspondiente a cada código por los nombres de los sectores representativos de la economía estatal, sin modificar la estructura de agregación original de las actividades productivas, según el SCIAN 2002.

Las concesiones de agua reclasificados se integran a la matriz de insumo producto de la economía yucateca del año 2003 (Albornoz *et al.*, 2012), la cual sirve de base en la estimación de los multiplicadores de Leontief.

La MIP nacional (INEGI, 2007) fue regionalizada con base en la estimación de coeficientes de localización de Flegg y Webber (FLQ), para cada sector vendedor (i) y comprador (j) de insumos intermedios, para ajustar los coeficientes técnicos nacionales a los flujos de comercio intersectorial en e nivel local (Flegg, Webber y Elliot 1995; Flegg y Webber 1997, Flegg y Webber, 2000). La regionalización de la matriz nacional obtenida de esta forma, permitió contar con un instrumento de planeación para el diseño y evaluación de políticas de desarrollo regional (Tohmo, 2004; Flegg y Tohmo, 2011; Bonfiglio y Chelli, 2008).

Cuadro 3
**Clasificación de las actividades productivas de Yucatán según código
 SCIAN 2002**

Código	Actividad	Código	Actividad	Código	Actividad
111	Agricultura	315	Vestido	339	Equipo Médico, Joyería y Otros
112	Ganadería	316	Calzado y Cuero	436	Comercio
113	Silvicultura	321	Madera	48	Transportes Correos y Almacenamiento
114	Pesca	322	Papel y Cartón	49	Almacenamiento
		323	Impresión	51	Telecomunicaciones e Información
212	Minería Caliza, Arcilla y Sal	324	Derivados de Petróleo y Carbón	52	Financieros, Seguros y Fianzas
221	Termoeléctrica	325	Química	53	Alquiler Mobiliario e Inmobiliario Profesionales, Científicos y Técnicos
222	Agua	326	Plástico y Hule	54	Técnicos
236	Edificación	327	Cal, Cemento y Vidrio	556	Dirección y Apoyo a Negocios
237	Obra Pesada	331	Metales	61	Educación
		332	Herrería, Forja y Artículos Metálicas	62	Salud y Asistencia Social
238	Instalaciones, Preparados y Acabados	333	Refrigeración y Maquinaria	71	Culturales, Deportivos y Recreativos
311	Alimentos	334	Computo, Comunicación y Electrónicos	72	Hotelería, Restaurantes y Bares
312	Bebidas	335	Productos Eléctricos y de Generación Eléctrica		Reparación y Mantenimiento; Personales, Sociales y Domésticos
313	Hilos y Telas	336	Autopartes y Carrocerías	81	Actividades Gubernamentales
314	Textiles	337	Muebles	93	Gubernamentales

Fuente: Adrián (2012), Albornoz *et al.* (2012) e INEGI (2007).

2. Resultados

Se estiman los sectores con mayor potencial de crecimiento (valor agregado) ante un escenario de limitación en la disponibilidad de agua subterránea, con base en el cociente del índice del multiplicador de valor agregado tipo II y de agua subterránea tipo II por subsector de actividad con el fin de cuantificar el potencial de crecimiento sectorial por unidad de agua concesionada. Dado que los coeficientes de insumo producto son estáticos¹⁴ (fijos), es muy forzado su empleo para extraer conclusiones en relación al futuro crecimiento de la actividad productiva y el uso del agua, sin embargo, es plausible suponer que en el corto plazo en un periodo no mayor a cinco años la tecnología de producción y de uso del agua en la región no cambian, por lo tanto, el modelo permitiría extraer conclusiones consistentes sobre la próxima evolución de la economía regional ante el escenario propuesto en un periodo de cinco años.

Con el fin de mostrar ya sea que un alto volumen concesionado de agua o un bajo valor agregado producen bajos índices de productividad económica del agua, en el cuadro 4 se presenta el ranking de sectores ordenados de menor a mayor índice valor agregado tipo II-agua tipo II. En especial, se presentan los diez primeros sectores con los índices más bajos (y por lo tanto, más vulnerables) y los diez últimos sectores con los índices más altos (y por lo tanto menos vulnerables)¹⁵. En el cuadro 4, se demuestra que los cuatro primeros sectores más vulnerables están determinados por el elevado índice del multiplicador de agua (por su elevado y poco productivo uso de agua por unidad producida) e independientemente del valor del índice de valor agregado. La interpretación del índice del sector agrícola indica que la proporción del valor agregado del sector agrícola, en relación a la proporción del volumen concesionado de agua en el mismo sector, es de 0.04.

