

Uso de suelo del sector primario
desde la perspectiva
del consumo en México (2018).
Un enfoque multisectorial
de insumo-producto*

Land use of the primary sector
from the perspective of consumption
in Mexico (2018). A multisectorial
input-output approach

*Lilian Albornoz Mendoza,
Alfonso Mercado García
y David Mendoza Tinoco***

ABSTRACT

The objective of this paper is to quantify the land use from the primary activities in terms of consumption in Mexico. To do this, we assign data on the land use for agriculture, livestock, productive forestry, and aquaculture to the primary economic activities represented in the 2018 input-output table. Also, the input-output model of land use is complemented with statistical information from the import matrix and the social accounting matrix of 2018. The results indicate that the land footprint amounts to 61 745 416 hectares and 0.49 hectares per capita. This means that

* Artículo recibido el 18 de octubre de 2022 y aceptado el 18 de abril de 2023. La investigación que se presenta en este artículo fue llevada a cabo durante 2022. Su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores.

** Lilian Albornoz Mendoza, Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán, México (correo electrónico: lilian.albornoz@correo.uady.mx). Alfonso Mercado García, Centro de Estudios Económicos, El Colegio de México, Ciudad de México (correo electrónico: amercado@colmex.mx). David Mendoza Tinoco, Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Coahuila, México (correo electrónico: d.mendoza@uadec.edu.mx).

73% of the land footprint is represented by land areas within our country and 27% by areas in other countries. The land demand derived from the consumption of the population in Mexico is greater than the land areas used in the production of primary activities. This study has two limitations: one referred to the assumptions of the input-output model and another, to the concept of land use. The originality and value of the article consist in analyzing the demand for land for food production in Mexico, which represents the greatest threat to the conservation of terrestrial ecosystems and the ecological services that emanate from it.

Keywords: Land footprint; single region model; land use; sustainable development; input-output; food production. *JEL codes:* C67, Q01, Q24, Q57.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es cuantificar el uso de suelo del sector primario en términos del consumo en México. Para ello, se asignan datos sobre áreas del uso de suelo para la producción agrícola, pecuaria, forestal y acuícola a las actividades económicas primarias representadas en la matriz de insumo-producto de 2018 del país. Además, el modelo de insumo-producto del uso de suelo se complementó con la información estadística proveniente de la Matriz de Importaciones y la Matriz de Contabilidad Social de 2018. Los resultados indican que la huella de suelo de la actividad del sector primario asciende a 61 745 416 hectáreas y 0.49 hectáreas per cápita. Esto implica que 73% de esta huella de suelo está representada por áreas dentro del país y 27% por áreas en otros países. La demanda derivada de suelo correspondiente al consumo de la población en México es mayor a las áreas de suelo empleadas en la producción doméstica de las actividades primarias. Este estudio tiene dos limitaciones: una referida a los supuestos del modelo de insumo-producto y otra, al concepto sobre el uso de suelo. La originalidad y el valor del artículo consisten en analizar la demanda de suelo para la producción de alimentos en México, la cual representa la mayor amenaza para la conservación de los ecosistemas terrestres y los servicios ecológicos que de ella emanan.

Palabras clave: huella de suelo; modelo unirregional; uso de suelo; desarrollo sostenible; insumo-producto; demanda de alimentos. *Clasificación JEL:* C67, Q01, Q24, Q57.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas terrestres en México han sufrido un proceso sostenido de degradación y pérdida.¹ De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2019), una parte importante de las áreas forestales se ha convertido en tierras agrícolas, pastizales inducidos y zonas de explotación forestal y urbanas. De 1976 a 2019, se han perdido 871 721 hectáreas de bosque, 7 745 793 hectáreas de selva, y de 1976 a 2014, 3 918 954 hectáreas de matorrales (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2019; Semarnat, 2019). Al mismo tiempo, el área agrícola ha aumentado en 6 726 483 hectáreas, y la de pastizal inducido o cultivado para el sector pecuario, en 4 654 392 hectáreas.² De estos ecosistemas, los más amenazados en el país han sido las selvas, las cuales han sufrido la mayor pérdida, debido a que la expansión de la agricultura y la ganadería se ha realizado principalmente a costa de ellas.

En general, la demanda de suelo para la producción de alimentos representa la amenaza de mayor magnitud a la integridad de los ecosistemas terrestres y sus servicios a escalas mundial y local, lo que impulsa al sistema natural más allá de sus límites planetarios (Foley et al., 2011; Campbell et al., 2017; Millenium Ecosystem Assessment [MEA], 2005).

En 2019 alrededor de 12% de la superficie terrestre libre de hielo representaba áreas de cultivo y 25%, áreas de pastizal, es decir, en suma, 37% de la superficie terrestre del planeta se ha orientado a satisfacer la demanda creciente de alimentos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021). En México, en el mismo año, alrededor de 17% de la superficie del país se destinaba a cultivos; 10% a pastizales inducidos o cultivados, es decir, en suma, 27% de la superficie

¹Para la Semarnat (2019), las superficies perdidas y las degradadas representan fenómenos distintos. Las segundas se refieren a la perturbación provocada por el cambio de vegetación primaria a vegetación secundaria. La vegetación primaria mantiene su biodiversidad y sus servicios ecológicos intactos, mientras la vegetación secundaria ha perdido especies y funciones. Según Steffen et al. (2015), la degradación del ecosistema obedece a los usos de suelo que no alteran su cobertura, pero conducen a una persistente pérdida en la productividad del ecosistema. En cambio, la superficie perdida comprende la disminución en la superficie de las tierras con vegetación natural (primaria o secundaria).

²De acuerdo con los datos de la Semarnat (2019) y la Conafor (2019), en México, hasta 2019, se habían perdido 27% de los bosques, 43% de las selvas y 35% del manglar, y hasta 2014 se había perdido 11% de los matorrales. Además, los ecosistemas naturales que todavía se conservan presentan signos de perturbación y degradación.

terrestre se usaba para cubrir la demanda de alimentos, forraje, fibras y energía (biocombustibles), a fin de satisfacer los requerimientos de la población del país y de los mercados nacionales e internacionales.

