



EL COLEGIO DE MÉXICO

CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS

MAESTRÍA EN ECONOMÍA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ECONOMÍA

**EFFECTOS DE EQUILIBRIO GENERAL DE
DEGRADACIONES DE RECURSOS NATURALES EN LA
ECONOMÍA DE LOS HOGARES RURALES DE MÉXICO**

SALVADOR ULISES CADENA ESPINOZA

PROMOCIÓN 2013-2015

ASESORES:

DR. ANTONIO YÚNEZ NAUDE

DR. JOSÉ JORGE MORA RIVERA

JUNIO -2015

Agradecimientos

Con todo mi cariño y mi amor para mis padres, Magdalena y Salvador, que han hecho todo en la vida para que yo alcance mis sueños, por motivarme y darme la mano incondicionalmente siempre que lo he necesitado, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica como de la vida. A ustedes, mis héroes, por siempre mi corazón y agradecimiento.

En el desarrollo de esta tesis ha sido fundamental el apoyo de mis asesores, el Dr. Antonio Yúnez Naude y el Dr. José Jorge Mora Rivera, quienes han alimentado esta investigación no solo con sus valiosas ideas y comentarios, sino también con la calidad de su pluma. Muchas gracias por sus conocimientos y amistad.

A mis maestros, tanto de licenciatura, como de maestría, que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, especialmente al Dr. Arturo Pérez Mendoza, por compartir conmigo su amistad y amor por esta bella disciplina.

A Leroy y a mamá Coquito, mis abuelitos y amigos, por su sabiduría y cariño. A mi hermana Marlene y mi niño Alejandro, por tantas alegrías. A Rafael, quien ha sido como un padre, hermano y amigo. Ha sido, y es un honor vivir a tu lado; y a mi mejor amigo Angelito, quien ha podido ayudarme, a ver más linda la vida.

Gracias a todos mis amigos por compartir esta experiencia, Chuy, Robert, Mony, y especialmente Samuel, mi compañero de batallas. Con cariño este trabajo es también para las futuras generaciones de amigos García-Cadena.

Finalmente dedico esta investigación a Verónica, mi compañera, cómplice y amiga. Gracias por tu amor al infinito, y más aia. Por tu paciencia, comprensión, bondad y sacrificio. Esta tesis lleva mucho de ti y no podría haber sido finalizada sin tu apoyo. Gracias por estar a mi lado, afrontando la gran travesía de la vida, aún en la dificultad que la maestría representó. No vislumbro un mejor escenario sin tu compañía. Todo mi amor para ti.

Resumen

Ante la importancia que tienen el agua y la tierra fértil como insumos productivos para el sector agrícola, y en consecuencia para la producción de alimentos; garantizar su disponibilidad debe ser una prioridad para toda política pública, con el fin de asegurar el desarrollo sostenible. En términos de políticas es importante actuar; con medidas de mitigación para evitar la continua degradación de los recursos naturales, así como con acciones que promuevan la adaptación de la producción agrícola a tal cambio, profundizado por el fenómeno del cambio climático. Para la presente tesis se elaboró un Modelo de Equilibrio General Aplicado Microeconómico para cada región rural de México, que toma como base, cinco matrices de contabilidad social de los hogares rurales del país, incluyendo el valor de la tierra en todas las regiones, así como el valor económico del agua, ambos como factores de producción. La información para la construcción de las matrices de contabilidad social parte de la Encuesta Nacional de Hogares Rurales de México de 2007 (ENHRUM), considerando el doble carácter de productores y consumidores de los hogares rurales, así como la diversificación de sus fuentes de ingreso. El modelo calibrado se usa para estimar los efectos microeconómicos de equilibrio general provocados por la erosión de los recursos naturales en contextos regionales disímiles sobre el nivel de producción, ingreso y bienestar de los hogares rurales de México. Los resultados sugieren que, en efecto, la reducción en la calidad y disponibilidad de insumos productivos provenientes de la naturaleza, afectará las posibilidades de producción de los hogares rurales agrícolas, no solo empeorando sus condiciones de vida, sino afectando la producción de alimentos en México.

Índice

Introducción.....	2
Marco Teórico.....	5
Escasez del agua.....	5
Erosión de los Suelos.....	7
Modelos de Equilibrio General Aplicados.....	9
El MEGA, los datos y la economía rural de México.....	13
Modelo.....	13
Datos.....	15
La Economía Mexicana Rural en la MCS-2007.....	17
Resultados.....	21
Simulaciones de la erosión de la tierra.....	22
Simulaciones en la oferta de agua.....	37
Reflexiones conjuntas respecto de ambas simulaciones.....	46
Conclusión.....	48
Anexo 1. Ecuaciones del Modelo.....	50
Bibliografía.....	53

1. Introducción

En la actualidad la degradación y el creciente agotamiento de los recursos naturales son de los principales desafíos que enfrentan los seres humanos (Foro Mundial Para la Naturaleza, WWF, 2014; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, 2014; Agencia EFE, 2015). La problemática que estos retos implican se intensifica si queremos compatibilizar la conservación del medio ambiente con las necesidades del desarrollo económico que enfrentamos como humanidad (Banco Mundial, 2012; Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, 2005). Es por ello que se debe alcanzar una asignación eficiente de los recursos en la cual el medio ambiente no se vea amenazado. Debido a lo anterior se desprende que el desarrollo económico debe ser compatible con el cuidado de los recursos naturales para asegurar el consumo de las generaciones presentes y futuras.

La sustentabilidad del medio ambiente es esencial para abatir muchos de los problemas de desarrollo que enfrentamos, en especial la reducción de la pobreza, el hambre y la desnutrición. Según datos de la FAO, entre 2011 y 2013, 842 millones de personas en el mundo padecieron hambre (FAO, 2014). Este mismo organismo señala que para satisfacer el aumento significativo en la demanda de alimentos que habrá en el 2050 será necesario producir 60% más de alimentos que los actualmente producidos.

El rápido crecimiento poblacional, las tasas de crecimiento económico de los países y la urbanización; sobre todo de los países en desarrollo, han impulsado el aumento de manera significativa en la demanda de bienes producidos a partir de los recursos naturales (Piñero, 2013). Por otro lado los países más pobres presentan los aumentos poblacionales más grandes y las condiciones medio ambientales más frágiles (Fondo de Población de las Naciones Unidas, UNFPA, 2005). Dicha condición, de acuerdo con la misma UNFPA, se debe a la falta de recursos financieros y a políticas de administración de recursos poco sostenibles para enfrentar los retos mencionados.

Debido a lo antes mencionado, la agricultura representa un papel fundamental en el desarrollo económico, pues de ser impulsada, puede ser una herramienta poderosa para combatir la pobreza y el hambre. El 78 por ciento de la pobreza mundial es de tipo rural, y

la mayoría se encuentra en actividades relacionadas a la agricultura y a la ganadería (Banco Mundial, 2014). En México aproximadamente un cuarto de la población (24 millones) se encuentra en comunidades rurales, desempeñándose en actividades agrícolas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, 2009). Además de proporcionar ingresos, generar empleos y proveer bienes y servicios a gran parte de la población pobre, el sector agrícola contribuye con el 4% del PIB (INEGI, 2009). De acuerdo con la FAO, el PIB generado por el sector agrícola es de dos a cuatro veces más eficaz en la reducción de la pobreza que el generado en los sectores no agrícolas.

La agricultura sin embargo es uno de los sectores más vulnerables ante la problemática de la sostenibilidad de los recursos naturales. Problemas como la erosión y la fragmentación de los suelos disminuyen las posibilidades de producción agrícola, lo cual repercutirá en su estructura de costos y su precio final de venta. La degradación de la tierra ha afectado hasta una tercera parte el suelo agrícola, así como la pérdida de un 75 por ciento de la biodiversidad genética de los cultivos, y la pérdida de aproximadamente 13 millones de hectáreas de bosques al año. (FAO 2014).

El *trade-off* entre desarrollo económico y la conservación de los recursos naturales es altamente problemático y controvertido. Por un lado podríamos considerar dicha escasez de recursos como relativa, y esperar que se ajuste de manera gradual con la adopción de tecnologías más eficientes. Por otro lado es posible considerar que es un problema de escasez absoluta y tomar políticas de desarrollo que afecten al crecimiento económico, reduciendo la escala de producción para la preservación del medio ambiente. Sin embargo más allá de la posición respecto al tema, el problema es una realidad y requiere acciones inmediatas.

El objetivo de la presente tesis es analizar el impacto de la degradación de recursos naturales, como la erosión de la tierra y la escasez de agua sobre la producción agrícola, el ingreso real y el bienestar de los hogares rurales de México con base en un modelo microeconómico de equilibrio general aplicado. Con la finalidad de distinguir el uso del agua y la tierra como insumos productivos, en este modelo se especifica de forma desagregada la actividad agrícola, en la que se usa la tierra y el agua. El líquido se emplea para la agricultura de irrigación en gran parte de las tierras áridas, la cual se distingue de la

agricultura de temporal. Bajo esta concepción del modelo, la agricultura de irrigación se verá más afectada respecto a la de temporal en cuanto a las reducciones en la oferta de agua, mientras que la erosión de la tierra impactará tanto a la agricultura como a la ganadería, generando redistribuciones del recurso por efectos de equilibrio general.

La organización del presente trabajo es la siguiente. En la sección 2 se presenta el marco teórico, el cual contiene una breve descripción de la escasez del agua, la erosión de la tierra y la revisión de literatura correspondiente a los artículos que vinculan a los modelos de equilibrio general agrícolas con degradaciones ambientales. En la sección 3 se introduce la base de datos utilizada para alimentar el modelo, así como las principales características del mismo, enfatizando las modificaciones al modelo original para ajustarlo a los intereses de la presente tesis. En la sección 4 se presentan los diferentes escenarios a modelar con sus respectivos resultados. Finalmente en la sección 5 se presentan las conclusiones de la tesis con una síntesis de los hallazgos y un análisis de sus consecuencias.

2. Marco Teórico

2.1 Escasez del Agua

El agua es sin duda el recurso natural más importante para el ser humano. Además de ser un recurso esencial para la vida, todas las actividades económicas dependen de la disponibilidad del líquido. Sin embargo el agua limpia que utilizamos de manera cotidiana para beber, bañarnos o irrigar los campos agrícolas es sumamente escasa. De acuerdo con el WWF (2015) sólo el 3% del agua en el mundo es agua dulce, y sólo dos tercios de esa cantidad es accesible. Adicional a lo anterior, aunque el agua es en principio un recurso renovable, la oferta suficiente y la calidad del agua no están garantizadas para el futuro. De acuerdo con la Inter-Agencia de las Naciones Unidas para los temas relacionados al agua (UNWATER, 2013) un tercio de la población mundial vive en países cuya disponibilidad del recurso y calidad están comprometidas y para el 2025 esta cifra se incrementará a dos tercios.

La escasez del agua ocurre cuando la demanda por el líquido en todos los sectores (agrícola, industrial, ciudades, ambiental, etc.) es mayor que la disponibilidad del mismo. Existen dos tipos de escasez del agua, la primera y más importante se conoce como escasez física del agua, la cual ocurre cuando el agua disponible simplemente no es suficiente para satisfacer las necesidades de una localidad. Las regiones áridas son las que generalmente se ven más agravadas por este tipo de escasez. En la figura 1 se pueden observar las regiones que de acuerdo con FAO (2009) padecen escasez física de agua:

Figura 1. Escasez física de agua



Fuente: FAO, 2009.

El segundo tipo de escasez es conocida como escasez económica de agua, la cual ocurre cuando encontrar una fuente viable de agua limpia es demasiado costoso, ya sea en recursos humanos y/o monetarios. Este tipo de escases limita el acceso del recurso a una localidad, aún cuando el recurso esté disponible en la naturaleza. En la figura 2 se muestran las regiones que, de acuerdo con FAO (2009) padecen este tipo de escasez.