¹⁴ Los coeficientes estáticos (fijos) son una característica del modelo de Leontief, dado que la tecnología de producción sectorial está representada por una función de proporciones fijas y de rendimientos constantes a escala (Miller y Blair, 2009).

¹⁵ Un valor bajo del índice valor agregado tipo II-agua tipo II indica una menor productividad del agua, en términos de la riqueza generada por m³ de agua concesionada. Un índice alto indica una mayor productividad del agua, esto es, mayor riqueza generada por m³ de agua aprovechada. Por lo tanto, a menor productividad del agua, mayor vulnerabilidad del sector a la escasez del mismo; a mayor productividad del agua, menor vulnerabilidad del sector a la escasez del recurso vital.

Cuadro 4

Ranking de sectores según índice de valor agregado tipo II-agua tipo II

Ran- king	Clave SCIAN Sectores	índice de multiplicad or valor agregado	índice de multiplicad or de agua	índice de valor agregad o tipo II-agua tipo II
1	111. Agricultura	1.20	31.02	0.04
2	335. Eléctricos y Generación Eléctrica	0.61	1.36	0.45
3	112. Ganadería	0.56	0.99	0.57
4	311. Alimentos	0.80	1.08	0.75
5	221. Termoelectrónica	0.73	0.71	1.03
6	313. Hilos y Telas	0.78	0.67	1.17
7	312. Bebidas	0.79	0.53	1.48
8	315. Vestido	0.66	0.27	2.42
9	93. Actividades Gubernamentales	1.85	0.71	2.59
10	61. Educación	1.98	0.63	3.12
...
36	212. Minería Caliza, Arcilla y Sal	1.17	0.21	5.55
37	52. Financieros, Seguros y Fianzas	1.20	0.21	5.82
38	321. Madera	0.98	0.16	6.13
39	54. Profesionales, Científicos y Técnicos	1.23	0.20	6.26
40	51. Telecomunicaciones e Información	1.09	0.17	6.60
41	114. Pesca	0.97	0.15	6.62
42	334. Cómputo, Comunicación y Electrónica.	0.32	0.05	6.91
43	436. Comercio	1.23	0.18	7.03
44	113. Silvicultura	1.38	0.14	9.94
45	53. Alquiler Mobiliario e Inmobiliario	1.23	0.02	51.33

Nota: los valores de los índices se redondearon, por lo cual, el cociente del índice de multiplicador valor agregado y agua puede no coincidir con el índice de vulnerabilidad.

Fuente: elaboración propia con información.

Los sectores más vulnerables a la limitación en la disponibilidad de agua, es decir, aquellos sectores cuya aportación al crecimiento regional es mínima y cuya concesión de agua por unidad de producto es elevado, medido por el índice de valor agregado tipo II-agua tipo II dado por el cociente de los índices de multiplicadores de valor agregado y de agua subterránea, son aquellos con los índices de concesión de agua más altos. Las actividades tradicionales del sector primario: agricultura y ganadería; manufactureros: alimentos, hilos y telas, bebidas, vestido, productos eléctricos y generación eléctrica; así como la generación de electricidad; además del sector educación y actividades gubernamentales; presentan los menores niveles de productividad del agua; un incremento en la productividad del agua liberaría excedentes de agua que podrían ser reasignados, por la autoridad competente, a actividades alternativas o al incremento en los depósitos no explotados, favoreciendo con ello la conservación y restauración de los equilibrios ecológicos del recurso hídrico.