Los ecosistemas terrestres son importantes por ser fuentes de biodiversidad (genética, de especies de plantas y animales) y por los servicios ambientales que ofrecen. Los servicios biofísicos que presta la naturaleza son cuatro: *a)* de aprovisionamiento, como proveedora de materias primas y energía para la producción de bienes y servicios; *b)* de regulación (del clima, por ejemplo); *c)* de soporte de vida (ciclo de nutrientes, formación de suelo, entre otros), y *d)* servicios culturales para la recreación (MEA, 2005). La comunidad internacional ha reconocido que el bienestar humano depende de estos servicios (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015), los cuales están siendo amenazados por el incremento exponencial en las actividades humanas.

Según Campbell et al. (2017), las tendencias históricas implican que para 2050 aproximadamente 8% de la superficie terrestre libre de hielo se desmontará a fin de satisfacer la creciente demanda de alimentos. Adicionalmente, el aumento de la clase media y su creciente consumo per cápita están relacionados con mayores niveles de presión y degradación ambiental (O'Neill, Fanning, Lamb y Steinberger, 2018).

De acuerdo con Rockström et al. (2009: 17), “La humanidad puede estar llegando a un punto en el que una mayor expansión de las tierras agrícolas a una escala global puede amenazar gravemente la biodiversidad y socavar la función de regulación de la biósfera afectando los sistemas climáticos y el ciclo hidrológico”. Estos autores sostienen que no se debe convertir más de 15% de la superficie terrestre libre de hielo a nivel planetario en tierras de cultivo. En este mismo sentido, Nykvist et al. (2013) sugieren limitar la conversión nacional en tierras de cultivo a 15% de la superficie terrestre disponible. A escalas global y local, la meta debe enfocarse en minimizar el cambio del uso de suelo y los impactos ambientales de los usos de suelo corrientes (la eutrofización, la erosión del suelo y la pérdida de biodiversidad, entre otros).

Una forma de evaluar el impacto de una sociedad en los ecosistemas terrestres es a partir de la elaboración de inventarios del uso de suelo y de la contabilidad de la ocupación y los usos del suelo (Semarnat, 2019). En México los inventarios del uso de suelo y vegetación son elaborados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) desde 2001 hasta la fecha, y comprenden las publicaciones conocidas como la *Carta de vegeta-*

ción primaria potencial, así como las *Cartas de uso de suelo y vegetación, Serie I* (1968-1986), *Serie II* (1993), *Serie III* (2002), *Serie IV* (2007), *Serie V* (2011) y *Serie VI* (2014). Toda esta información estadística es también publicada por la Semarnat (2019).

Asimismo, la investigación académica basada en la contabilidad de la ocupación y los usos del suelo se ha incrementado en décadas recientes (Bicknell, Ball, Cullen y Bigsby, 1998; Costello, Griffin, Matthews y Weber, 2011; Franco-Solís y Montaña, 2021; O'Brien, Schütz y Bringezu, 2015; Salvo et al., 2015; Yu, Feng y Hubacek, 2013; Arto Olaizola, Genty, Rueda Cantuche, Villanueva Krzyzaniak y Andreoni, 2012; McDonald y Patterson, 2004; Han y Chen, 2018), especialmente desde que Wackernagel et al. (1999) desarrollaron un indicador de sostenibilidad denominado "huella ecológica", expresado en hectáreas globales per cápita.

En México no se tiene registro de publicaciones que aborden la contabilidad del uso de suelo desde el consumo mediante un análisis de insumo-producto. Sin embargo, el tema es importante a escalas nacional y local, debido a los impactos que la ampliación de la frontera agropecuaria en el país está teniendo sobre la naturaleza en general y más específicamente en la biodiversidad. Además, el crecimiento de la población y el incremento de los ingresos de la clase media tienden a elevar la demanda de alimentos, y el cambio a un patrón de consumo que incluye mayor cantidad de proteína animal y lácteos impacta en mayores presiones para la intensificación de la producción de alimentos en el país y sus implicaciones en términos de sostenibilidad ambiental.

Además de esta falta de investigación, hay un debate en la comunidad científica internacional sobre la relevancia de la contabilidad del uso del suelo a nivel sectorial (Costello et al., 2011). La crítica más relevante concierne a que el uso de suelo representa un uso potencial, no efectivo, de las áreas a fin de sostener la producción y el consumo de la población en un determinado periodo. Implícitamente, en línea con Costello et al. (2011), el presente artículo propone tratar las hectáreas destinadas a la producción del sector primario en el año corriente y los años anteriores, que forman parte de los registros estadísticos actuales del uso de suelo, lo que equivale al área máxima de producción en el periodo estudiado, ya que las hectáreas mantienen su vocación productiva en tal lapso.

Por otro lado, los críticos (Schaffartzik et al., 2015) también argumentan que otra de las deficiencias del método es que el desarrollo de indicadores

cuantitativos sobre el uso de suelo a nivel sectorial a una escala espacial amplia (nacional, en este caso) o que agrupan diversos tipos de ecosistemas es inadecuado para fines de monitoreo ambiental. De acuerdo con Schaffartzik et al. (2015), cuando se mide el suelo en unidades de área, como hectáreas o kilómetros cuadrados, se excluye información sobre la productividad de la tierra o la intensidad de su uso. Además, la variabilidad espacial en el clima y las propiedades físicas asociadas con la localización particular del suelo ocupado conducen a impactos ambientales diferenciados,³ incluso si se considera la misma actividad económica en distintas localizaciones geográficas.

A pesar de estas críticas, la investigación académica internacional relacionada con la contabilidad del uso de suelo, desde la perspectiva multisectorial de insumo-producto, ha tenido un auge importante en años recientes. La huella ecológica fue el primer indicador expresado en hectáreas de tierra que distinguía entre las requeridas en la producción de bienes y servicios y aquellas incorporadas de manera virtual en los bienes de consumo de la población de un país (Wackernagel et al., 1999; Borucke et al., 2013).

En particular, la huella ecológica se expresa en hectáreas globales de tierra y comprende las hectáreas de bosque necesarias para absorber las emisiones de dióxido de carbono, además de aquellas requeridas en el establecimiento de cultivos, la ganadería extensiva, la explotación forestal y el soporte de las actividades industriales, comerciales y de servicios. De esta manera, la huella ecológica sintetiza la información concerniente a la demanda de tierra requerida para sostener el consumo y absorber los desechos y las emisiones de la población de un territorio en un año, donde sea que se encuentre dicha tierra (dentro o fuera del territorio nacional). La medición de las huellas ecológicas está basada en la cuantificación del consumo aparente de un país.