Figura 2. Escasez económica de agua



Fuente: FAO, 2009

El problema de la escasez del agua es un problema creciente debido al aumento poblacional y a la intensa competencia entre sectores por el líquido. Este problema es especialmente importante para la agricultura bajo irrigación, siendo la principal actividad que demanda el recurso a nivel mundial. De acuerdo con Albiac (2003), el uso de irrigación agrícola oscila entre el 60% y el 80% siendo mayor el uso del recurso para los países en desarrollo. En cuanto a la producción de alimentos, la agricultura de riego representa el 38% del producto total en el mundo.

México es considerado como un país bajo vulnerabilidad de sequías debido a que aproximadamente el 52% de su territorio aproximadamente está catalogado como árido o semiárido (Salinas, 1998). Esta situación se debe a las escasas lluvias que se presentan en muchas regiones del país, lo que agudiza las sequías y pone mayor presión sobre la necesidad del agua. La agricultura bajo irrigación en México consume el 77.8% del total del agua dulce disponible y su producción de alimentos respecto al total es del 55% (INEGI, 2011).

Las proyecciones sobre la disponibilidad del agua para el 2050 predicen que el nivel será aproximadamente el mismo al actual de acuerdo con UNWATER. Sin embargo el crecimiento poblacional generará presión sobre la distribución y los múltiples y alternativos usos que podrá tener el recurso, sobre todo en el sector de la irrigación agrícola debido a su dominancia en el uso del agua. Para el 2050 y debido al incremento generalizado en la demanda de los bienes, la disponibilidad de agua del sector agrícola se verá disminuida en un 19% (FAO, 2014). Esta situación se intensificará en las regiones áridas y semiáridas, las cuales de entrada ya se encuentran en desventaja debido a sus esfuerzos por adquirir agua.

2.2 Erosión de los Suelos

La erosión de los suelos se puede definir como la fragmentación de las partículas del suelo causadas por fenómenos climatológicos como el viento o la lluvia. Este fenómeno es considerado de largo plazo cuando ocurre de forma natural, sin embargo debido a la actividad humana, como la deforestación o el crecimiento de la mancha urbana, el proceso de erosión del suelo se ha acelerado. El proceso de la erosión implica dos efectos principalmente, el primero es la pérdida de suelo y con ello parte de su productividad. El

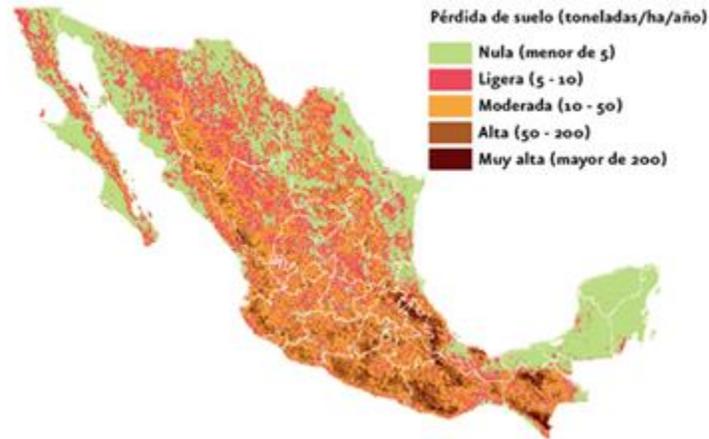
segundo efecto se refiere a los depósitos de sedimentos en lugares no deseados como ríos o mares.

De manera similar al agua, el suelo en principio es un recurso renovable, pero su disponibilidad está condicionada a la no sobre explotación del mismo debido a que se requiere de mucho tiempo para su formación. De acuerdo con García (1995) se requieren aproximadamente 500 años para generar 2.5 centímetros de suelo, tanto en climas tropicales como templados. La erosión se puede clasificar en dos tipos de acuerdo a su causa. El primer tipo se conoce como la erosión hídrica y se refiere a la remoción del suelo por efecto del agua, ya sea por lluvia o por escurrimientos como en algunos tipos de irrigación. El segundo tipo es la erosión eólica, la cual se refiere a la remoción de partículas del suelo por las corrientes de viento.

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2008), la erosión hídrica afecta al 37% del territorio mexicano. Por otro lado, el impacto de la erosión eólica representa el 23.25% del suelo nacional. Este problema es de fundamental relevancia para el sector agrícola debido a que, por un lado es un insumo fundamental para la producción de alimentos, y por otro lado, la expansión de campos agrícolas mediante la deforestación o el uso de prácticas de irrigación inadecuadas han aumentado la pérdida de suelo productivo (WWF, 2015).

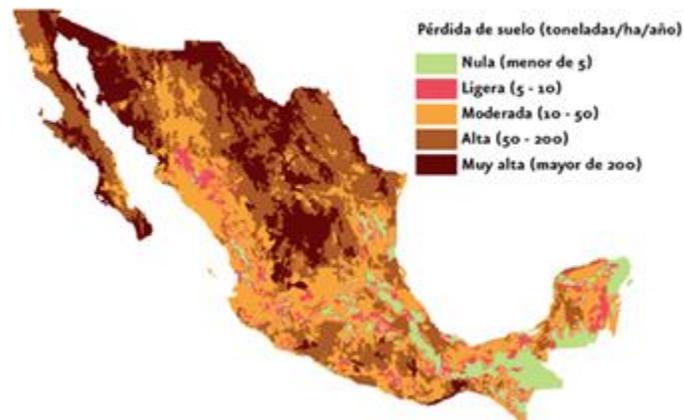
En las figuras 3 y 4 se pueden observar los efectos potenciales de los niveles de erosión del suelo (hídrica y eólica, respectivamente) para distintas regiones de México. Dichos mapas son resultado de evaluaciones concesionadas por la SEMARNAT (2002). La figura 3 muestra que la erosión hídrica tendrá mayor impacto al Sur de México, mientras que la figura 4 ilustra una mayor afectación de la erosión eólica al Norte del país.

Figura 3. Erosión hídrica potencial de los suelos (2002)



Fuente: SEMARNAT, 2008

Figura 4. Erosión eólica potencial de los suelos (2002)



Fuente: SEMARNAT, 2008

2.3 Modelos de equilibrio general aplicados

Los modelos de equilibrio general aplicados (MEGA'S) han sido una poderosa herramienta para analizar efectos de apertura comercial en el sector agrícola, en la pobreza o en la distribución del ingreso (Robinson, Burfisherm Hinojosa y Thierfelder, 1993; Harrison, Rutherford y Wooten, 1989, 1991; de Janvry, Fargeix y Sadoulet, 1992; Martin y Winters,

1996; Hertel, Ianchovichina y McDonald, 1997). También han sido utilizados para determinar efectos medio ambientales sobre la economía agrícola y los cambios en precios relativos de los recursos naturales como factores de producción. (Shively, 1997; Rendeleman, 1993; Komen y Peerlings, 1995; Zinser, Miranowski, Shortle y Monson, 1985; Glomsrod, Hoei, Johnsen y Marín, 1993; Yúnez y Rojas 2008; Luckmann, Siddig, Flaigy Grethe, 2011) Sin embargo, el incremento en los costos de producción provocados por la degradación del ambiente no refleja el problema de la creciente escasez de recursos que enfrentamos hoy en día, que es el objetivo en la presente investigación y que se realiza a partir de estimaciones sobre los posibles efectos de equilibrio general de una reducción en la oferta y disponibilidad de los recursos naturales utilizados en la producción agrícola.

A pesar de que muchos daños ambientales pudieran pensarse como de impacto local únicamente y por lo que aplicar un enfoque más amplio como el contenido en un MEGA parecería de poca relevancia, Shively (1997) mostró lo contrario a partir de los resultados que obtuvo sobre las repercusiones que pudieran tener a nivel agregado las degradaciones ambientales. En ese artículo, el autor analiza el impacto de la deforestación y la erosión de los suelos en la agricultura de las montañas de Indonesia sobre la producción agrícola en la planicie y las interacciones entre ambas regiones.

En la literatura hay estudios en los que se modelan impuestos ambientales o reducciones en los niveles de emisión por sector contaminante. Rendleman (1993) estima el impacto de restricciones químicas, ejemplificándolo con los fertilizantes en la economía agrícola estadounidense. Por otro lado Komen y Peerlings (1998); y Zinser, Miranowski, Shortle y Monson (1985) evaluaron el impacto de incrementar los impuestos sobre el uso de energía en la agricultura. Ambos estudios encontraron efectos positivos en el medio ambiente debido a la implementación de dichas políticas. Sin embargo hacen énfasis en no poder encontrar respuesta a la pregunta ¿Qué es mejor, prevenir la degradación ambiental o tener mayores ganancias económicas?

Otros estudios se enfocan en internalizar en los agentes la utilidad que una mayor calidad del medio ambiente les generaría. Perroni y Wigle (1994) le asignan a cada agente una dotación inicial de calidad ambiental, la cual sería decreciente conforme la producción requiriera maquinaria pesada o recursos naturales como insumo. El haber internalizado el

medio ambiente en la función de utilidad de los agentes les permitió analizar el *trade-off* entre la producción y el medio ambiente. Por otro lado Marinós, Gray y Krissoff (1997) realizan la misma aplicación metodológica a la agricultura del Oeste de los Estados Unidos. En ambos estudios se encuentra un nivel eficiente de contaminación en el cual el costo marginal de abatirla es igual al costo marginal del daño que se genera por las emisiones, alcanzando así, un óptimo que considere el nivel de producción y la calidad ambiental.

Por otro lado la implementación de un nuevo tipo de tecnología que incremente la producción agrícola con un menor consumo de recursos naturales se modela en el artículo de Coxhead y Jayasuriya (1994). En este trabajo se enfatiza que la revolución verde en la agricultura de las planicies ayuda a mitigar la degradación ambiental. Además sugieren políticas para mitigar la degradación de la agricultura en las montañas. Otro artículo que señala efectos positivos al mejorar el medio ambiente en la agricultura es el caso presentado por Legg y Portugal (1997). Ellos concluyen que mejorando las condiciones de vida de los campesinos se provoca un impacto positivo en el medio ambiente, debido a una mejor asignación de los recursos.

También hay estudios a partir de MEGA'S que incluyen la erosión de los suelos. De Franco, Glomsrod, Høei, Johnsen y Marín (1993) analizan los efectos macroeconómicos en Nicaragua de la erosión de la tierra, simulada como una reducción en su productividad, lo cual repercute negativamente en el PIB nicaragüense. Wiig, Aune, Glomsrod e Iversen (2000) simularon para Tanzania efectos de políticas de ajuste estructural como la eliminación de subsidios a los agro-químicos, lo cual provocó un mayor nivel del PIB. Los autores también estimaron que la erosión de la tierra disminuiría el PIB del país. Coxhead y Jayasuriya (2014) aplicaron un modelo de equilibrio general para medir los efectos de la aplicación de un impuesto a los sectores que degradan la tierra. Dentro de sus resultados encontraron que en algunos casos, las políticas ambientales como los impuestos pueden ayudar a mitigar las degradaciones ambientales.

Para el caso del agua usada en la producción agrícola, un estudio reciente es el de Luckmann, Siddig, Flaigy Grethe (2011), en donde exponen los resultados de su estudio para Israel a partir de un MEGA. Sus hallazgos muestran que una reducción en la disponibilidad del agua traía consigo efectos negativos sobre la economía israelí; también

encuentran que tales impactos podrían ser mitigados a partir de fuentes alternativas al agua. Para México no encontramos estudios sobre los efectos de equilibrio general de la erosión de los suelos, pero si hay para el caso del agua. Yúnez y Rojas (2008) estimaron los posibles efectos de una reducción en la oferta de agua en el sector agrícola mexicano. Se encontró que algunos sectores podrían ser afectados por una política de este tipo en búsqueda de la preservación del recurso.