En el cuadro 5 se puede observar que un poco más de la cuarta parte de la economía estatal (26.83%) y la tercera parte de los empleos (30.36%) estarían en riesgo. En particular, el sector agropecuario, la manufactura ligera, generación de energía eléctrica y las actividades de educación y gubernamentales pueden verse seriamente afectados. Con base en el análisis presentado previamente, se identifica la necesidad de instrumentar políticas de gestión enfocadas no a la oferta del agua (centradas en las concesiones) sino a la administración de la demanda, por medio de mecanismos de asignación de precios que reflejen el verdadero valor social del recurso hídrico y que induzcan al uso eficiente del recurso en los sectores mencionados, para reducir la vulnerabilidad a la que estarían sujetos ante un escenario posible de escasez de agua. Además, las acciones de la autoridad que administra las aguas nacionales deberían enfocarse en llevar un control más efectivo en las concesiones y en los consumos de agua a través de su medición volumétrica en los pozos de extracción y, así, determinar políticas que sancionen los desperdicios o la ineficiencia de su uso en los sectores mencionados, pues se presume que en los sectores con alto riesgo se presenta esta situación.

Cuadro 5
**Sectores más vulnerables a cambios en la disponibilidad de agua
 subterránea en Yucatán (Top ten)**

SCIAN	Sectores menos vulnerables	Índice de valor agregado tipo II-agua tipo II	PIB*	% PIB	Trabajadores	% trabajo
111	Agricultura	0.04	1,999.74	2.07	18,860.83	4.76
335	Eléctricos y Generación Eléctrica	0.45	94.07	0.10	163.00	0.04
112	Ganadería	0.57	1,599.98	1.66	10,380.08	2.62
311	Alimentos	0.75	7,068.87	7.33	18,082.00	4.57
221	Termoeléctrica	1.03	1,577.78	1.64	2,498.00	0.63
313	Hilos y Telas	1.17	427.84	0.44	3,381.00	0.85
312	Bebidas	1.48	1,646.02	1.71	3,298.00	0.83
315	Vestido	2.42	1,165.09	1.21	28,163.00	7.11
93	Actividades Gubernamentales	2.59	4,490.71	4.66	24,600.65	6.21
61	Educación	3.12	5,803.85	6.02	10,808.00	2.73
		(promedio)				
Total		1.36	25,873.96	26.83	120,234.57	30.36

Nota: *millones de pesos.

Fuente: elaboración con base en estimaciones de los autores.

En el cuadro 6, se presentan los sectores menos dependientes de los volúmenes concesionados de agua y por lo tanto menos vulnerables a los cambios en su disponibilidad; destaca el sector comercio por su elevada participación en el PIB y el empleo; otros sectores son la pesca; servicios profesionales, científicos y técnicos; alquiler mobiliario e inmobiliario (es el sector menos vulnerable de toda la economía); silvicultura; cómputo; comunicación y electrónicos; telecomunicaciones e información; madera; servicios financieros, seguros y fianzas, y minería caliza. La gran mayoría de los sectores pertenecen al sector servicios, excepto silvicultura y pesca que pertenecen al sector primario. Las actividades mencionadas representan el 39.72% del Producto Interno Bruto Estatal (PIBE) y 32.28% de los empleos formales.

Cuadro 6
Sectores menos vulnerables a cambios en la disponibilidad de agua subterránea en Yucatán (top ten)

SCIAN	Sectores menos vulnerables	Índice de valor agregado tipo II-agua tipo II	PIB*	% PIB	Trabajadores	% trabajo
53	Alquiler mobiliario e inmobiliario	51.33	12991.00	13.47	3938.00	0.99
113	Silvicultura	9.94	250.65	0.26	452.09	0.11
436	Comercio	7.03	16631.59	17.24	97276.00	24.56
334	Cómputo, comunicación y electrónicos	6.91	119.15	0.12	487.00	0.12
114	Pesca	6.62	381.02	0.40	10055.00	2.54
51	Telecomunicaciones e Información	6.60	3166.04	3.28	3512.00	0.89
54	Profesionales, científicos y técnicos	6.26	2422.16	2.51	7361.00	1.86
321	Madera	6.13	299.43	0.31	1197.00	0.30
52	Financieros, seguros y fianzas	5.82	1430.54	1.48	2182.00	0.55
212	Minería caliza, arcilla y sal	5.55	649.06	0.67	1368.00	0.35
		(promedio)				
	Total	11.22	38340.62	39.75	127828.09	32.28

Nota: *millones de pesos.

Fuente: elaboración con base en estimaciones de los autores.