El trabajo pionero de Bicknell et al. (1998) estableció una propuesta metodológica alterna a la formulada por Wackernagel et al. (1999) para calcular las huellas ecológicas. Esta propuesta se basa principalmente en el modelo unirregional de insumo-producto⁴ y en datos sobre el uso de suelo a nivel

³ No está clara la relevancia de un indicador agregado de uso de suelo, puesto que los distintos usos de suelo ocurren en ecosistemas muy diferentes.

⁴ El análisis multisectorial de insumo-producto permite establecer la relación de interdependencia entre las estructuras de producción y consumo de la economía de un país o una región. Es una técnica que permite incorporar los requerimientos directos e indirectos de insumos intermedios y primarios en la producción de bienes y servicios a lo largo de las cadenas de suministro nacionales y del exterior.

sectorial, y se aplica a Nueva Zelanda en 1991. Por otra parte, Ferng (2001) ajusta los cálculos realizados por Bicknell et al. (1998) para la huella ecológica de Taiwán en 1991. El autor utiliza la matriz de insumo-producto de dicho país, así como cifras provenientes de balances de energía, del Censo Industrial y Comercial y el Anuario Agrícola, publicados por el gobierno de Taiwán.

Posteriormente, en la misma línea, Wiedmann, Minx, Barrett y Wackernagel (2006) proponen una nueva metodología de cálculo mediante un conjunto diferente de información: las cuentas de las huellas nacionales publicadas por Global Footprint Network (en sustitución de los datos del uso de suelo) como punto de partida. También usan las tablas de oferta y utilización del Reino Unido en el 2000.

A partir de las publicaciones de Wiedmann, Lenzen, Turner y Barrett (2007) y Turner, Lenzen, Wiedmann y Barrett (2007), empezó a surgir una línea de investigación vinculada con el desarrollo de modelos multirregionales, en contraposición a los modelos unirregionales, para el cálculo de huellas ecológicas. Además, surgieron otras propuestas para el cálculo de huellas de suelo (Hubacek y Giljum, 2003; Costello et al., 2011; Salvo et al., 2015) que reflejan áreas de suelo reales. Ello difiere de la huella ecológica, que comprende el uso de suelo real y el virtual, y este último se asocia con las áreas forestales requeridas para la absorción de emisiones de dióxido de carbono.

La literatura relacionada con el cálculo de huellas de suelo en sus distintas variantes mediante modelos multirregionales de insumo-producto es la que ha tenido mayor auge en los años recientes (Wilting y Vringer, 2009; Steen-Olsen, Weinzettel, Cranston, Ercin y Hertwich, 2012; Arto et al., 2012; Yu et al., 2013; Weinzettel, Hertwich, Peters, Steen-Olsen y Galli, 2013; Chen y Han, 2015; Franco-Solís y Montanía, 2021). La fortaleza de las investigaciones relacionadas con el empleo de modelos multirregionales, a diferencia de los unirregionales, está enfocada en la medición de los requerimientos directos e indirectos del uso de suelo a lo largo de la cadena global de valor, e identifica la región de origen del suelo incorporado en las importaciones de bienes y servicios de un país.

Por ejemplo, Arto et al. (2012) usan un modelo multirregional de insumo-producto a fin de calcular la huella de suelo promedio mundial, la cual

En este sentido, el análisis multisectorial de insumo-producto contribuye a la consistencia de los cálculos al determinar la demanda de suelo considerando la cadena completa de suministro en la producción de bienes y servicios.

resulta de 1.07 hectáreas per cápita en 2008. Para ello, los autores consideran los siguientes tipos de suelo: tierra cultivable, cultivos permanentes, pastizales y producción forestal. De acuerdo con los resultados de los autores, China resulta con una huella de 0.5 hectáreas per cápita, la India de 0.19, los Estados Unidos de 2.4 y Brasil de 2 hectáreas.

Por otra parte, Bringezu, O'Brien y Schütz (2012) sugieren que el nivel sostenible de la huella de suelo agrícola (*cropland*) corresponde a 0.2 hectáreas per cápita como indicador de sostenibilidad con referencia a 2030. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2014) adoptó esta sugerencia como referencia en el reporte del Grupo de Trabajo sobre Tierra y Suelos del Panel Internacional de Recursos, titulado *Análisis del uso de suelo global: equilibrando el consumo con el suministro sostenible*. Se considera que este nivel del uso de suelo agrícola está alineado a la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Una ventaja de los modelos multirregionales, como los señalados anteriormente, es que ofrecen en detalle los flujos del comercio exterior entre países a nivel sectorial, de tal manera que puede identificarse si existe un intercambio ecológico desigual. El concepto de intercambio ecológico desigual se basa en el enfoque teórico del intercambio desigual, con base en las relaciones muy asimétricas entre los países más desarrollados y los menos desarrollados. En esta asimetría, aquéllos alcanzan grandes ventajas ambientales a costa de los últimos, a través del comercio internacional y otras relaciones estructurales. En tales condiciones, los bienes y los servicios comerciados entre países incorporan recursos naturales e impactos ambientales que terminan por beneficiar a unos países a expensas de otros — véase Jorgenson (2016: sección 3) —. Por ejemplo, Oppon, Acquaye, Ibn-Mohammed y Koh (2018) aplican este enfoque para calcular el intercambio ecológico entre el Reino Unido y 27 países de África en términos del uso de suelo, consumo de agua y emisiones de carbono. Los autores encuentran un marcado desequilibrio en el intercambio entre el Reino Unido y la región de África en favor del primero.

Por otra parte, como se comentó inicialmente, el análisis del uso de suelo en México, desde un enfoque multisectorial de insumo-producto, no ha sido abordado hasta ahora. En tal sentido, este artículo busca contribuir al tema mediante el desarrollo de un modelo unirregional de insumo-producto, con el fin de medir el uso de suelo del sector primario desde la perspectiva del

consumo (huella de suelo) y compararlo con el uso de suelo ocupado en la producción del sector primario en el país. Además, se presenta la huella por tipo del uso de suelo (agrícola, pecuaria, uso productivo forestal y acuícola), por decil de ingreso del consumo de los hogares, así como por el balance comercial en términos de suelo.