3. El Modelo de Equilibrio General Aplicado (MEGA), los datos y la economía rural de México

3.1 Modelo

Una de las características fundamentales de los modelos multisectoriales computables, como los de equilibrio general aplicados o MEGA, es que con ellos se capturan efectos directos e indirectos de algún choque exógeno a la economía estudiada. Esta es la principal razón que explica la decisión de usar un MEGA para estimar los posibles impactos de la degradación de recursos naturales sobre la producción agrícola, así como los efectos que ello traería consigo en el resto de la economía rural de México. O sea que con el enfoque y a partir de simulaciones de choques en la calidad de la tierra o en el suministro de agua para irrigación, es posible estimar sus efectos directos (en la producción agrícola, por ejemplo), así como los indirectos sobre la economía rural.

El MEGA usado es microeconómico, en el que se utilizan los fundamentos de los modelos de hogares productores y se aplica a regiones rurales de México (Taylor y Adelman, 1996). El código del paquete computacional usado –General Algebraic Modelling System o GAMS—para calibrar y hacer las simulaciones de la presente investigación está basado en el desarrollado por Taylor, Dyer y Yúnez (2005) y adaptado y extendido por Hernández (2015)¹. Las matrices de contabilidad social de las cinco regiones rurales de México construidas por este último autor se modificaron para incluir la tierra y el agua como factores de producción, modificando el código en Stata desarrollado por él. Las matrices fueron calibradas mediante entropía cruzada (Robinson, S., Cattaneo, A. y El-Said, M., 2000) con información de la Encuesta Nacional de Hogares Rurales de México de 2007 (ENHRUM).

El modelo empleado en la presente investigación es, entonces, microeconómico enfocado en los hogares de las cinco regiones rurales de México, considerando su doble carácter de productores y consumidores y la diversificación de sus fuentes de ingreso. El modelo (MEGAM en adelante) consiste en cuatro bloques de ecuaciones que representan: la producción, el ingreso y el gasto de los hogares, y un conjunto de ecuaciones de cierre para alcanzar el equilibrio general.

¹Debido a su extensión no fueron incluidos en el presente trabajo El código de Gams y la Matriz de contabilidad social, sin embargo están disponibles a petición expresa al autor.

En el MEGAM se asume que los hogares maximizan su utilidad, determinada por su consumo de bienes –incluyendo los originados por la producción propia– modelado a partir de una ecuación Cobb-Douglas. Para la producción también se emplea una ecuación del mismo tipo en función de los factores de producción (capital, tierra, trabajo, trabajo familiar y agua). El modelo es recursivo en el sentido que consumo y producción se determinan simultáneamente. El ingreso de los hogares está compuesto por la producción vendida y auto-consumida, el ingreso salarial de sus miembros y por las transferencias: remesas y del gobierno; al dar sus tierras en arriendo, el ingreso de estos hogares incluye renta recibida. Finalmente, el bloque de ecuaciones de cierre incluye condiciones de vaciado de mercado que describimos a continuación.

Las reglas de cierre utilizadas están relacionadas con los supuestos que se hacen sobre los mercados, destacando las consideraciones con base en las observaciones en campo de los investigadores encargados del levantamiento de la ENHRUM. Como productores los hogares rurales son tomadores de precios, determinados en el mercado nacional o internacional. La excepción es el maíz para los hogares que lo producen en pequeña escala para el consumo familiar. En este caso, el precio del maíz es endógeno, es decir, un precio sombra. Por lo tanto en el mercado de bienes hay dos tipos de precios: uno exógeno para el grueso de los bienes producidos y comerciados en las regiones rurales y uno endógeno, para el caso del maíz. Los hogares productores se ajustan ante un cambio en alguno de los precios exógenos y los pequeños productores cambian su valoración propia del maíz ante choques exógenos.

A partir de las imperfecciones del mercado laboral mexicano (los salarios rurales son menores a los pagados en el medio urbano) y de la movilidad del trabajo en el campo, en el modelo se asume que el salario rural está determinado en este medio, es decir, que el salario es exógeno al hogar pero endógeno al medio rural. Lo mismo aplica al resto de los factores de producción considerados (tierra y agua), excepto capital ya que se supone que es un factor fijo que no se usa en actividades distintas a las del periodo base (en este sentido, el modelo es de corto plazo). Así como la producción de maíz, en el MEGAM se incluye una especificidad típica del medio rural mexicano (y de otros países en desarrollo): el uso del trabajo familiar en la producción de los hogares. A partir de la evidencia en la literatura, se

modela el trabajo familiar y asalariado de manera separada (el valor agregado de estos factores es distinto), pero asumiendo que pueden sustituirse en las actividades productivas del hogar. El numerario del MEGAM, a partir del cual se interpretan los cambios en salarios y precios, es el índice de precios al consumidor (construido a partir de la ponderación de los precios de consumo). La última regla de cierre es la igualación entre el ahorro y la inversión.

Utilizar un MEGAM para el sector rural es conveniente para estimar impactos de choques como los relacionados con el deterioro de los recursos naturales usados en la producción agrícola. Esto debido a que a diferencia de enfoques econométricos que estudian los mercados de bienes e insumos agrícolas por separado, con un MEGAM se considera la realidad económica de los hogares rurales y la manera en que toman sus decisiones (Hertel, 2002). Los MEGAM son una extensión de los modelos de hogar productor, que capturan el hecho de que estos son, a la vez, productores y consumidores. A lo anterior hay que agregar que a diferencia de los modelos de hogar, los MEGAM incorporan la diversificación de las fuentes de ingreso de estos agentes, los costos de transacción que enfrentan en la toma de decisiones y la expansión a otros hogares de los efectos directos de un choque que afecta a ciertos hogares (las ecuaciones base del modelo están en el Anexo 1).

3.2 Datos

La base de datos para alimentar y calibrar el modelo, fue la ENHRUM 2007. Esta encuesta provee información detallada de una serie de características de los hogares rurales, tales como fuentes de ingresos, niveles de producción, características sociodemográficas, entre muchas otras. La importancia de utilizar la ENHRUM yace en la representatividad que tiene a nivel de hogares rurales, en localidades con una población de entre 500 y 2500 habitantes. Para los propósitos de la presente tesis, se modificaron las cinco matrices de los hogares rurales de México presentes en Hernández (2015) para incluir el valor de la tierra en todas las regiones, así como el valor económico del agua, ambos como factores de producción. El valor de la tierra se obtuvo siguiendo la metodología de precios hedónicos propuesta por Cerón (2012), quien utilizó información de la EHRUM 2002 para estimar el

valor de la tierra con base de la irrigación, inclinación, tipo de propiedad, uso del terreno, número de posibles cosechas al año y la región. Por otro lado, el valor económico del agua se obtuvo mediante la metodología utilizada por Aragón (2009), quien propuso que dicho valor es igual a la diferencia del precio de los terrenos de riego y de temporal, considerando que sean iguales en todas las características observables, de existir alguna diferencia en precio, será atribuida al acceso a irrigación.

La ENHRUM cuenta con información de las 5 regiones rurales de México. En el cuadro 1 se observa los estados correspondientes a cada región. Es importante señalar las cinco distintas regiones, ya que cada una cuenta con características agro-ecológicas independientes, lo cual permitirá la realización de distintas simulaciones para cada región.

Cuadro 1. Estados de las Regiones Rurales en México

Sur - Sureste	Centro	Centro - Occidente	Noroeste	Noreste
Oaxaca	Estado de México	Guanajuato	Baja California	Chihuahua
Veracruz	Puebla	Nayarit	Sonora	Durango
Yucatán		Zacatecas	Sinaloa	Tamaulipas

Fuente: ENHRUM, 2007

La Matriz de Contabilidad Social (MCS) 2007 contiene 16 actividades por hogar: 9 son agrícolas, 3 ganaderas y 4 de otro tipo de actividad (ver el cuadro 2).

Cuadro 2. Bienes en la MCS-2007

Agricultura Cíclica	Agricultura Perenne	Ganadería	Otros
Irrigado	Café	Ganado mayor	Construcción
Maíz	Caña de Azúcar	Traspatio	Comercio y Servicios
Frijol	Otros bienes Perennes	Equinos	Recursos Naturales
Otros cultivos cíclicos de Temporal			Otros
Maíz			
Frijol			
Otros cultivos cíclicos			

Fuente: ENHRUM, 2007

Otra cuenta importante para la MCS-2007 es la de instituciones, la cual representa a los agentes que tomarán decisiones en la economía a modelar. Como se observa en el cuadro 3, el modelo cuenta con cinco diferentes tipos de hogar: el primero no cuenta con tierra propia, sin embargo la renta de otros hogares para su producción. El segundo no cuenta con tierra y sólo ofrece su trabajo como jornalero para la producción de otros hogares a cambio de un salario. El tercero posee menos de 2 hectáreas de tierra propia. El cuarto posee de 2 a 5 hectáreas de tierra y el quinto cuenta con más de 5 hectáreas de tierra. Adicionalmente, la MCS contiene información de programas gubernamentales como son oportunidades y procampo; así como la institución gobierno y otras instituciones privadas.

Cuadro 3. Instituciones en la MCS2007

Hogares	Programas Sociales	Otros
Sin Tierra	Procampo	Gobierno
Renta Tierra	Oportunidades	Otras Instituciones Privadas
Jornaleros		Capital - Ahorro
Con Tierra		
Menor a 2 ha		
Entre 2 y 5 ha		
Más de 5 ha		

Fuente: ENHRUM, 2007

3.3 La Economía Mexicana Rural en la MCS-2007

Como se mencionó en la sección 1, la agricultura de irrigación representa el 38 por ciento del total de la producción agrícola en el mundo. Es relevante conocer qué proporción de la agricultura en nuestra base de datos se produce bajo irrigación debido a que se va a modificar la disponibilidad de agua para riego. El cuadro 4 muestra las proporciones de la agricultura de riego respecto del total. Es importante resaltar que en el noroeste de México aproximadamente el 90% de la producción agrícola se produce bajo irrigación. Por otro lado en el noreste la misma agricultura bajo riego sólo representa el 2.54% del total.

Cuadro 4. Participación de la Producción Agrícola Irrigada sobre el Total de la Producción Agrícola (2007)
(Millones de Pesos)

	Sur - Sureste	Centro	Centro - Occidente	Noroeste	Noreste	Total
Total Agricultura	31,217.20	17,132.48	40,657.11	2,850.15	6,156.58	98,013.52
Agricultura Irrigada	2,782.24	3,810.57	19,851.33	2,493.84	156.62	29,094.59
% Participación de Agricultura Irrigada	8.91	22.24	48.83	87.50	2.54	29.68

Fuente: ENHRUM 2007

Por otro lado si analizamos el total de la producción agrícola de las 5 regiones, como se observa en el cuadro 5, la región de centro-occidente contribuye con el 41.48% del total y aproximadamente el 70% de la agricultura bajo irrigación. En el noroeste, a pesar de que la mayoría de la producción se genera bajo irrigación, en el total representa apenas casi el 9%, mientras que el noreste representa muy poco a nivel país.

Cuadro 5. Distribución de la Producción Agrícola Irrigada por Región (2007)
(Porcentajes)

	Sur - Sureste	Centro	Centro – Occidente	Noroeste	Noreste	Total
Total Agricultura	31.85	17.48	41.48	2.91	6.28	100
Agricultura Irrigada	9.56	13.10	68.23	8.57	0.54	100
Agricultura No Irrigada ¹	41.26	19.33	30.19	0.52	8.71	100

Fuente: ENHRUM 2007

¹La Agricultura No Irrigada incluye la de Temporal y la Perenne

En el cuadro 6 se presentan las proporciones del costo/valor agregado de los factores de producción respecto al total. Se observa el gran peso del trabajo familiar, sobre todo en el

sur-sureste y noreste, lo cual refleja que en estas regiones sus hogares enfrentan costos de transacción más elevados. Por otro lado, es conveniente señalar que para la región sur-sureste y noroeste el valor económico del agua que encontramos mediante las estimaciones econométricas convergió a cero debido a la falta de datos, por lo que no se incluye el valor de dicho factor para esas regiones.