Las acciones que se realicen en el presente para preservar el recurso, podrán evitar conflictos sociales futuros entre los sectores en riesgo ligados a las actividades menos productivas y dependientes de elevados volúmenes concesionados (agricultores, ganaderos, obreros de la industria de alimentos, bebidas, textil y vestido, así como burócratas y servicios educativos); también se estaría previniendo entre aquellos y los sectores estables ligados a actividades más rentables y menos dependientes del agua (profesionistas, ejecutivos, agentes de servicios, comerciantes, entre otros). La desigualdad social y económica se exacerbaría entre quienes disponen del recurso para producir y satisfacer sus necesidades y quienes no disponen de agua para cubrir sus requerimientos productivos y de empleo.

La identificación de los sectores más vulnerables ante limitaciones en la disponibilidad de agua se basó en los volúmenes concesionados. No obstante, se pueden sacar conclusiones aproximadas a la realidad que sirvan como un primer acercamiento a la problemática de gestión del agua; por otra parte, la estimación basada en los consumos efectivos de agua arrojaría resultados más fidedignos. Dado lo anterior, los resultados del presente estudio deben tomarse como una primera caracterización de los efectos de la limitación en el volumen disponible de agua, y no pretenden ser resultados definitivos de una realidad que es muy compleja y difícil de ser cuantificada; además, se plantea un escenario posible del uso máximo permitido (concesionado), que no debe descartarse.

Por otra parte, en el cuadro 7 se presentan las tarifas por extracción de agua por m^3 para los diferentes usos y por zona de disponibilidad de los años 2003 y 2012, según la Ley Federal de Derechos (DOF, 2003 y 2012); así mismo, se reporta el precio sombra del agua estimado para el año 2003. Con base en la citada Ley, en la ciudad de Mérida, la mayor concentración urbana y poblacional pertenece a la zona de disponibilidad seis; los municipios costeros de Progreso, Río Lagartos, San Felipe, Sinanché, Telchac Pueblo, Telchac Puerto, Dzan, Dzemul y Dzilam de Bravo, además del municipio de Muna forman parte de la zona siete clasificada como zona de equilibrio; los restantes municipios están en la zona ocho, así determinada por ser una zona con suficiente disponibilidad de agua.

El precio sombra de uso general se estimó tomando en consideración todos los sectores de la matriz de insumo producto estatal (MIPE) (45 subsectores), y el precio sombra de uso industrial-servicios se calculó eliminando los sectores asociados a la actividad primaria (agricultura, ganadería, silvicultura y pesca) y considerando solo los sectores industriales y de servicios (41 subsectores). En el primer caso, se estimó un precio sombra de \$4.00 por m^3 correspondiente a una tasa de uso $rw=0.1068$, esto es, el cociente de la cantidad de agua subterránea concesionada hasta el año 2003 y la cantidad total de agua disponible para su uso, en la zona de disponibilidad ocho. Por otra parte, se estimó el precio sombra para la zona de disponibilidad uno suponiendo una tasa¹⁶ $rw=1$. Los valores para las zonas de disponibilidad

¹⁶ En el nivel nacional se clasifican a los municipios en ocho ZDD. La zona de disponibilidad uno es la zona de mayor escasez de agua. Y la ZDD 8 es la de mayor disponibilidad de agua. En este trabajo suponemos que no se puede extraer más de lo que se dispone en la cuenca hidrológica, y que no es posible realizar transferencias del recurso entre cuencas, por lo tanto, la máxima tasa de extracción posible se fija en $rw=1$ en la ZDD 1. En Yucatán no existen municipios que pertenezcan a la zona de disponibilidad uno, pero se estimó el precio sombra correspondiente a esta zona para tomarlo como valor de referencia; este, junto con las proporciones que se aplican en las tarifas vigentes según la Ley Federal de Derechos, y el precio sombra estimado para la ZDD 8, permiten estimar el

restantes se estimaron utilizando las proporciones que se aplican en las tarifas vigentes, según la Ley Federal de Derechos (2003, 2012). El precio sombra de las actividades industriales y comerciales estimado fue de \$28.00 pesos para $r_w=0.1068$, el cual fue asignado a la zona de disponibilidad ocho. Se aplicó el criterio seguido en el cálculo del precio sombra de uso general para estimar los valores correspondientes a todas las zonas de disponibilidad para uso industrial y comercial (ver cuadro 6).