Lo anterior implica la indiscutible relevancia de este análisis en términos de política económica. Sobre todo, se provee información con el fin de apoyar las acciones de monitoreo de las presiones ambientales en el marco de la Agenda 2030 de la ONU. Ciertamente, los cálculos realizados en este estudio no pueden ser usados para cuantificar los impactos finales de los usos del suelo del sector primario sobre la biodiversidad o los ecosistemas terrestres; no obstante, son útiles para indicar la magnitud de la presión hacia tal fin. Además, estas presiones pueden ligarse a las fuerzas que las impulsan y que tienen su origen en las estructuras de producción y consumo de un país (O'Brien et al., 2015). Asimismo, se requieren indicadores del uso del suelo como medios para monitorear el desempeño de un país en términos del desarrollo sostenible. El presente trabajo contribuye a este propósito.

En línea con lo establecido en el párrafo anterior, el objetivo del presente artículo consiste en proveer una medición contable de los usos de suelo de las actividades primarias desde la perspectiva del consumo. Para ello, se emplean la matriz de insumo-producto (MIP), la matriz de contabilidad social (MCS) y la matriz de importaciones, publicadas por el INEGI (2022), datos de 2018 e información oficial sobre usos del suelo de la Conafor (2019). Con el presente estudio se pretende ofrecer un punto de partida en esta línea de investigación en México.

Es importante mencionar que el artículo se centra en calcular la huella del consumo ligada exclusivamente al sector primario de la economía. El uso de suelo del resto de los sectores productivos (minería, construcción, manufactura, comercio, servicios) no se considera, porque las estadísticas de la Conafor y el INEGI no ofrecen la desagregación sectorial de la categoría del uso de suelo urbano, que engloba todas las actividades de producción no primarias en el país.

El artículo se estructura de la siguiente forma. En la sección I se presentan el marco conceptual y la metodología para el cálculo de los usos de suelo agrícola, pecuario, productivo forestal y acuícola, desde la perspectiva de la producción y el consumo. La sección II expone los resultados de dicho cálculo. Finalmente, la sección III brinda la discusión y las principales conclusiones del estudio.

I. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

1. *Conceptos y fuentes de información*

De acuerdo con la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación, la tierra es un concepto diferente al del suelo (ONU, 1994). La tierra⁵ es el sistema bioproductivo terrestre que comprende el suelo, la vegetación, otras biotas y los procesos ecológicos e hidrológicos que tienen lugar en ella. Por otra parte, el uso de suelo es la forma en la que se emplean un terreno y su cubierta vegetal. El cambio del uso de suelo cuantifica la magnitud de modificación en los ecosistemas terrestres por la acción humana directa (Steffen et al., 2015). La información sobre el uso del suelo en México se encuentra disponible en la *Carta de uso de suelo y vegetación, Serie VI*, elaborada por el INEGI (2017). Este documento presenta 69 usos del suelo en 2014 y la superficie (hectáreas) ocupada por cada uno de los mismos (Semarnat, 2019).

Por otra parte, la publicación titulada *El sector forestal mexicano en cifras* de la Conafor (2019) ofrece información de la superficie forestal por vegetación y el uso de suelo, con base en los datos de la *Carta de uso de suelo y vegetación, Serie VI*. En Conafor (2019) se distinguen cinco usos de suelo correspondientes a las áreas no forestales: *a*) agrícola, *b*) pecuario (agostadero), *c*) zona urbana, *d*) área sin vegetación y *e*) área acuícola. Estos usos de suelo ocupan una superficie de 55 063 142 hectáreas y representan 28% de la superficie terrestre del país. Las áreas forestales ocupan una superficie equivalente a 70% del territorio nacional (137 845 138 hectáreas), de la cual 18% es de bosques; 15%, de selvas; 29%, de matorral xerófilo, y 0.5%, de manglar (lo que resta de 8% de la superficie cubierta por vegetación lo ocupan otras asociaciones y áreas forestales).

Con base en información de la Conafor (2019), el agrícola representa el principal uso de suelo no forestal, con una extensión de 17% de la superficie

⁵ En la ciencia económica, la tierra es uno de los factores primarios de la producción junto con el capital y el trabajo. Sin embargo, las cuentas nacionales, las matrices de insumo-producto y las matrices de contabilidad social oficiales no presentan registros del uso de la tierra como factor primario de la producción. Por otra parte, la ONU ofrece una metodología para la elaboración de las cuentas del suelo como parte central del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (ONU, 2016), que sirve de marco a los institutos de estadística nacionales para el desarrollo de cuentas ambientales de acuerdo con las posibilidades y necesidades de cada país.

terrestre nacional, con alrededor de 33 millones de hectáreas de suelo. El segundo uso más importante, según la misma fuente, es el pecuario (pastizales inducidos o cultivados), que ocupa 10% de la superficie terrestre, alrededor de 19 millones de hectáreas. Sin embargo, según la Semarnat (2019: 130), con datos de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca), “la ganadería se practica en una superficie de casi 110 millones de hectáreas que representa cerca de 55% de la superficie total del país; por lo que, los restantes 91 millones de hectáreas de superficie ganadera están ubicados en vegetación natural”.

Adicionalmente, de las áreas forestales, 5.53 millones de hectáreas se encuentran bajo aprovechamiento forestal maderable correspondiente a propiedad comunal, ejidal y privada (Conafor, 2019). Un área marginal que corresponde a 0.06% de la superficie nacional pertenece al uso de suelo acuícola, con alrededor de 117 000 hectáreas (cuadro 1). Estas áreas representan la superficie ocupada en la producción primaria de bienes y servicios en el país.