Cuadro 6. Distribución de los Costos de Factores en la Producción Agrícola por Región (2007)
(Porcentajes)

Factor	Sur - Sureste	Centro	Centro - Occidente	Noroeste	Noreste
Tierra	0.06	0.05	0.15	0.60	0.01
Agua	0.00	10.95	11.91	0.00	0.32
Capital	1.17	2.67	3.50	5.59	1.79
Trabajo asalariado	23.36	33.80	20.38	43.76	13.33
Trabajo Familiar	75.41	52.52	64.06	50.05	84.55
Totales	100	100	100	100	100

Fuente: ENHRUM, 2007

El cuadro 7 reporta la distribución del ingreso por hogar de cada región, estos resultados son muy diferentes entre regiones. Mientras que en el sur-sureste y centro la mayoría del ingreso se concentra en los hogares con menos de 5 hectáreas, para la región del centro-occidente y noreste la mayoría del ingreso se ve concentrado en los hogares con más de 5 hectáreas. Finalmente la región del noroeste concentra su ingreso en los hogares que arriendan tierra de terceros.

Cuadro 7. Distribución del Ingreso de los Hogares por Región (2007)
(Porcentajes)

Hogares	Sur - Sureste	Centro	Centro - Occidente	Noroeste	Noreste	
Sin Tierra	Renta Tierra	19.66	14.09	18.54	24.22	22.96
	Jornaleros	14.06	15.25	15.11	47.02	24.57
Con Tierra	Menor a 2 ha	32.90	35.49	12.90	3.76	4.75
	Entre 2 y 5 ha	23.06	25.67	17.49	7.99	5.22
	Más de 5 ha	10.32	9.50	35.96	17.01	42.50
Totales	100	100	100	100	100	

Fuente: ENHRUM, 2007

Como se aprecia con los datos descriptivos de la ENHRUM, es muy importante haber elaborado un MEGAM por región rural y por tipo de hogar. Esto debido a la heterogeneidad entre regiones y hogares, lo cual, producirá diferencias de impactos del deterioro de los recursos naturales en estos dos planos. La división de agricultura por tipo de irrigación es de fundamental importancia, ya que en cuanto a la reducción en la oferta de agua, el impacto será mayor para la agricultura de irrigación por su uso del recurso. Respecto a la erosión del suelo, al ser un factor que todos los hogares emplean, será relevante ver los impactos al interior de cada actividad por hogar para analizar los efectos redistributivos del recurso al degradarse.

4. Resultados

Una vez calibrado el MEGAM para cada región, se procedió a realizar una serie de simulaciones con el fin de estimar los posibles efectos de la erosión de la tierra y de la reducción en la disponibilidad del agua para irrigación. Los resultados obtenidos no son predicciones, sino efectos potenciales de equilibrio general que podrían traer consigo los choques simulados. La manera más conveniente de interpretar los resultados de los distintos escenarios consiste en comparar en términos porcentuales los datos del año base contra los obtenidos tras las simulaciones.

Los choques en materia de erosión del suelo usado en la producción agrícola se basaron en simular una reducción en la cantidad de la tierra disponible para realizar dicha actividad (como veremos, el choque fue específico a cada región). La simulación sobre la reducción del agua para irrigación se efectuó para las tres regiones cuyos hogares cuentan con riego: centro, centro-occidente y noreste. Se aplicó una reducción del 19% en la disponibilidad del líquido a partir de las predicciones de la FAO (detalles en la sección 2). Por falta de estimaciones sobre el fenómeno en el plano regional, el mismo porcentaje fue aplicado a las tres regiones.

Antes de exponer los resultados de las simulaciones, conviene hacer mención a la heterogeneidad de las condiciones agroecológicas del país discutidas en la sección 2. Esto se refleja en las estimaciones sobre erosión en el plano regional de la SEMARNAT, que fueron usadas en las simulaciones correspondientes elaboradas para la presente investigación. En específico y a partir de los cálculos de la SEMARNAT, los choques por erosión del suelo aplicados en las simulaciones fueron de 10.6% para la región sur-sureste, de 11.3% para el centro, de 23% en el centro occidente, de 33% para la región noroeste y del 11.3% para el noreste (SEMARNAT, 2008).

Es importante señalar que debido a la construcción del MEGAM, los impactos serán significativamente fuertes para algunas actividades, esto debido a que al reducir la oferta de un insumo productivo, y ya que el salario asociado es determinado de manera endógena, este se incrementará para alcanzar el nuevo equilibrio, encareciendo el costo de producción y reduciendo la cantidad producida. Desde la perspectiva del consumidor, existirían

presiones para aumentar el precio de los bienes; sin embargo, debido a que el precio del bien se fija de manera exógena, se mantendrá constante, evadiendo con ello el posible ingreso originado por el sobreprecio. Por lo tanto, el efecto de reducir un factor de producción solo implicará efectos negativos en los hogares.

4.1. Simulaciones de la erosión de la tierra

4.1.1 Región Sur-Sureste

El cuadro 8 presenta los cambios porcentuales respecto a la base en la producción de la región rural sur-sureste. Como se puede ver, la reducción de la disponibilidad de suelo fértil resulta en una caída en la mayoría de la producción agrícola, ganadera y del resto de las actividades de la región. Dentro de la agricultura, el café es el sector más afectado para todos los hogares que lo producen, y lo mismo sucede con el maíz de temporal para aquellos con predios de más de 5 has. En cuanto a las diferencias del maíz de temporal respecto al de riego, se puede señalar que el segundo demanda menos del factor tierra, pero más del resto de los factores; es por ello que al reducirse el factor tierra, existen diferencias en los niveles de producción entre ellos. En cuanto a las actividades ganaderas, su producción se ve incrementada o permanece constante. La actividad correspondiente al aprovechamiento de los recursos naturales, como el uso de madera, se ve incrementada para el caso del hogar de más de 5 has. Los resultados presentados en el cuadro 8 permiten apreciar que además del café, son las actividades agrícolas de temporal (maíz, frijol y otros cultivos cíclicos) las que sufren los peores estragos con la erosión del suelo.

Cuadro 8. Cambios porcentuales en la Producción por Hogar (2007)

Bienes	(Porcentajes)				
	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Maíz Temporal	31.71		0.09	-0.04	-34
Maíz Irrigado			-1.18	-0.76	28.59
Frijol Temporal			-0.03	-24.2	-26
Frijol Irrigado			-0.01	2.38	
Otros cultivos cíclicos de temporal	-1.67E-13		-3.46E-03	-1.73E-03	-34.8
Otros cultivos cíclicos irrigados			6.17		-0.45

Café			-37.3	-36.8	-35.4
Otros bienes Perennes			-0.5	0	-30.2
Ganado Mayor	4.5		1.11	0	34.3
Traspatio	0		0	0	4.91
Equinos	0		1.70	0	2.29
Comercio y Servicios	0.64	-3.89	11.71	2.64	-45.2
Recursos Naturales	0	0	0	0	69.6
Otros	0	0	0	0	-1.21

Fuente: Elaboración propia, 2015²

El cuadro 9 presenta el impacto en el pago a los factores. Como se puede observar la tierra se encarece un 6% aproximadamente, mientras que los otros factores mantienen prácticamente su costo.

Cuadro 9. Cambios porcentuales en el Pago de Factores por Hogar
(2007)

Factor	(Porcentajes)
Tierra	6.23
Trabajo asalariado	4.44E-13
Trabajo familiar	2.22E-14

Frente al aumento en el precio de la tierra y, en consecuencia, de los costos en la producción agrícola de la región rural sur-sureste, y como tomadores de precios, los hogares modifican sus actividades productivas. En el caso de la agricultura, los hogares productores que siembran maíz en tierras rentadas y de temporal, aumentan su producción y los hogares con predios mayores de 5 hectáreas producen más maíz irrigado. Con respecto a las actividades ganaderas, las demandas de tierra para los hogares se incrementan, absorbiendo la tierra que dejaron de utilizar el resto de las actividades. La erosión de la tierra agrícola impulsa, entonces, al pastoreo.

² Las fuentes de todos los cuadros de la sección 4 son estimaciones propias

Cuadro 10. Cambios porcentuales en la Demanda de Factores por Sector
(2007)

(Porcentajes)

Bienes	Tierra	Trabajo asalariado	Trabajo familiar
Maíz Temporal	-12.55	-8.33	-3.6
Maíz Irrigado	-6.77	23.73	36.18
Frijol Temporal	-42.6	-24.31	-20.53
Frijol Irrigado	-5.87	0.66	0.86
Otros cultivos cíclicos de temporal	-41.3	-13.81	-15.95
Otros cultivos cíclicos irrigados		6.17	4.72
Café	-42.6	-24.7	-18.9
Caña de Azúcar			
Otros bienes Perennes	-37.3	-34.1	-15.78
Ganado mayor	9.16	-1.11	-5.18
Traspatio		0	-3.34
Equinos	7.46		-0.44
Construcción			
Comercio y Servicios		-3.89	-9.04
Recursos Naturales		41.95	26.06
Otros		0	-0.02

En cuanto a los efectos sobre el ingreso real de los hogares, se observa que prácticamente no existen cambios (ver cuadro 11). Esto debido a las modificaciones en las intensidades productivas de cada bien para evitar mayores pérdidas tras la erosión del suelo; y también porque gran parte del ingreso de los hogares rurales de la región no se modifica al ser exógeno, proveniente de salarios recibidos fuera de la región, de las transferencias gubernamentales y de las remesas.

Cuadro 11. Cambios porcentuales en el Ingreso Real (2007)

(Porcentajes)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Ingreso Real	-4.67360E-3,	1.33227E-13,	-4.50257E-3,	-4.39E-03	-0.01

Resulta relevante estimar los efectos en el bienestar de los choques simulados. Para tal fin se utilizó la variación compensada, la cual indica en cuánto hay que modificar el nivel de ingreso del hogar para regresarlo a su nivel de utilidad original antes del experimento. En la región sur-sureste observamos que en general a todos los hogares a excepción de los jornaleros, habría que compensarles de forma monetaria por las pérdidas generadas a partir de la erosión de la tierra (cuadro 12). Es importante notar a partir de este cuadro y en lo que resta de la tesis, que las variaciones compensadas son a nivel agregado para el conjunto de hogares de cada uno de los 5 tipos que se distinguen en el modelo y, debido a la construcción de la MCS por Hernández (2015), no es posible distinguir a nivel per cápita las variaciones compensadas. Sin embargo para el análisis comparativo entre las simulaciones de agua y tierra se podrán inferir las repercusiones que cada degradación tiene sobre el bienestar de los hogares.

Cuadro 12. Variación Compensada

(Unidades)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Variación Compensada	856710	-1.68E-05	1643060	943140	1109290

4.1.2 Región Centro

Respecto a la región rural del centro del país es posible observar caídas en la producción de alimentos, efecto similar al encontrado para la región sur-sureste; sin embargo no se observa una caída de magnitud tan elevada como en dicha región, como se puede ilustrar de manera clara en la producción de frijol de temporal y de café (ver cuadro 13). Esto se puede deber a los efectos de la erosión del suelo en el pago a la tierra, ya que el crecimiento de éste es mínimo en la región centro y elevado en la ubicada en el sur-sureste (cuadro 14).