Cuadro 7
Tarifa del agua subterránea autoabastecida

año	ZDD	Industria \$/m ³ Tarifa oficial	Agrícola~ Tarifa oficial	agrícola* \$/m ³ Tarifa oficial	precio sombra uso general \$/m ³ estimado	precio sombra industria- servicios \$/m ³ estimado
2003	6	5.5251	0.0000	0.1000	14.96	104.71
	7	4.1587	0.0000	0.1000	11.26	78.81
	8	1.4776	0.0000	0.1000	4.00	28.00
2012	6	8.0297	0.0000	0.1452	n.d.	n.d.
	7	6.0437	0.0000	0.1452	n.d.	n.d.
	8	2.1472	0.0000	0.1452	n.d.	n.d.

Nota: ~ por consumos menores a los concesionados;* por cada m³ que se exceda del volumen concesionado; ZDD: zona de disponibilidad.

Fuente: elaboración propia con base en DOF (2003 y 2012).

Del cuadro se desprenden las siguientes observaciones:

- Las tarifas varían según la zona de disponibilidad y el tipo de uso.
- Las tarifas por m³ para el uso industrial varían de un máximo de 5.5251 a un mínimo de 1.4776 pesos, para el año 2003. En el año 2012, las tarifas por m³ para el mismo uso varían de un mínimo de 2.1472 a un máximo de 8.0297 pesos.
- El uso industrial es el que paga tarifas más elevadas.
- El uso agrícola será cargado con una tarifa de 0.10 pesos por m³ de agua que se exceda al volumen concesionado en el año 2003. En el año 2012, la tarifa por consumos excedentes al concesionado fue de 0.1452 pesos por m³.

precio sombra de la ZDD 6 y también de la 7, los cuales pertenecen a los municipios de Yucatán.

- El uso agrícola, aun cuando representa el mayor consumo consuntivo de agua, no paga tarifa por consumos menores a los volúmenes concesionados.
- Las tarifas se han ido incrementando año con año, pero se presume que las tarifas siguen siendo bajas para todos los usos agrícola e industrial.
- La política de precios no refleja el verdadero valor del agua para todos los usos, ya que el precio sombra estimado para el año 2003, es superior a la tarifa oficial vigente para el mismo año.
- El precio sombra del agua varía según el tipo de uso. Para el año 2003, según uso general, tendría un valor de \$4.00 a \$14.96 pesos en la zona de disponibilidad ocho y seis, respectivamente. El uso industrial-comercial tendría un precio sombra de \$28.00 a \$104.71 pesos en la zona ocho y seis, respectivamente.
- El precio sombra del agua para uso general es menor en relación al correspondiente para uso industrial-servicios, este comportamiento obedece principalmente al hecho de que la mayor parte del uso general es agrícola, lo que representa que el 76.65% del agua subterránea concesionada es para uso consuntivo. Por lo anterior, el precio sombra de uso general es una aproximación al valor del agua en actividades del sector agrícola.
- Futuros estudios deberán abordar la estimación del precio sombra del agua considerando los consumos efectivos de agua y no los volúmenes concesionados.

Las estimaciones sugieren que el precio efectivo (tarifas oficiales) es muy bajo y no refleja la verdadera escasez del recurso hídrico impuesta por el crecimiento urbano desordenado y precipitado de la zona metropolitana de la ciudad de Mérida, la contaminación de los cauces debido a vertidos de aguas residuales de todas las actividades y al uso irracional por desperdicios.

Aún cuando la aplicación de las tarifas sombra induciría una asignación óptima del recurso en usos más productivos y de mayor valor, la corrección de las tarifas en el sector productivo no es viable en las condiciones actuales. Un aumento en las tarifas del agua a su valor sombra llevaría a la bancarrota a las empresas ineficientes, sobre todo en aquellas actividades en las cuales es un recurso básico en la producción (agrícolas, textiles, vestido, alimentaria, productos eléctricos y de generación eléctrica). Las unidades agrícolas ineficientes y sin acceso al mercado de capitales para financiar el cambio de tecnología de uso eficiente de agua, tendrían problemas financieros para seguir operando y la mano de obra liberada migraría a las ciudades en busca de oportunidades de trabajo. Por lo anterior, la corrección en los precios tendría que ser instrumentada a largo plazo, con cambios

graduales apoyados en el funcionamiento eficiente en los mercados relacionados de capitales.