CUADRO 1. México: la superficie forestal por tipo de ecosistema y uso de suelo

Áreas	Ecosistema / uso de suelo	Hectáreas	Porcentaje
Áreas forestales	Bosques	34 200 427	17.48
	Selvas	30 026 505	15.35
	Otras asociaciones	540 160	0.28
	Manglar	939 636	0.48
	Matorral xerófilo	56 305 010	28.78
	Otras áreas forestales	15 833 401	8.09
	<i>Subtotal</i>	137 845 138	70.45
Áreas no forestales	Agricultura	32 759 101	16.74
	Agostadero	18 973 589	9.70
	Zonas urbanas	2 170 906	1.11
	Áreas sin vegetación	1 042 309	0.53
	Acuícola	117 238	0.06
	<i>Subtotal</i>	55 063 142	28.14
Cuerpos de agua		2 752 845	1.41
<i>Total</i>		195 661 124	100.00

FUENTE: Conafor (2019).

2. *Modelo multisectorial de insumo-producto*

El concepto “huella del suelo” es equivalente al de “uso de suelo desde la perspectiva del consumo”. Se define como el uso de suelo que apoya la producción de bienes y servicios, y que contribuye a satisfacer la demanda final doméstica (el consumo de hogares y gobierno, así como la inversión de empresas de un país), independientemente del país donde se haya utilizado este suelo. Comprende el suelo utilizado directa e indirectamente para producir bienes y servicios a lo largo de las cadenas nacionales de suministro y las cadenas globales de valor.

La huella del suelo es equivalente al total obtenido de añadir al uso de suelo de la producción el uso de suelo incorporado en las importaciones menos aquel incorporado en las exportaciones en un año (Arto et al., 2012). Es decir, la huella del suelo se diferencia del uso de suelo desde la perspectiva de la producción, ya que éste se registra como factor primario de la producción de las actividades económicas a nivel nacional en un solo eslabón de la cadena de suministro.

En el presente estudio el modelo multisectorial de insumo-producto del uso de suelo se desarrolló mediante datos de la MIP por producto, en lo correspondiente a las transacciones domésticas de México de 2018, y a la matriz de importaciones del mismo año. Esto, con el fin de relacionar el uso de suelo en la producción con el uso en el consumo (demanda final doméstica). También, se utilizaron datos de la MCS de México de dicho año y cifras sobre la distribución del pago de impuestos por deciles de hogares (Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SHCP], 2018) para la desagregación de los cálculos en estas categorías. Las MIP y MCS fueron elaboradas y publicadas por el INEGI (2022) con datos por rama de producción, y éstos se organizaron en 75 subsectores⁶ con el fin de minimizar el sesgo de agregación.

⁶ A fin de reducir el sesgo de agregación en el modelo de insumo-producto y su efecto en los resultados de la huella de suelo, se emplearon matrices desagregadas en 75 subsectores. El uso de suelo agrícola se asignó al subsector 111 (agricultura); el pecuario, al subsector 112 (cría y explotación de animales); el de producción forestal, al subsector 113 (aprovechamiento forestal), y el acuícola, al subsector 114 (pesca, caza y captura). El resto de subsectores (minería, construcción, manufactura, comercio, transportes, servicios) no tuvieron asignación de uso de suelo, pues no existe información oficial de la superficie ocupada para cada actividad. En la literatura sobre uso de suelo basada en modelos unirregionales (Costello et al., 2011) y multirregionales (Yu et al., 2013), los autores aplican un procedimiento estadístico fundamentado en supuestos simplificadores a fin de encontrar un dato aproximado sobre las áreas ocupadas por las actividades no primarias. En el presente trabajo se evitó realizar este procedimiento.

Además, los datos del uso de suelo para este trabajo se obtuvieron de la Conafor (2019) y corresponden a los usos agrícola, pecuario, acuícola y de aprovechamiento forestal. No se consideró en zona urbana, debido a que no se encontró información desagregada por sector del suelo urbano correspondientes a las actividades no primarias.

Para los cálculos se adoptó el modelo estándar de insumo-producto (Miller y Blair, 2009) expresado en la siguiente ecuación matricial:

$$x = (I - A)^{-1}y \quad (1)$$

donde:⁷ A = matriz de coeficientes técnicos de producción; $(I - A)^{-1}$ = matriz inversa de Leontief; I = matriz de identidad; x = vector columna del valor bruto de la producción; y = vector columna de demanda final doméstica (consumo de los hogares, consumo del gobierno e inversión).

Los coeficientes de suelo de los subsectores agricultura (111), ganadería (112), aprovechamiento forestal (113) y pesca (114) se obtuvieron con los datos del uso de suelo agrícola, pecuario, aprovechamiento forestal y acuícola, respectivamente. Cada coeficiente expresa el número de hectáreas del uso de suelo por cada millón de pesos de la producción de cada subsector. Los coeficientes se calcularon de la siguiente forma:

Sea $l_j = L_j/x_j$ el coeficiente del uso de suelo del sector j , y sea l' el correspondiente vector fila. Luego se calcula la matriz de multiplicadores de suelo al posmultiplicar la matriz diagonal de coeficientes de suelo \hat{l} con la matriz inversa de Leontief. Los multiplicadores de suelo se expresan de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\theta = \hat{l}(I - A)^{-1} \quad (2)$$

donde θ^{ij} es un elemento de la matriz theta. El multiplicador de suelo expresa las áreas de suelo ocupadas por el sector i y requeridas directa e indirectamente por el sector j para satisfacer su demanda final por cada millón de pesos. La matriz de la huella de suelo se obtiene de la siguiente manera:

$$\beta = \theta\hat{y} \quad (3)$$

⁷Se mantiene el estándar en la notación matricial. Las matrices se representan en negritas y mayúsculas, y los vectores en minúsculas y negritas. Las escalares se anotan en minúscula y sin negritas.

donde \hat{y} es la matriz diagonal de la demanda final doméstica. Por otra parte, el total del área de suelo del sector i destinado a satisfacer la demanda final doméstica se obtiene por medio de la siguiente suma:

$$\sum_{j=1}^n \beta_{ij} \quad (4)$$

El procedimiento para calcular β_{ij} se aplica también a fin de medir el área de suelo del sector i por categoría, el cual se incorpora en las importaciones y las exportaciones. Es decir, en la ecuación (3) se sustituye la matriz diagonal de la demanda final doméstica por la matriz diagonal de las importaciones y las exportaciones, de manera respectiva. A las matrices obtenidas se les aplica la suma (4). En relación con las de las importaciones, se distinguen dos tipos: las que se destinan por completo a satisfacer la demanda final doméstica, y las destinadas a satisfacer los requerimientos de insumos de los sectores de producción nacionales. Sobre el primer tipo, el procedimiento para calcular el área incorporada de suelo corresponde a la ecuación (3).