Cuadro 13. Cambios porcentuales en la Producción por Hogar (2007)

(Porcentajes)

Bienes	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha

Maíz Temporal	4.88E-13		-2.72E-03	-1.87E-11	0
Maíz Irrigado			-8.43E-04	-3.33E-13	3.98E-03
Frijol Temporal	2.22E-14		-2.66E-13	-1.45E-12	4.13E-12
Frijol Irrigado			1.49E-12		
Otros cultivos cíclicos de temporal	1.51E-12		-3.63E-12	-1.94E-12	-2.41E-10
Otros cultivos cíclicos irrigados		0	-1.50E-12	2.09E-11	
Café			4.66E-13	4.15E-12	4.13E-12
Caña de Azúcar				1.76E-11	
Otros bienes Perennes			-1.60E-12	-1.05E-12	-15.2
Ganado mayor	6.22E-13		9.55E-13	-7.06E-12	
Traspatio	4.44E-14			-5.33E-12	
Equinos	4.44E-13		-4.79E-12	-6.66E-14	-15.25
Construcción					
Comercio y Servicios	5.39E-11	3.77E-12	1.30E-11	4.09E-11	-0.35
Recursos Naturales	0.00E+00		0.02	7.77E-13	4.07
Otros		-21.54			

Cuadro 14. Cambios porcentuales en el Pago de Factores por Hogar
(2007)

Factor	(Porcentajes)
Tierra	7.43849E-12
Agua	0.11
Trabajo asalariado	-1.44E-13
Trabajo familiar	-4.44E-14

Con respecto a las demandas de factores por sector se observa de nuevo una reducción en las mismas, sin embargo mucho menor respecto al caso del sur-sureste (ver cuadro 15). Nuevamente, tal diferencia puede deberse principalmente, a que el retorno a la tierra, no se incrementó tan abruptamente como en el sur-sureste; lo cual hace que los hogares reduzcan en una menor proporción su demanda de factores para la producción agrícola afectada por la erosión.

Cuadro 15. Cambios porcentuales en la Demanda de Factores por Sector (2007)
(Porcentajes)

Bienes	Tierra	Trabajo asalariado	Trabajo familiar
Maíz Temporal	-4.15E-12	-1.44E-03	-1.45E-03
Maíz Irrigado	1.12E-03	6.40E-04	3.98E-03
Frijol Temporal	-3.74E-12	-1.35E-12	1.71E-12
Frijol Irrigado	-2.65E-12	9.99E-13	
Otros cultivos cíclicos de temporal	-1.20E-11	-5.40E-11	-6.95E-11
Otros cultivos cíclicos irrigados	8.53E-12	1.79E-11	1.84E-11
Café	-1.03E-12	1.97620E-12	2.73E-12
Caña de Azúcar	1.34E-11		1.78E-11
Otros bienes Perennes	-52.97	-3.24	-2.8
Ganado mayor	-3.43E-12	-7.83E-12	-1.71E-12
Traspatio		-6.11E-12	2.22E-14
Equinos	10.01		16.89
Comercio y Servicios		0.01	-0.08
Recursos Naturales		2.25	2.07
Otros	-3.43E-12	-7.83E-12	-1.71E-12

En el cuadro 16 se observan los cambios porcentuales sobre el ingreso real, los cuales, tras el encarecimiento de los recursos debido a su escasez, afectan de manera negativa a los hogares que poseen tierra.

Cuadro 16. Cambios porcentuales en el Ingreso Real (2007)
(Porcentajes)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Ingreso Real	6.66134E-14,	1.55431E-13,	-3.71136E-3,	-2.24E-03	-0.02

Originado por el efecto negativo sobre el ingreso real en los hogares dueños de predios, los efectos de bienestar, medidos por la variación compensada, señalan que estos tres tipos de

hogares tendrían que ser compensados para regresarlos a su nivel de utilidad original (ver cuadro 17).

Cuadro 17. Variación Compensada

(Unidades)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Variación Compensada	4.65661E-06	1.30E-05	736700	321660	959460

4.1.3 Región Centro Occidente

En el cuadro 18 se exponen los resultados de la simulación sobre la erosión de la tierra en las actividades productivas de la región centro-occidente. En general la producción agropecuaria se reduce y, al respecto, el tipo de hogar más afectado es el poseedor de menos de 2 hectáreas de tierra, sobretodo en su producción de otros bienes perennes. En cuanto a la ganadería, la producción de traspatio se ve incrementada en mayor proporción a diferencia de la región sur-sureste. Por su parte y para el hogar que arrienda tierra, la actividad relacionada a la construcción incrementa considerablemente.

Los resultados muestran que la erosión de la tierra provoca una reasignación de las actividades de los hogares, dentro de su amplio portafolio de actividades disponibles para los hogares, pues al verse afectadas sus producciones agrícolas, se ven aumentadas algunas otras actividades que no utilizan tierra como factor productivo.

Cuadro 18. Cambios porcentuales en la Producción por Hogar (2007)

(Porcentajes)

Bienes	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Maíz Temporal	-1.63	0	-9.81E-05	-0.02	-0.2
Maíz Irrigado	0	0	0	3.34	-0.05
Frijol Temporal	0.65	0	-0.61	0.36	-1.48
Frijol Irrigado	0	0	-0.03	-0.14	0

Otros cultivos cíclicos de temporal	2.22E-14	-1.68E-12	4.00E-02	-4.89E+00	-2.23
Otros cultivos cíclicos irrigados	0	0	-39.4	0	-0.44
Caña de Azúcar	0	0	0.16	0.07	-0.05
Otros bienes Perennes	-9.66	0	-33.22	-2.19	-0.32
Ganado mayor	-6.31		-12.72	-0.82	-0.76
Traspatio	0.18		0.85	4.44E-14	8.88E-14
Equinos	-8.86		3.97E-12	1.33E-13	-41.5
Construcción	36.01		-1.01E-05	-2.81E-12	
Comercio y Servicios	0.08	0.04	4.54	0.08	-22.73
Recursos Naturales	-5.30E-11	4.74	1.63E-11	-6.66E-13	3.11E-13
Otros		-9.66E-13			

El retorno al factor tierra se ve incrementado de forma substancial debido a que es un recurso muy importante para la producción de esta región. Esto se ve reflejado en un aumento a su pago de 18% aproximadamente para el factor que se degradó en el experimento de degradaciones de recursos naturales. A diferencia de las dos regiones previas (sur-sureste y centro) la erosión de la tierra afecta más al pago de dicho factor, ya que se estima que ésta será mayor en el centro-occidente: 33% frente al 11.3% y 23% para las dos primeras regiones respectivamente (ver cuadro 19).

Cuadro 19. Cambios porcentuales en el Pago de Factores por Hogar (2007)

Factor	(Porcentajes)
Tierra	18.21
Agua	0.02
Trabajo asalariado	-1.00E-01
Trabajo familiar	2.22E-14

Los efectos indirectos del choque simulado por la vía de los cambios que provoca en el pago a factores se reflejan en las modificaciones en las demandas de los mismos (ver cuadro 20). La de la tierra para la producción agrícola se reduce debido a su encarecimiento. Sin embargo para algunas actividades, como es el caso de la ganadería de equinos, su demanda de tierra incrementa debido a la reasignación de recursos, pues al ser

un modelo de equilibrio general, la tierra que se deja de utilizar en alguna actividad, se debe ocupar en alguna otra actividad para alcanzar el equilibrio general y la condición de que la oferta sea igual a la demanda. Los efectos de equilibrio general también se traducen en cambios en la demanda de otros factores, destacando los del trabajo, que se desplaza a la producción de maíz irrigado a la construcción y a los recursos naturales.

Cuadro 20. Cambios porcentuales en la Demanda de Factores por Sector (2007)

(Porcentajes)

Bienes	Trabajo			
	Tierra	Agua	asalariado	Trabajo Familiar
Maíz Temporal	-15.57	0	-0.05	-0.18
Maíz Irrigado	-14.36	1.43	2.78	2.86
Frijol Temporal	-16.64	0	-0.95	-0.99
Frijol Irrigado	-15.5	-0.13	-0.02	0
Otros cultivos cíclicos de temporal	-19.38		-2.85	-2.24
Otros cultivos cíclicos irrigados	-16.57	-1.27	-1.37	0
Café	0	0	0	0
Caña de Azúcar	-15.42	0	0.08	-0.01
Otros bienes Perennes	-23.78	0	-7.42	-7.06
Ganado mayor	-21.89		-4.99	-3.91
Traspatio			0.55	2.22E-14
Equinos	29.54			17.23
Construcción				37.43
Comercio y Servicios			0.16	-0.05
Recursos Naturales			4.84	0.5
Otros				-9.55E-13

Respecto al ingreso real de los hogares, las modificaciones son negativas y pequeñas ya que el ingreso exógeno representa una importante proporción del ingreso total de los hogares, y al mantenerse constante, los cambios porcentuales del ingreso generado a partir de su producción no cambian significativamente el ingreso total (cuadro 21).

Cuadro 21. Cambios porcentuales en el Ingreso Real (2007)

(Porcentajes)					
Sin Tierra	Con Tierra				
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Ingreso Real	-0.05	-0.01	-0.07	-2.00E-02	-0.03

La variación compensada para este caso se presenta para todos los hogares de forma positiva, es decir hay que recompensarlos para regresarlos a su nivel original de utilidad, lo cual indica la importancia de la tierra para el bienestar de los hogares de la región centro occidente (cuadro 22).

Cuadro 22. Variación Compensada

(Unidades)					
Sin Tierra	Con Tierra				
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Variación Compensada	7692440	1973490	7777790	3620460	10779050

4.1.4 Región Noroeste

Según datos de la SEMARNAT, la erosión de la tierra en esta región es de 33%, que fue la base de la simulación correspondiente al noroeste.

En general, son bajos los efectos del choque en las actividades productivas de la región, lo cual contrasta con los acontecidos en el sur-sureste. Las excepciones para el noroeste son: la producción ganadera del grupo de hogares con más tierra y la basada en recursos naturales de los hogares jornaleros (ver cuadro 23).

Cuadro 23. Cambios porcentuales en la Producción por Hogar (2007)

(Porcentajes)					
Bienes	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Maíz Temporal			-1.7271E-05		7.77156E-13
Maíz Irrigado				0	3.84137E-12
Frijol Temporal					
Frijol Irrigado				-1.1102E-14	-1.5543E-13
Otros cultivos cíclicos de temporal	0	-1.665E-13	-4.09E-12		7.99361E-13
Otros cultivos cíclicos irrigados	-11.5		5.72875E-12	3.46168E-11	0
Café					
Caña de Azúcar					0
Otros bienes Perennes			2.66454E-13		-3.8858E-13
Ganado mayor	1.41E-11		-8.94E-12	4.44E-14	-13.61
Traspatio	7.46E-12		-7.77E-14		
Equinos			-2.52E-12		
Construcción	-2.11E-13	1.78E-13			
Comercio y Servicios		-7.45E-11		-14.5	
Recursos Naturales		19.76	-3.33E-14		
Otros	-5.55E-14	2.66E-13	1.33E-13		

En parte, el leve impacto de la erosión de la tierra en el noroeste se debe a que el choque simulado afecta poco el pago a los factores de producción (cuadro 24).

Cuadro 24. Cambios porcentuales en el Pago de Factores por Hogar (2007)

Factor	(Porcentajes)
Tierra	1.1102E-14
Trabajo asalariado	-4.77E-13
Trabajo familiar	0.00E+00

Las demandas de factores por sector en esta región no se ven afectadas de manera importante en la mayor parte de las actividades de sus hogares. Esto se debe a que al simular la reducción de la tierra como factor productivo, su retorno cambio muy poco. No obstante, la demanda por tierra para la cría de ganado mayor decreció y la correspondiente

al trabajo también lo hizo (cuadro 25). A lo anterior hay que agregar que crece la demanda de trabajo (asalariado y familiar) para la producción de recursos naturales. Estos cambios son consistentes con los acontecidos en las actividades productivas, ya que la producción de ganado mayor decrece (sobre todo la del grupo de hogar con predios grandes) y la de recursos naturales de los hogares jornaleros (cuadro 23).