Conclusiones

En la región peninsular y en particular en el estado de Yucatán, no hay problemas derivados a causa de la cantidad de agua disponible para uso productivo; por lo que, la preocupación de los científicos y el organismo responsable de su administración se centra en la extrema vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos subterráneos; sin embargo, si el patrón actual de uso no se modifica, se corre el riesgo de padecer problemas de disponibilidad en las próximas décadas por la sobre-explotación en los acuíferos de la región. El agua es un recurso valioso y su uso sustentable depende de su consumo eficiente en las actividades productivas.

Para garantizar el desarrollo sustentable, con base en el uso eficiente del agua en las actividades productivas, es indispensable que el organismo de Cuenca Península de Yucatán lleve un control efectivo de los consumos, por medio de la medición volumétrica en los sectores: agrícola, pecuario, manufactura ligera, servicios de educación y actividades gubernamentales, e inicie la instrumentación de una política gradual de eliminación de subsidios al consumo autoabastecido de agua para los usos agrícola, pecuario, industrial y comercial.

El presente trabajo es un intento por caracterizar la estructura económica local y el uso sustentable de un recurso vital, como es el agua subterránea, y presenta por lo tanto las limitaciones inherentes al modelo utilizado, a la información disponible sobre volúmenes concesionados y no efectivos, así como al método de estimación indirecto (por coeficientes de localización) de la matriz regional. Por lo anterior, los resultados no pretenden ser exactos sino una aproximación a una realidad local compleja y difícil de explicar.

Para complementar el análisis realizado en este artículo, las futuras extensiones se deberán enfocar en los modelos tipo Ghosh o modelos híbridos, donde el agua esté determinada por la oferta y no por la demanda. En específico, se sugieren dos tipos de simulaciones: la simulación del impacto de una reducción de la oferta del agua en la producción sectorial, valor agregado, empleo; y los impactos en los precios de la economía local en caso de que las tarifas se alinearan al precio sombra estimado a partir de un modelo dual de precios de Leontief. Esto permitiría contar con elementos para realizar un análisis contextualizado en los diferentes factores involucrados en el aprovechamiento eficiente del recurso hídrico, para una propuesta de política hídrica local.

Es importante mencionar que el análisis del sistema tarifario como tal no se ha realizado, ya que está fuera de los alcances del presente trabajo, aunque ciertamente se reconoce que el precio del agua es un excelente instrumento económico para uso eficiente del recurso (Guerrero, 2007); pero, asimismo, se reconocen las limitantes que al ajuste de este tiene en la práctica por los impactos económicos y sociales expuestos en este trabajo.

Anexo

Anexo 1
Clasificación sectorial con base en el cuadro 1

multiplicadores		agua	
		alto	bajo
valor agregado	alto	111. Agricultura	61. Educación 113. Silvicultura 53. Alquiler mobiliario e inmobiliario 222. Agua 62. Salud y asistencia social 556. Dirección y apoyo a negocios 81. Reparación y mantenimiento 71. Culturales, deportivos y recreativos 436. Comercio 93. Actividades gubernamentales 54. Profesionales, científicos y técnicos 72. Hotelería, restaurantes y bares 212. Minería caliza, arcilla y sal 52. Financieros, seguros y fianzas 51. Telecomunicaciones e información 48. Transportes 327. Cal, cemento y vidrio 238. Instalaciones, preparados y acabados 114. Pesca 321. Madera
	bajo	335. Eléctricos y generación eléctrica 311. Alimentos 112. Ganadería	221. Termoelectrónica 313. Hilos y telas 312. Bebidas 315. Vestido 316. Calzado y cuero 314. Textiles 326. Plástico y hule 325. Química 331. Metales 237. Obra pesada 322. Papel y cartón 339. Equipo médico, joyería y otras manufacturas 336. Autopartes y carrocerías 337. Muebles 323. Impresión 332. Herrería, forja y artículos metálicos 333. Refrigeración y maquinaria 334. Cómputo, comunicación y electrónicos 49. Correos y almacenamiento 236. Edificación 324. Derivados de petróleo y carbón