En contraste, para el segundo tipo de importaciones, tiene que realizarse una modificación en el procedimiento. En este caso, el vector columna de las importaciones de insumos intermedios del sector j de la matriz de importaciones (INEGI, 2022) se diagonaliza en una matriz. Esta matriz diagonal se sustituye en la ecuación (3) en lugar de la matriz diagonal de la demanda final doméstica. A partir de esta operación, se tiene del producto matricial, el total de cada fila para obtener el vector columna de totales. Esto se hace para cada matriz calculada para cada j . Con los vectores columna de totales para cada j , se forma una matriz, la cual denominaremos φ . Ésta contiene la misma cantidad de columnas que la de vectores-columna de los totales; los vectores-columna de totales se acomodan conforme al orden de los sectores j .

La matriz φ es posmultiplicada por la matriz diagonal de factores de ajuste de las importaciones de insumos intermedios requeridos por el sector j , con el fin de calcular los insumos importados empleados en la producción destinada a satisfacer la demanda final doméstica. El resultado de esta posmultiplicación genera una nueva matriz μ , para la cual se obtiene el total de cada fila. El total de cada fila expresa el área de suelo del sector externo i del resto del mundo, incorporada en los productos finales que satisfacen la demanda final doméstica en el país.

De acuerdo con Bicknell et al. (1998) y Ferng (2001), los factores de ajuste⁸ se calculan de la siguiente manera $\forall j$:

$$r_j = 1 - e_j/x_j \quad (5)$$

donde r_j es el factor de ajuste del sector j ; e_j son las exportaciones, y x_j representa el valor bruto de la producción del sector j .

Es pertinente comentar que, en el presente estudio, se supone que las importaciones tienen la misma intensidad del uso de suelo que la de la producción doméstica, pues el modelo insumo-producto es unirregional. Es decir, este supuesto equivale a considerar que el resto de los países ocupan la misma tecnología que México en relación con el uso de suelo. Otra manera de concebir este supuesto, en términos absolutos, es considerar las áreas de suelo que se evitaron ocupar en el territorio nacional al importar productos de otros países (Costello et al., 2011).

3. Limitaciones del modelo y del concepto uso de suelo

Este estudio tiene dos limitaciones: una referida al modelo de insumo-producto y otra, al concepto sobre el uso de suelo. El modelo de insumo-producto es lineal y se basa en el supuesto de que los factores primarios y los insumos intermedios se emplean en proporciones fijas. Esto implica considerar que las actividades presentan rendimientos constantes a escala en la producción de los distintos sectores, y que las unidades de producción presentan capacidad ociosa, lo que hace posible satisfacer aumentos en la producción.

En relación con el concepto de uso de suelo, éste representa el área máxima disponible para un tipo de uso de suelo en un periodo dado. Sin embargo, no representa el área de suelo real empleada principalmente en las producciones agrícola y pecuaria, por lo que los resultados sobre estas dos actividades pueden estar sobrevalorados.

Adicionalmente, la cuantificación del uso de suelo en términos de consumo no permite medir el impacto final sobre la biodiversidad y los ecosistemas. En este sentido, los resultados son inadecuados para caracterizar los impactos ambientales que son una función de la localización espacial particular del suelo, determinado por el clima y las propiedades físicas de la

⁸Una fracción de las importaciones de insumos intermedios se destina a la producción que se exporta y el resto, a aquella para satisfacer la demanda final doméstica.

localización que conducen a impactos ambientales diferenciados de una misma actividad en diferentes localizaciones espaciales.

No obstante, considérese que la contabilidad del uso de suelo en términos del consumo como indicador global de sostenibilidad es ampliamente aceptada por la comunidad académica internacional, a pesar de las limitaciones mencionadas. Los resultados de este estudio indican que la estructura de producción y consumo de la economía incide en la demanda de suelo doméstico y que la estructura del comercio internacional tiene un impacto en la demanda de suelo en el país y en el resto del mundo.

II. RESULTADOS

En el cuadro 2 se ofrece una síntesis de los resultados de las áreas de uso de suelo desde las perspectivas de la producción y del consumo. El área de la huella de suelo del consumo resulta superior a la de la producción. La huella de suelo (del sector primario) es de 61 745 416 hectáreas, de la cual 73% representa el área de suelo dentro del país y 27% las áreas de suelo que tienen su origen en otros países. Estos porcentajes coinciden con el promedio mundial de acuerdo con Yu et al. (2013). Con fines comparativos, considérese que en China del total de suelo requerido para satisfacer el consumo de su población, 75% se encuentra dentro de su territorio y 25% en otros paí-

CUADRO 2. *México: uso de suelo de la producción y del consumo (hectáreas)^a*

<i>Uso de suelo</i>	<i>Producción</i>	<i>Consumo (huella de suelo)</i>
Suelo agrícola	32 759 101	35 125 648
Pastizales	18 973 589	19 919 896
Aprovechamiento forestal	5 530 000	6 593 646
Suelo acuícola	1 172 38	1 062 26
Hectáreas totales	57 379 928	61 745 416

^a Producción (*demanda final doméstica + exportaciones*); consumo (*demanda final doméstica + importaciones*); demanda final doméstica (*consumo de los hogares + consumo del gobierno + inversión fija bruta de capital + inventarios*).

FUENTE: elaboración propia con base en la MIP 2018 y matriz de importaciones (INEGI, 2022) y la Conafor (2019).

ses. Los consumidores de un país usan el suelo de otros países mediante las importaciones de una amplia variedad de bienes y servicios para consumo final, lo cual significa que se desplazan áreas de suelo de otros países para satisfacer el consumo de la población de un país. En México el área neta de suelo desplazado de otros países es de 4 365 488 hectáreas, de las cuales la mitad corresponde a suelo agrícola y el resto al uso forestal, pastizales y acuícola, en este orden.