Cuadro 25. Cambios porcentuales en la Demanda de Factores por Sector (2007)

(Porcentajes)			
Bienes	Tierra	Trabajo asalariado	Trabajo Familiar
Maíz Temporal	-6.7453E-06	1.19904E-12	-4.85449E-06
Maíz Irrigado	3.19744E-12	4.28546E-12	2.9754E-12
Frijol Temporal			
Frijol Irrigado	2.22045E-13		-1.2212E-13
Otros cultivos cíclicos de temporal	-2.5535E-13	1.22125E-12	-9.881E-13
Otros cultivos cíclicos irrigados	.0938	2.11386E-11	-1.58
Café			
Caña de Azúcar	3.9968E-13		0
Otros bienes Perennes	8.88178E-14		-4.1078E-13
Ganado mayor	-3.72	-9.19	-5.97
Traspatio		7.95E-12	-1.11E-14
Equinos			-7.88E-13
Construcción		6.66E-13	6.66E-14
Comercio y Servicios		-7.40E-11	-2.54
Recursos Naturales		48.43	65.88
Otros		7.55E-13	6.66E-14

En el cuadro 26 se presentan los cambios en el ingreso real que son ligeramente negativos pero cercanos a cero, congruentemente con el escaso encarecimiento de los factores de producción y la poca reducción en la producción de los hogares.

Cuadro 26. Cambios porcentuales en el Ingreso Real (2007)
(Porcentajes)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Ingreso Real	-6.6613E-14,	-1.1102E-13,	-2.54919E-5,	-2.80E-01	-0.52

La medida de bienestar, aproximada por la variación compensada, muestra que a pesar de que el ingreso no se vio afectado de manera directa, si habría que compensar monetariamente a los hogares para regresarles a su curva de indiferencia original, sobre todo para los que tienen tierra, entre los cuales destaca el tipo de hogar con predios mayores a las 5 hectáreas (cuadro 27).

Cuadro 27. Variación Compensada
(Unidades)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Variación Compensada	2.32831E-06	7.45058E-06	130	3033790	12146270

4.1.5 Región Noreste

Como se mencionó arriba y al igual que para el sur-sureste, la simulación consistió en una reducción de la tierra agrícola del 11.3% en el noreste provocada por su erosión y conforme a las estimaciones de SEMARNAT. En general, la producción agrícola de todos los hogares se ve afectada negativamente, así como la actividad ganadera de los hogares con predios más grandes, lo cual provoca cambios en el resto de las actividades de la región, destacando tanto comercio y servicios, como la relacionada con la explotación de los recursos naturales (ver cuadro 28).

Cuadro 28. Cambios porcentuales en la Producción por Hogar (2007)

(Porcentajes)

Bienes	Sin Tierra		Menor a 2 ha	Con Tierra	
	Renta	Jornaleros		Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Maíz Temporal	-0.25		-1.56E-04	-0.05	-0.14
Maíz Irrigado					
Frijol Temporal	0		-0.01	-3.31	-0.03
Frijol Irrigado					-2.00E-03
Otros cultivos cíclicos de temporal	0			-1.10E-01	-0.04
Otros cultivos cíclicos irrigados				-3.74E-04	-0.03
Otros bienes Perennes			-0.01	-2.74E-03	-0.09
Ganado mayor	-1.54		-8.77E-12		-7.41
Traspatio	-5.55E-14		-4.87E-12		2.22E-14
Equinos	-1.58		-1.11E-13		-7.47E-12
Construcción			-1.11E-13		
Comercio y Servicios		7.81	-60		
Recursos Naturales		1.47E-12			11.43

Los cambios en las actividades de la región son causados, sobre todo por el aumento en la renta de la tierra (ver cuadro 29), lo cual se refleja en la reducción generalizada de la demanda de este factor en las actividades agrícolas (cuadro 30).

Cuadro 29. Cambios porcentuales en el Pago de Factores por Hogar (2007)

Factor	(Porcentajes)
Tierra	8.16
Agua	-0.01
Trabajo asalariado	6.66E-14
Trabajo familiar	2.22E-14

Cuadro 30. Cambios porcentuales en la Demanda de Factores por Sector (2007)

(Porcentajes)			
Bienes	Tierra	Trabajo asalariado	Trabajo familiar
Maíz Temporal	-7.62	-0.12	-0.12
Maíz Irrigado			
Frijol Temporal	-9.63	-0.02	-0.07
Frijol Irrigado	-7.55	-2.00E-03	-2.00E-03
Otros cultivos cíclicos de temporal	-7.61	-0.06	-0.03
Otros cultivos cíclicos irrigados	-7.56	-0.03	-0.02
Otros bienes Perennes	-7.61	-0.06	-0.09
Ganado mayor	11.66	-5.91	-4.93
Traspatio			-1.42E-12
Equinos	-9	-7.46E-12	-0.25
Construcción			-3.33E-14
Comercio y Servicios		6.31	0.73
Recursos Naturales		4.74	4.86

En cuanto a los cambios porcentuales en el ingreso real, éstos son negativos pero relativamente pequeños (la mayor reducción la experimenta el grupo de hogar con predios mayores (cuadro 31).

Cuadro 31. Cambios porcentuales en el Ingreso Real (2007)

(Porcentajes)					
	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Ingreso Real	-5.69761E-3	-3.5527E-13	-2.80524E-5	-1.20E-01	-0.02

Finalmente y en cuanto al bienestar de los hogares, éste disminuye a raíz de la erosión de la tierra, por lo que habría que compensarlos monetariamente. Dicha compensación es creciente respecto a la posesión de tierra (cuadro 32).

Cuadro 32. Variación Compensada

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Variación Compensada	367690	-9.31E-07	960	98280	624880

En síntesis, puede concluirse que la erosión de la tierra aumenta su costo y afecta negativamente la producción agrícola en todas las regiones rurales de México. Sin embargo, el efecto difiere por tipo de hogar y por región. Lo primero por la estructura de cada economía regional y por los vínculos entre sus agentes y componentes; y lo segundo porque la erosión difiere entre regiones.

4.2 Simulaciones en la oferta de agua

4.2.1 Región Centro

En cuanto a las simulaciones relacionadas con la escasez del agua, la primera de las 3 regiones para las cuales se tiene el valor económico del agua, es la del centro, la cual, al aplicarle una reducción en la disponibilidad de agua para riego del 19% reduce la producción de cultivos bajo este régimen pluvial (cuadro 33). Destaca el caso del maíz para el grupo de hogar con mayor tamaño de predio, cuya producción del grano bajo riego decrece y es sustituida por la producción del grano de temporal. Asimismo, este tipo de hogar reduce sus actividades comerciales y de prestación de servicios y aumenta la vinculada con los recursos naturales, y lo mismo sucede con esta última actividad por parte de los otros dos grupos de hogar con tierra.

Cuadro 33. Cambios porcentuales en la Producción por Hogar (2007)

Bienes	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Maíz Temporal	-4.70E-12		-0.12	-6.77E-13	20.26

Maíz Irrigado			-2	-1.6	-38.4
Frijol Temporal	0		-6.66E-14	-8.77E-13	-6.33E-13
Frijol Irrigado			-1.07		
Otros cultivos cíclicos de temporal	-1.33E-12		-3.70E-12	-1.01E-12	-7.98E-11
Otros cultivos cíclicos irrigados		4.44E-14	-0.34	-31.93	
Café			-0.1	0.77	3.91
Caña de Azúcar				1.23E-11	
Otros bienes Perennes			-2.66E-13	-1.67E-13	0.3
Ganado mayor	-5.66E-13		2.38E-12	-1.97E-12	-0.77
Traspatio	2.22E-14		-2.22E-14	-2.02E-12	-1.18E-10
Equinos	-1.89E-13		-5.65E-12	-1.33E-13	-1.04
Construcción			-0.4		
Comercio y Servicios	3.97E-11	1.62E-12	2.17E-11	7.14E-11	-19.45
Recursos Naturales	8.70E-10	-3.89E-13	1.07	31.94	58.98
Otros		-2.76E-08	2.66E-12		

En cuanto a los pagos de los factores, se observa como no cambian prácticamente tras haber reducido la cantidad del agua. La excepción es el agua, cuyo costo aumenta. Los retornos salariales a comparación de la simulación de erosión de tierra en la misma región son muy similares (Cuadro 34).

Cuadro 34. Cambios porcentuales en el Pago de Factores por Hogar (2007)

Factor	(Porcentajes)
Agua	0.11
Tierra	5.13E-12
Trabajo asalariado	1.11E-13
Trabajo Familiar	-6.66E-14

El cuadro 35 muestra los cambios en la demanda de factores por actividad, que coinciden con los experimentados por el lado de la producción; es decir: la demanda de agua por parte de la agricultura irrigada se reduce considerablemente. Conviene agregar que el cambio trae consigo un efecto indirecto sobre el uso del trabajo, cuya demanda para la producción

agrícola irrigada se reduce y aumenta la de otras actividades, destacando la relacionada con la explotación de recursos naturales.

Cuadro 35. Cambios porcentuales en la Demanda de Factores por Sector (2007)

Bienes	(Porcentajes)			
	Tierra	Agua	Trabajo asalariado	Trabajo Familiar
Maíz Temporal	20.2		1.09	0.9
Maíz Irrigado	-32.05	-16.05	-29.37	-43.6
Frijol Temporal	-5.50E-12		-6.22E-13	-5.77E-13
Frijol Irrigado	-1.07	-1.18	-1.07	
Otros cultivos cíclicos de temporal	-1.01E-11		-1.87E-11	-2.36E-11
Otros cultivos cíclicos irrigados	-20.32	-30.03	-28.66	-28.04
Café	2		1.31	1.34
Caña de Azúcar	7.19E-12			1.26E-11
Otros bienes Perennes	0.27		9.57E-03	8.28E-03
Ganado mayor	-3.93E-12		-2.34E-12	-0.3
Traspatio			-2.42E-12	-7.60E-11
Equinos	-0.16			-0.27
Construcción				-0.4
Comercio y Servicios			-0.58	-4.22
Recursos Naturales			35.79	33.07
Otros				-4.04E-10

El ingreso real de acuerdo con el cuadro 36 se reduce para los tres hogares con tierras, mientras que para los hogares que no poseen tierra, el ingreso se mantiene prácticamente constante ante la reducción en la disponibilidad de agua.

Cuadro 36. Cambios porcentuales en el Ingreso Real (2007)

	(Porcentajes)				
	Sin Tierra	Con Tierra			
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Ingreso Real	4.44089E-14,	4.44089E-14,	-0.86,	-8.20E-01	-0.67

La variación compensada muestra que hay que cubrir montos razonablemente altos para los hogares con tierra con la finalidad de compensarles su pérdida en bienestar tras el experimento.

Cuadro 37. Variación Compensada

(Unidades)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Variación Compensada	-2.794E-06	-3.73E-06	170155670	117855210	35772810

4.2.2 Región Centro Occidente

Como se había señalado en la sección 3, esta región es muy importante para la agricultura de irrigación pues representa gran parte del producto total agrícola de sus hogares bajo sistema de riego. En general, los signos de los efectos de la simulación son similares a los de la región centro (recordad que se aplicó el mismo choque de agua a las tres regiones con agricultura irrigada, 19%). Sin embargo, los cambios difieren dependiendo de la actividad. De acuerdo con el cuadro 38 el producto más afectado es el de otros cultivos cíclicos irrigados, producidos por hogares con tierra en predios pequeños y grandes. Por otro lado el sector cañero, de otros cultivos perennes y el de ganadería y de traspatio aumentan su producción tras la reducción en la disponibilidad de agua.