Referencias

- Adrián, D. (2012). *Matriz insumo producto de consumo intersectorial de agua subterránea en Yucatán*, 2003. (Tesis de Licenciatura en Economía). Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Albornoz, L. (2006), *Actualización y balance por entropía de una matriz de contabilidad social de las regiones rurales de México*. (Tesis de maestría). CEE-El Colegio de México.
- Albornoz, L., Canto, R. y Becerril, J. (2012). “La estructura de las interrelaciones productivas de la economía del estado de Yucatán. Un enfoque de insumo producto”. *Región y Sociedad*, 24(54), 135-174.
- Bonfiglio, A. y Chelli, F. (2008). “Assessing the behavior of non-survey methods for constructing regional input-output tables through a Monte Carlo simulation”. *Economic Systems Research*, 20(3), 243-258.
- CONAGUA (2010*), Consultas al Registro Público de Derechos de Agua, Subdirección General de Administración del Agua, Centro Integral de Servicios, Mérida Yucatán: Organismo de Cuenca Península de Yucatán.
- CONAGUA (2010b), *Estadísticas del Agua en México* (edición 2010), México: SEMARNAT.
- CONAGUA (2011a), *Estadísticas del Agua en México, Usos del Agua* (edición, 2011), México: SEMARNAT.
- CONAGUA (2011b), *Estadísticas del Agua en México, Situación de los Recursos Hídricos* (edición, 2011), México: SEMARNAT.
- Dietzenbacher, E. y Velázquez, E. (2007), “Analyzing Andalusian virtual water trade in an input output framework”, *Regional Studies*, vol. 41, núm. 2, págs. 185-197.
- Dinar, A., Guerrero, H., Yúnez, A. y Medellín, J. (2008). Políticas en el sector agua, herramientas para la evaluación de sus implicaciones económicas y ambientales: una visión panorámica. En Guerrero, H., Yúnez, A., y Medellín, J. (Coords.), *El Agua en México: Implicaciones de las Políticas de Intervención en el Sector*. México: FCE.
- DOF (2003). *Ley Federal de Derechos Normas Aplicables en Materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes*. Disponible en http://www.pnuma.org/deramb/compendio_legislacion/LegislacionNacionalMexicana/LeyesFederales/LEY%20FED%20DERECH%20AGUA%202003.pdf consultado el 29 de mayo de 2012.

- DOF (2009). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero (3105) Península de Yucatán, estado de Yucatán*. CONAGUA, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos, publicado el 28 de agosto de 2009. México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF (2012). *Ley Federal de Derechos*, última actualización publicada el 9 de abril de 2012 en el Diario Oficial de la Federación.
- Duarte, R., Sánchez, J. y Bielsa, J. (2002). "Water use in the Spanish economy: an input-output approach". *Ecological Economics*, 43(1), 71-85.
- FAO (2003), Descubrir el potencial del agua para la agricultura, Departamento de Desarrollo Sostenible. Disponible en www.fao.org/docrep/006/y4525s/y4525s00.htm
- Flegg, A. T. y Tohmo, T. (2011). Regional input-output tables and the FLQ formula: A case study of Finland. *Regional Studies*, 47(5), 703-721. DOI: 10.1080/00343404.2011.592138.
- Flegg, A. T., Webber, C. D. y Elliot, M.V. (1995). "On the appropriate use of location quotients in generating regional input-output tables and the FQL formula". *Regional Studies*, 29(6), 547-561.
- Flegg, A. T. y Webber, C.D. (1997). "On the appropriate use of location quotients in generating regional input-output tables: Reply". *Regional Studies*, 31(8), 795-805.
- Flegg, A. T. y Webber, C. D. (2000). "Regional size, regional specialization and the FLQ formula". *Regional Studies*, 34(6), 563-569.
- Guajardo, R. y García, P. (2001). "Análisis de la estructura del sector agua en Nuevo León y sus relaciones intersectoriales". *Estudios Económicos*, 16(2), 253-270.
- Guerrero García Rojas, H. (2005a). *Industrial Water Demand in Mexico: Econometric Analysis and Implications for Water Management Policy*. (Tesis doctoral), Université des Sciences Sociales, Toulouse I, Francia.
- Guerrero García Rojas, H. (2005b). "The cost of providing and the willingness to pay for water in the municipal and industrial sectors". *World Bank: Mexico Economic Sector Work, Reporte final (mayo 2005)*.
- Guerrero G.R., H. (2007). El Uso de Instrumentos Económicos para una Gestión de los Recursos Hídricos (enfoque global de la gestión integrada). En *Economía del Agua* (63-76). España: Servicios de publicaciones de la Junta de Castilla-La Mancha.