En cuanto a la huella de suelo del consumo a nivel per cápita se calcula de 0.49 hectáreas, con base en una población de 124 994 566 personas, de acuerdo con los datos de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica de 2018 (INEGI, 2018). En contraste al presente estudio, Arto et al. (2012)⁹ encuentran que la huella de suelo en Brasil es de 2 hectáreas per cápita, en los Estados Unidos, 2.4 hectáreas per cápita y en la Unión Europea, en promedio (27 miembros), 1.4 hectáreas per cápita.

Otro resultado de este estudio es que el uso de suelo agrícola representa 56% de la huella de suelo en México. El uso de suelo pecuario (pastizales) corresponde a 33% del total. Nótese que la suma de los dos equivale a casi 90% de la huella de suelo del consumo en el país. Esto es elevado, comparado con el promedio mundial de 2008, calculado por Arto et al. (2012). Ellos encontraron que 47% de la huella de suelo correspondía a pastizales, y 32% a las áreas productivas forestales, lo que suma casi 80%. Asimismo, concluyeron que el suelo agrícola representaba 21% de la huella de suelo a nivel mundial, y que en la Unión Europea (considerando 27 miembros), la huella de suelo correspondiente a pastizales fue la más importante en 19 de 27 países en un rango de 36 a 54 por ciento.

El cuadro 3 presenta el uso de suelo del comercio exterior de México. El suelo incorporado en las importaciones se estimó con base en el supuesto de que éstas representan las áreas de suelo que se evitaron ocupar en el país. En este sentido, se calcula que el área de suelo incorporado en las importaciones es de 16 440 036 hectáreas y con su origen en el resto del mundo. En contraste, el área de suelo incorporado en las exportaciones de México, que se encuentra dentro de los límites del territorio nacional, se calcula de 12 074 547 hectáreas. De acuerdo con Yu et al. (2013), los países con grandes extensio-

⁹Arto et al. (2012) presentan resultados comparables con el presente artículo, aunque ellos siguieron un enfoque multirregional. Los autores miden la huella de suelo del consumo y consideran los usos de suelo agrícola, pastizal y de aprovechamiento forestal sin incorporar el uso de suelo acuícola y los usos relacionados con las actividades no primarias.

CUADRO 3. México: uso de suelo del comercio exterior (hectáreas)^a

<i>Uso de suelo</i>	<i>Exportaciones</i>	<i>Importaciones</i>	<i>Balance comercial</i>
Suelo agrícola	8 695 444	11 061 991	-2 366 547
Pastizales	1 801 053	2 747 360	-946 307
Aprovechamiento forestal	1 562 679	2 626 325	-1 063 646
Suelo acuícola	15 372	4 360	11 012
Hectáreas totales	12 074 548	16 440 036	-4 365 488

^a Las importaciones comprenden insumos intermedios y bienes finales; balance comercial (*exportaciones - importaciones*).

FUENTE: elaboración propia con base MIP 2018 y matriz de Importaciones (INEGI, 2022) y la Conafor (2019).

nes territoriales, como Rusia, Australia y Brasil —a diferencia de México—, tienden a usar una proporción mayor de su superficie territorial en la producción que se exporta. En estos países, el área de suelo incorporado en las exportaciones es más de ocho veces mayor que el área incorporada en las importaciones.

Con base en los resultados del cuadro 3, México no parece tener un intercambio ecológico desigual en términos de suelo con el resto del mundo.¹⁰ De las cuatro áreas de suelo consideradas, tres presentan déficit en el balance comercial en términos de suelo. El uso de suelo agrícola, forestal y de pastizales presenta un desplazamiento neto de suelo de otros países, mientras que el uso de suelo acuícola presenta un balance superavitario.

En el cuadro 4 se presentan los resultados de la huella de suelo del consumo de los hogares por decil de ingreso y por el tipo de uso de suelo. El consumo de los hogares representa 69% de la huella de suelo del consumo en México. Los usos de suelo agrícola y pecuario (pastizales), representan respectivamente 54 y 40% de la huella de suelo del consumo de los hogares. Los otros tipos de uso de suelo corresponden al restante 6%. De acuerdo con el tipo de uso de suelo, los hogares del decil 10 (el de los más ricos) ocupan la quinta parte del suelo agrícola y forestal, la cuarta parte del suelo acuícola y alrededor de la sexta parte del suelo correspondiente a pastizales.

La gráfica 1 ilustra el contraste entre los deciles 1 al 9 y el 10. La huella de suelo se incrementa de manera paulatina en los deciles 1 al 9, y al llegar al 10

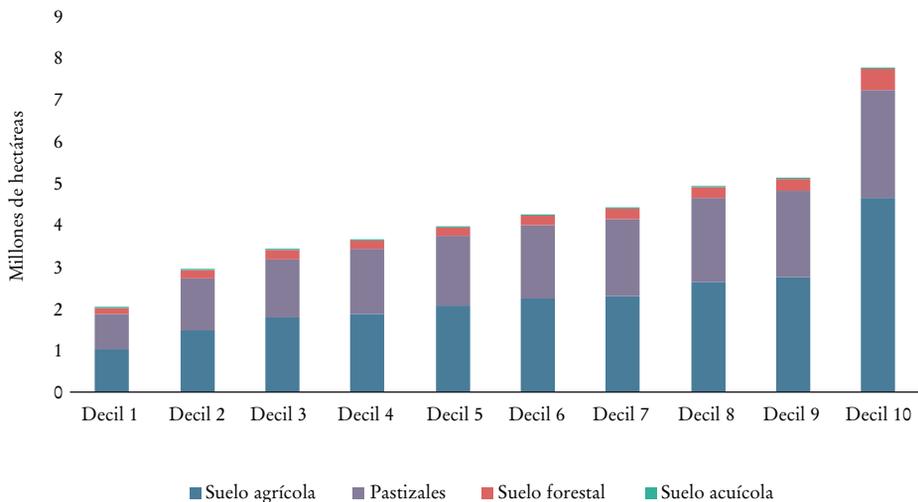
¹⁰ Sin embargo, puede llegarse a conclusiones distintas a partir del análisis de los resultados de un modelo multirregional que muestre los flujos del comercio exterior con distintos países.