Cuadro 38. Cambios porcentuales en la Producción por Hogar (2007)

(Porcentajes)

Bienes	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Maíz Temporal	-0.09		-1.47E-04	3.84	0.91
Maíz Irrigado				3.69	-4.88
Frijol Temporal	2.44		-0.04	1.64	0.09

Frijol Irrigado			-2.55	-10.41	
Otros cultivos cíclicos de temporal	-3.77E-13	-1.72E-12	9.30E-01	1.20E+00	8.68
Otros cultivos cíclicos irrigados			-27.5		-34.33
Café					
Caña de Azúcar			2.07	2.47	3.18
Otros bienes Perennes	9.01		52.34	9.08	0.47
Ganado mayor	1.14		1.57	-0.05	7.49
Traspatio	0.66		3.23	1.28E-11	1.78E-13
Equinos	-0.53		-3.29E-12	1.15E-12	-3.03
Construcción	-51.32		-1.14E-10	4.66E-13	
Comercio y Servicios	0.3	0.15	-2.28	0.3	-34.66
Recursos Naturales	-8.94E-11	18.95	1.66E-11	1.49E-11	7.77E-13
Otros	4.44E-13	9.55E-13			

En cuanto a los cambios porcentuales en el pago de los factores por hogar, se observa que el agua se ve encarecida tras ser más escasa, pues se incrementó en un 0.96% de acuerdo con el cuadro 39. A diferencia de lo sucedido con la región centro, en la centro occidente el pago por tierra crece en un porcentaje casi igual al del agua (0.81%). Lo anterior explica parte de las diferencias encontradas entre las dos regiones en cuanto a la ubicación de los efectos más profundos provocados por la reducción del agua para irrigación.

Cuadro39. Cambios porcentuales en el Pago de Factores por Hogar
(2007)

Factor	(Porcentajes)
Tierra	0.96
Agua	0.81
Trabajo asalariado	-3.60E-01
Trabajo familiar	-1.11E-14

La reducción del factor agua y el aumento en su pago (así como el de la tierra) provocan caídas en su demanda por parte de la agricultura irrigada. También impulsa la sustitución de agua (y tierra) por trabajo asalariado y familiar en la producción de alimentos, incluyendo los de origen animal y los producidos en el traspatio de las viviendas de los hogares (cuadro 40). La excepción es la demanda de trabajo asalariado para la producción

de frijol irrigado y de otros cultivos cíclicos bajo irrigación. Otro efecto de equilibrio general a destacar es el aumento en la demanda de trabajo asalariado para la extracción de recursos naturales y la disminución de la correspondiente al trabajo familiar en la construcción y en el comercio y servicios.

Cuadro 40. Cambios porcentuales en la Demanda de Factores por Sector
(2007)

(Porcentajes)

Bienes	Tierra	Agua	Trabajo asalariado	Trabajo Familiar
Maíz Temporal	0.03		1.35	0.96
Maíz Irrigado	-2.58	-1.89	2.39	2.47
Frijol Temporal	-0.86		0.94	0.2
Frijol Irrigado	-9.22	-8.92	-7.92	
Otros cultivos cíclicos de temporal	0.24		1.53	0.83
Otros cultivos cíclicos irrigados	-35.57	-35.39	-34.77	
Café				
Caña de Azúcar	2.04		3.36	2.98
Otros bienes Perennes	14		13.54	12.31
Ganado mayor	0.46		4.9	3.4
Traspatio			2.07	1.25E-11
Equinos	-2.07			-1.24
Construcción				-53.2
Comercio y Servicios			0.61	-9.24
Recursos Naturales			19.39	2.02

El cuadro 41 indica que el ingreso real en general cae incluso hasta en un 1.9% para el grupo de hogares con predios mayores a 5 hectáreas. Hay que hacer notar que dentro de las tres regiones a las que se les aplicó el experimento, es en el centro occidente en donde la caída de dicho ingreso es la más elevada. En consecuencia, la compensación para que los cinco grupos de hogar mantengan su bienestar ante la reducción de agua para irrigación también lo es (cuadro 42).

Cuadro 41. Cambios porcentuales en el Ingreso Real (2007)

(Porcentajes)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Ingreso Real	-0.06	-0.05	-0.18	-1.19E+00	-1.9

Cuadro 42. Variación Compensada

(Unidades)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Variación Compensada	9855120	7379730	21018300	184736030	609075370

4.2.3 Región Noreste

Los signos de los efectos en las actividades de los hogares rurales del noreste son similares a los de las dos regiones rurales en las que también se aplicó el choque de agua. Sin embargo, los efectos son mucho menores. La salvedad es la producción de otros cultivos irrigados, cuya producción decrece marcadamente como lo hace en la región centro-occidente, pero ahora sólo la del grupo de hogares con predios grandes. Excepción adicional, es la del sector comercio y servicios, que para el grupo de hogares con predios de menos de dos hectáreas se reduce marcadamente (ver cuadro 43)

Cuadro 43. Cambios porcentuales en la Producción por Hogar (2007)

(Porcentajes)

Bienes	Sin Tierra		Menor a 2 ha	Con Tierra	
	Renta	Jornaleros		Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Maíz Temporal	1.32E-03		7.59E-07	2.40E-04	7.42E-04
Maíz Irrigado					

Frijol Temporal	0	6.37E-05	0.02	1.44E-04
Frijol Irrigado				-1.88E+00
Otros cultivos cíclicos de temporal	0.00E+00		6.08E-04	2.40E-04
Otros cultivos cíclicos irrigados			-8.90E-01	-37
Otros bienes Perennes		6.61E-05	1.46E-05	4.97E-04
Ganado mayor	8.26E-03	-2.92E-11		0.04
Traspatio	2.66E-13	-6.69E-12		
Equinos	8.48E-03	-2.78E-13		-2.34E-12
Construcción		-1.39E-12		
Comercio y Servicios	3.51	-44.99		
Recursos Naturales	9.86E-11			

Los pagos a los factores permanecen prácticamente inalterados ante la reducción en la disponibilidad del recurso hídrico, salvo el precio del agua, que se encarece en un 0.74% de acuerdo con los resultados expuestos en el cuadro 44.

Cuadro 44. Cambios porcentuales en el Pago de Factores por Hogar (2007)

Factor	(Porcentajes)
Tierra	-0.04
Agua	0.74
Trabajo asalariado	-1.85E-12
Trabajo familiar	6.66E-14

Los cambios en la demanda de factores siguen el mismo patrón que los correspondientes a las actividades. Por ejemplo la demanda de agua para irrigación cae en las actividades agrícolas (cuadro 45).

Cuadro 45. Cambios porcentuales en la Demanda de Factores por Sector (2007)

(Porcentajes)

Bienes	Tierra	Agua	Trabajo asalariado	Trabajo familiar
Maíz Temporal	0.04		6.53E-04	6.56E-04
Maíz Irrigado				
Frijol Temporal	0.05		1.24E-04	3.56E-04
Frijol Irrigado	-1.84	-2.6	-1.88E+00	-1.88E+00
Otros cultivos cíclicos de temporal	0.04		2.96E-04	1.80E-04
Otros cultivos cíclicos irrigados	-19.5	-20	-37	-21.38
Otros bienes Perennes	0.04		3.33E-04	4.93E-04
Ganado mayor	0.07		0.03	0.03
Traspatio				-1.73E-12
Equinos	0.05		-2.34E-12	1.33E-03
Construcción				-6.22E-13
Comercio y Servicios			2.84	0.33
Recursos Naturales			3.13E-11	2.80E-11

El ingreso real de los hogares de esta región disminuye de manera mínima debido a la ya mencionada importancia del ingreso exógeno en esta región y por ende los efectos de la simulación se reflejan poco en los cambios porcentuales (Cuadro 46).

Cuadro 46. Cambios porcentuales en el Ingreso Real (2007)

(Porcentajes)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Ingreso Real	3.08E-05	-2.00E-13	5.68E-08	-1.10E-01	-0.02

Finalmente el análisis de bienestar nos revela en el cuadro 47 la necesidad de compensar a los hogares con tierra y con predios mayores a las 2 hectáreas.

Cuadro 47. Variación Compensada
(Unidades)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Variación Compensada	-1970	1.40E-05	-3862.32	1614670	1887440

4.3 Reflexiones conjuntas respecto de ambas simulaciones

A partir de los resultados de las simulaciones para estimar los efectos de equilibrio general de la erosión de la tierra y de la reducción en la oferta de agua para irrigación, se concluye que en ambos casos, los impactos son negativos en cuanto a la producción de alimentos, ingreso y bienestar de los hogares. Respecto a la reducción en la producción agrícola afectada por la erosión de la tierra, para la región sur-sureste se reduce en su mayoría salvo la sustitución por parte de los hogares de mayor predio de maíz de temporal por maíz de riego. En cuanto al resto de las actividades, se encuentra que algunas incrementan su producción, como es el caso de la ganadería. En las regiones centro, noroeste y noreste; los cambios por la erosión son negativos pero pequeños. En cuanto a la región centro-occidente los cultivos agrícolas perennes son los más afectados y de igual forma la ganadería y para algunos hogares, crecen sus actividades comerciales y de servicios. En cuanto a las simulaciones de reducción en la oferta de agua, la más afectada es, como era de esperarse, la producción de bienes agrícolas de irrigación, esto es lo que aplica tanto para las regiones centro, centro-occidente y noreste, que son para las que se contó con información para elaborar el experimento. En las tres regiones aumenta la producción de cultivos de temporal compensando al menos en parte la reducción de los cíclicos bajo riego.

En el cuadro 48 se muestran las diferencias de las variaciones compensadas por tipo de simulación, región y hogar. Estas comparaciones, como se había mencionado anteriormente no son posible observarlas a nivel individual, pero si por grupo de hogar. Lo cual permite poder comparar entre simulaciones para conocer los impactos de cada una. Como se puede

observar, en general los hogares más afectados son los propietarios de predios menores de 2 has y los de mayores de 5 has. Por otro lado los hogares menos afectados son los jornaleros, esto se debe, principalmente a que no poseen tierra agrícola y, a que, ante la caída en la producción agrícola encuentran empleo en otras actividades.

Cuadro 48. Variaciones compensadas de ambas simulaciones
(Unidades)

	Sin Tierra		Con Tierra		
	Renta	Jornaleros	Menor a 2 ha	Entre 2 y 5 ha	Más de 5 ha
Simulaciones de erosión de la tierra					
Sur-sureste	856,710.00	- 0.00	1,643,060.00	943,140.00	1,109,290.00
Centro	0.00	0.00	736,700.00	321,660.00	959,460.00
Centro-occidente	7,692,440.00	1,973,490.00	7,777,790.00	3,620,460.00	10,779,050.00
Noroeste	0.00	0.00	130.00	3,033,790.00	12,146,270.00
Noreste	367,690.00	- 0.00	960.00	98,280.00	624,880.00
Simulaciones de reducción en la oferta de agua					
Centro	- 0.00	- 0.00	170,155,670.00	117,855,210.00	35,772,810.00
Centro-occidente	9,855,120.00	7,379,730.00	21,018,300.00	184,736,030.00	609,075,370.00
Noreste	- 1,970.00	0.00	- 3,862.32	1,614,670.00	1,887,440.00

En cuanto a magnitud, los impactos de la reducción en la oferta de agua son mayores que los de la erosión de los suelos en las regiones en las que se aplicó la primera simulación. Puede inferirse, a partir de estos resultados, que el impacto negativo en el bienestar de los hogares es mayor en el caso de la escasez del agua debido a que ante la erosión de los suelos es más factible, tecnológicamente, compensar la pérdida de suelo fértil con mayor uso de mano de obra.

5. Conclusión

Ante la importancia que tienen el agua y la tierra fértil como insumos productivos para el sector agrícola, y en consecuencia para la producción de alimentos, sumada al agotamiento natural de estos recursos, es importante analizar sus efectos. Una forma de hacerlo es mediante un modelo de equilibrio general microeconómico el cual permite capturar los impactos tanto directos como indirectos que la escasez de recursos naturales tendría sobre el nivel de producción, ingreso y bienestar de los hogares rurales de México. Esto fue el objetivo de la presente investigación, la que se enriqueció al contar con la información para las cinco regiones rurales del país y, con ello, estimar los efectos microeconómicos de equilibrio general provocados por la erosión de los recursos naturales en contextos regionales disímiles.