- INEGI (2002). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte*. Segunda edición. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (2007). Matriz de insumo producto 2003 a nivel rama, Dirección General de Estadísticas Económicas, Dirección General Adjunta de Cuentas Nacionales. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (2010). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Liu, X. y Chen, X. (2008). "Methods for Approximating the Shadow Price of Water in China". *Economic Systems Research*, 20(2), 173-185.
- Llop, M. (2006). "Economic Impacts of alternative water policy scenarios in the Spanish production system: an input output analysis". *Facultat des Ciencies Economiques i Empresariales, Universitat Rovira I Virgili, España, Document de treball departmet de economia 2072/3681*,
- Marín, L., Pacheco, J. y Méndez, R. (2004). "Hidrogeología de la Península de Yucatán". En Jiménez, B. y Marín, L. (Eds.), *El Agua en México Vista desde la Academia*. México: Academia Mexicana de Ciencias.
- Marín, L. (2007). The Role of Science in Managing Yucatan's Groundwater. En Holliday, L., Marín, L., y Vaux, H. (Eds.), *Strengthening Science-Based Decision Making in Developing Countries Sustainable Management of Groundwater in Mexico*. United States: NAP.
- Meacham, S. (2007). Freshwater resources in the Yucatan Peninsula". En Holliday, L., Marín, L. y Vaux, H. (Eds.), *Strengthening Science-Based Decision Making in Developing Countries Sustainable Management of Groundwater in Mexico*. United States: NAP.
- Mendez, R. y Castillo, R. (2009). Manejo sanitario de granjas porcinas y avícolas en Yucatán. México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Metcalf, C., Beddows, P., Gold, G., Metcalfe, T., Li, H. y Van Lavieren, H. (2011). "Contaminants in the coastal karst aquifer system along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Mexico". *Environmental Pollution*, 159, 991-997.
- Miller, Ronald E. y Blair, P. (2009). *Input-output analysis, foundations and extensions*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Okadera, T., Watanabe, M. y Xu, K. (2006). "Analysis of water demand and water pollutant discharge using a regional input output table: an application to the city of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China". *Ecological Economics*, 58(2), 221-237.

- Pacheco, J., Marín, L., Cabrera, A., Steinich, B., Escolero, O. (2001). "Nitrate temporal and spatial patterns in 12 water-supply Wells, Yucatan, Mexico". *Environmental Geology*, 40(6), 708-715.
- Rivero, E. y García, H. (2011). "Instrumentos económicos y de política pública para la asignación de agua subterránea para uso agrícola en México". *Revista de Economía Facultad de Economía Universidad Autónoma de Yucatán*, 28(76), 41-80.
- Smajgl, A. y Liagre, L. (2010). "Analysing Implications of limited water availability for Great Barrier Reef Catchments". *Economic Systems Research*, 22(3), 263-277.
- Tohmo, T. (2004). "New developments in the use of location quotients to estimate regional input-output coefficients and multipliers". *Regional Studies*, 38(1), 43-54.
- Velázquez, E. (2006). "An input output model of water consumption: Analyzing intersectoral water relationships in Andalusia". *Ecological Economics*, 56(2), 226-240.
- Yúnez, A. y Rojas, G. (2008). Perspectivas de la agricultura ante reducciones en la disponibilidad de agua para riego un enfoque de equilibrio general. En Guerrero H., Yúnez A. y Medellín J. (Coords.), *El agua en México consecuencias de las políticas de intervención en el sector*. México: Fondo de Cultura Económica.