Los resultados muestran que, en efecto, la reducción en la calidad y disponibilidad de insumos productivos provenientes de la naturaleza, afectará las posibilidades de producción de los hogares rurales agrícolas, no sólo empeorando sus condiciones de vida, sino afectando la producción de alimentos en México.

Es importante resaltar que la escasez de agua tiene un impacto mayor en todos los casos analizados, pues la poca posibilidad de sustitución del recurso por algún otro factor productivo la hace más agresiva al bienestar de los hogares. Sin embargo ambas degradaciones tienen impactos en el bienestar de los hogares rurales y debido a sus condiciones de vulnerabilidad es necesario atender dichos problemas. En términos de políticas es importante actuar; con medidas de mitigación para evitar la continua degradación de los recursos naturales, así como con acciones que promuevan la adaptación de los hogares rurales a tal cambio, profundizado por el fenómeno del cambio climático.

Es importante resaltar las diferencias entre los dos tipos de experimentos, pues como observamos en las variaciones compensadas expuestas, los impactos negativos de la reducción del agua para irrigación son mayores sobre el bienestar de los hogares. A partir de dichos resultados puede argumentarse que ante la erosión de la tierra, pudieran surgir medidas para abatir el daño, como el aumento en la intensidad del uso del trabajo. Por el contrario ante una reducción en la disponibilidad del agua, difícilmente se podrá sustituir

con el resto de los factores productivos para alcanzar el mismo nivel productivo. Por lo que las políticas encaminadas a la protección del agua deben atenderse con mayor prioridad, pues de no hacerlo los costos pudieran ser muy altos.

Los resultados del ejercicio de simulaciones realizados en el presente estudio dan cuenta de la enorme heterogeneidad que hay entre hogares y regiones rurales de México y, en consecuencia, de las marcadas diferencias de los efectos de equilibrio general provocados por el deterioro de los suelos y por la reducción del agua para irrigación. Esto significa que las políticas encaminadas a mejorar la producción de alimentos por parte de los hogares rurales deben ser focalizadas, es decir, tomar en cuenta las condiciones agroecológicas y económicas de la producción de alimentos en cada región.

Anexo 1. Ecuaciones del Modelo

El modelo de la presente tesis consiste en cuatro grupos de ecuaciones: las ecuaciones de producción, las de ingreso de los hogares, las de gasto, y un conjunto de ecuaciones de cierre para alcanzar el equilibrio general.

Producción:

Los hogares son asumidos como agentes maximizadores de beneficios, mediante una función que representa su tecnología productiva de la siguiente forma:

$$Q_{h,i} = A_{h,i} \prod_i F_{h,i}^{\alpha_{h,i}} \quad | \quad \sum_i \alpha_{h,i} = 1$$

Donde $Q_{h,i}$ es la cantidad producida del bien i por el hogar h , $A_{h,i}$ es el parámetro de eficiencia, $F_{h,i}$ son los factores de producción $\alpha_{h,i}$ es la proporción en que se usa cada factor productivo para generar valor agregado. Adicionalmente observamos que las proporciones de los factores deben sumar uno para mantener rendimientos constantes a escala

Ingreso:

El ingreso de los hogares se compone de 3 componentes.

$$Y_h = \sum_i (\pi_i) + \sum_{of} (w_{of} f_{of}) + \bar{Y}_h$$

El primer componente es el ingreso generado a partir de los beneficios obtenidos por la producción de los hogares rurales. La segunda parte de la ecuación corresponde al pago de los factores, de los cuales, los hogares son los propietarios y por lo tanto reciben el correspondiente pago de sus rentas. Finalmente los hogares reciben un ingreso exógeno, que corresponde a transferencias exógenas de ya sea por parte de otros hogares o del gobierno.

Gasto:

El consumo de los hogares rurales se asume a partir de la maximización de una función Cobb-Douglas, la cual representa la utilidad generada recibida por parte del consumo de los bienes producidos en la región.

$$U_h(X_{h,i}) = \prod_i X_{h,i}^{\beta_{h,i}}$$

Donde $X_{h,i}$ son los i bienes consumidos por parte del hogar h y $\beta_{h,i}$ es la proporción del gasto de consumo en cada bien.

Restricciones de equilibrio general:

Las reglas de cierre que permiten alcanzar el equilibrio en un modelo de equilibrio general es asegurar que las ofertas sean igual a las demandas. Para llevar a cabo las condiciones de vacío de mercado en este modelo se toma en cuenta el excedente comercial de cada bien, el cual representa la diferencia entre la cantidad producida y consumida por parte de cada hogar.

$$MS_i = \sum_h (Q_{h,i} - X_{h,i})$$

Por otro lado también es necesario realizar el mismo análisis para los factores de producción.

$$FMS_i = \sum_h (\sum_i FD_{h,i} - FS_i)$$

Ambas ecuaciones podrían determinar los excedentes de los bienes o de los factores en la región correspondiente si los precios fueran determinados de manera exógena, lo cual permitiría que la diferencia entre oferta y demanda se ajuste para alcanzar el equilibrio. En cambio, si los precios fueran endógenos, los excedentes de mercado serían fijos e iguales a cero, pues lo que se ajustaría serían los precios para alcanzar el equilibrio.

Estas ecuaciones de vacío de mercado son muy importantes en los modelos de equilibrio general de regiones rurales, pues nos permiten modelar en el caso de los factores, los

precios endógenos si no hay forma de que se puedan ofrecer sus factores productivos al exterior de la región. En el caso de los bienes y servicios, si no existe mercado debido a los altos costos de transacción, estas ecuaciones nos permiten modelar que los precios sean endógenos y que al no existir mercado para su comercio, la oferta es igual a la demanda.

Bibliografía:

Aragón, G. (2009). Efectos de equilibrio general de choques exógenos en el sector irrigado de la agricultura mexicana. CEE. El Colegio de México.

Albiac, J. (2003). Water and Agriculture Sustainability. OECD. Technology and engineering.

Aune J., Glomsrod, S., Iversen V., Wiig, H. (1997). Structural Adjustment and Soil Degradation in Tanzania. Statistics Norway Research Department.

Cerón, H. (2012) El rol de la diversificación de ingresos de los hogares y de las actividades no agropecuarias, en la desigualdad y pobreza del sector rural de México. El Colegio de México.

Coxhead, I., Jayasuriya, Siria. (1994). Technical Change in Agriculture and Land Degradation in Developing countries: A General Equilibrium Analysis.

Coxhead, I., Jayasuriya, Siria. (1995). Trade and Tax Policy Reform and the Environment: the Economics of Soil Erosion in Developing Countries.

De Franco, M., Glomsrod, S., Hoes, H., Johnsen, T., Marín, E., (1993) Soil erosion and economic growth in Nicaragua

De Janvry, A., A. Fargeix, and E. Sadoulet, 1992, The Political Feasibility of Rural Poverty, Journal of Development Economics 37:351-367.

FAO. 2009. Los desafíos de la escasez y el cambio climático. Recopilado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0765s/i0765s13.pdf>

FAO. (2014). La Agenda de Desarrollo Post 2015 y los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Retrieved from: <http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/sustainable-agriculture/es/>

Harrison, G.W., T.F. Rutherford, and I. Wooten, 1989, The Economic Impact of the European Community, American Economic Review 79:288-294.

Harrison, G.W., T.F. Rutherford, and I. Wooten, 1991, An Empirical Data base for A General Equilibrium Model of the European Communities, Empirical Economics 16:95-120.

Hernández-Solano Alan (2015). "Pobreza y cambio climático: el caso de México", avance de tesis doctoral, CEE, El Colegio de México

Hertel, T. W. (2002). Chapter 26 applied general equilibrium analysis of agricultural and resource policies. Handbook of agricultural economics (pp.1373-1419). Elsevier.

Hertel, T. W., E. Ianchovichina, and B. McDonald, 1997, Multi-region General Equilibrium Modeling, chapter 9 in: J. Francois and K. Reinert, eds., Applied Methods for Trade Policy Analysis: A Handbook (New York: Cambridge University Press).

INEGI. 2011. Cuéntame. Recopilado de: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/usos.aspx?tema=T>

INEGI. 2009. Información Económica de Coyuntura. Recopilado de: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>

Komen, M.H.C. and J.H.M. Peerlings, 1995, Effects of Manure Policies in the Netherlands, paper presented at the 6th CGE Modeling Conference: Waterloo, Oct. 26-28.

Komen, M.H.C. and J.H.M. Peerlings, 1998, Environmental Indicators in an AGE Framework - Effects of the Dutch 1996 Energy Tax on Agriculture, in: M. Brockmeier, J.F. Francois, T.W. Hertel and P.M. Schmitz, eds., Economic Transition and the Greening of Policies: Modeling New Challenges for Agriculture and Agribusiness in Europe (Kiel: Vauk).

Legg, W. and L. Portugall, 1997, How Agriculture Benefits the Environment The OECD Observer, No. 205, April/May.

Luckmann, J., Siddig, K., Flaig, D., Grethe, H., (2011) A general equilibrium approach to model water scarcity in Israel.

Martin, W. and L.A. Winters, 1996, The Uruguay Round and the Developing Countries (Cambridge University Press).

Marinos, T., Gray, D., Krissoff, B. (1997). Harmonization of Environmental Standards in the Western Hemisphere: General Equilibrium Calculations

Perroni, C. and R. Wigle, 1994, International Trade and Environmental Quality: How Important are the Linkages? Canadian Journal of Economics 27(3):551-567.

Rendleman, C. Mathew, (1993). Agrichemical Reduction Policy, Journal of Agricultural Economics Research 43(3):7-12.

Robinson, S., Cattaneo, A. y El-Said, M. (2000). Updating and estimating a Social Accounting Matrix Using Cross Entropy Methods. International Food Policy Research Institute.

Robinson, S., M.E. Burfisher, R. Hinojosa-Ojeda, and K.E. Thierfelder, 1993, Agriculture in a U.S.-Mexico Free Trade Agreement: A Computable General Equilibrium Model with Migration and Farm Programs, Journal of Policy Modeling, February.

SEMARNAT. 2008. La degradación de los suelos. Recopilado de http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/03_suelos/cap3_2.html

Shively, G.E., 1997, Erosion and Income Dynamics in a Watershed-Based Model of Tropical Agriculture, paper presented at the meetings of the Soil and Water Conservation Society, Toronto, July 23.

Taylor, J. E., Dyer, George A. and Yúnez-Naude, Antonio. Disaggregated Rural Economywide Models for Policy Analysis 2005

UNFPA. (2005). Linking Population, Poverty and Development. Environmental Sustainability: Population, Poverty and the Environment. Recopilado de: <http://www.unfpa.org/pds/sustainability.htm>

UNWATER. 2014. Agricultural water consumption is expected to increase by 19 percent by 2050.

World Bank. (2014). Agriculture Overview. Recopilado de: <http://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/overview#1>

WWF. 2014. Informe planeta vivo. Recopilado de: http://www.footprintnetwork.org/images/article_uploads/Informe-PlanetaVivo2014_LowRES.pdf

Yúnez, A. (1995). Medio ambiente Problemas y soluciones. México: El Colegio de México

Yúnez, A., Taylor, E. (1999). Manual para la elaboración de matrices de contabilidad social con base en encuestas socioeconómicas aplicadas a pequeñas poblaciones rurales. México. El Colegio de México.

Yúnez Naude A. y L. G. Rojas. 2008. Perspectivas de la agricultura mexicana ante reducciones en la disponibilidad de agua para irrigación: un enfoque de equilibrio general. Capítulo 9 en *El agua en México: Consecuencias de las políticas de intervención en el sector*. El trimestre económico. Fondo de Cultura Económica. 2008. Pags. 183-211

Zinser, L., Miranowski, J., Shortle, J., Monson, M. (1985). Effects of rising relative energy prices on soil erosion and its control. Oxford University. (pp. 558-562).