CUADRO 4. México: la huella de suelo del consumo de los hogares por decil de ingreso (hectáreas)

Decil	Suelo agrícola	Pastizales	Aprovechamiento forestal	Suelo acuícola
1	1016249	842740	153824	2603
2	1469318	1246482	205919	4248
3	1800180	1378583	211335	5168
4	1872644	1548094	192794	6845
5	2063053	1669653	200635	8054
6	2227620	1776027	214396	7397
7	2308312	1840953	232351	11530
8	2634157	2011010	268806	14064
9	2758685	2056473	291395	14977
10	4655727	2564917	523912	28904
Total	22805945	16934932	2495367	103790

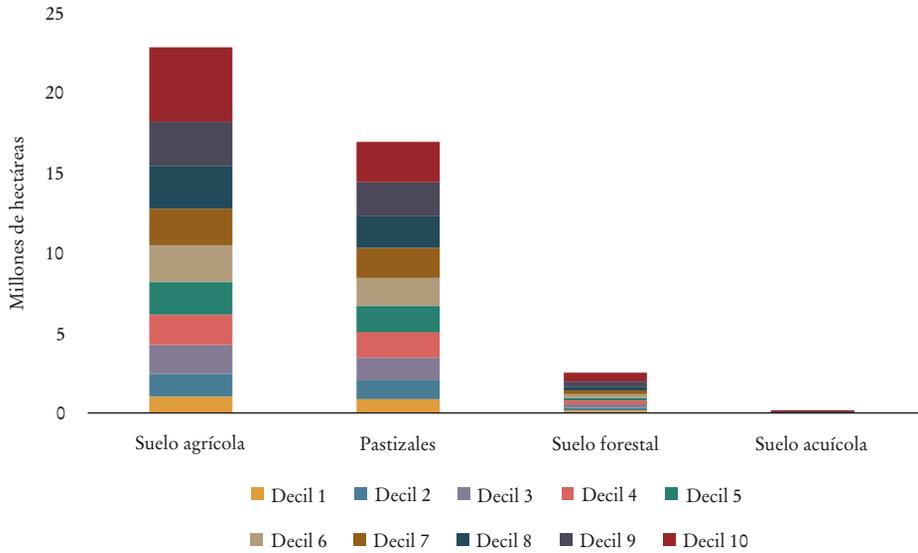
FUENTE: elaboración propia con base en información de la MCS 2018 (INEGI, 2022); SHCP (2018).

GRÁFICA 1. México: la huella del suelo del consumo de los hogares por decil de ingreso



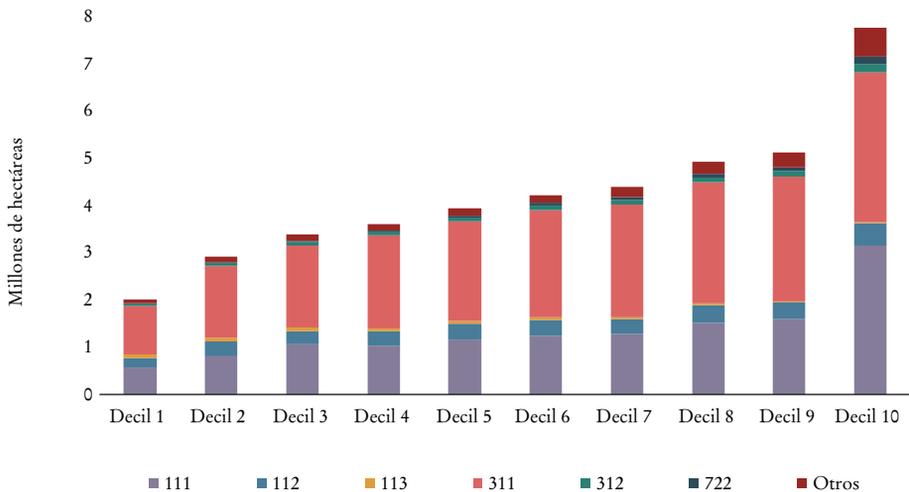
FUENTE: elaboración propia con base en información de la MCS 2018 (INEGI, 2022); SHCP (2018).

GRÁFICA 2. México: la huella de suelo del consumo de los hogares por tipo del uso de suelo



FUENTE: elaboración propia con base en información de la MCS 2018 (INEGI, 2022); SHCP (2018).

GRÁFICA 3. México: la huella del suelo de los subsectores de actividad por decil de ingreso



FUENTE: elaboración propia con base en información de la MCS 2018 (INEGI, 2022); SHCP (2018).

la brecha se amplía considerablemente en relación con el resto de los deciles. El contraste es mayor si se compara el decil 10 con el 1. En la gráfica 1 se observa que la huella de suelo del decil 10 es casi cuatro veces la del 1. El componente asociado con el suelo agrícola y pastizales representa de manera dominante la huella de suelo en todos los deciles de ingreso.

La gráfica 2 presenta la huella de suelo del consumo de los hogares por tipo del uso de suelo. Claramente se aprecia que los hogares del decil 10 representan las mayores áreas de la huella de suelo del consumo de los hogares en todos los tipos de suelo, lo que contrasta con los hogares del decil 1, que ocupan áreas mucho menores.

En la gráfica 3 se observan los productos de consumo de acuerdo con la clasificación sectorial del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN). Los productos se presentan agregados en relación con las actividades agrícola (111), pecuaria (112), forestal (113), industria alimentaria (311), industria de las bebidas y del tabaco (312) y servicios de preparación de alimentos (722) y el resto de las actividades económicas (otros). Los productos de la industria alimentaria (clasificación 311 del SCIAN) representan la mayor huella de suelo del consumo de los hogares en todos los deciles de ingreso. Los productos de la agricultura (111 en el SCIAN) figuran en el segundo lugar. Ambas clases de producto representan alrededor de 80% de la huella de suelo en todos los deciles de ingreso. Contrario a esto, Arto et al. (2012) encontraron que en la Unión Europea, en 2008, los alimentos, bebidas y tabaco representaban 64% de la huella de suelo de los hogares, y los servicios de recreación y cultura, 10%. Las huellas de suelo de los hogares de estas dos clases de productos sumaban 74% del total. Al comparar a México con la Unión Europea, las diferencias en los componentes de la huella de suelo reflejan los distintos patrones de consumo de las sociedades en función de los niveles de ingreso (Yu et al., 2013).

III. CONCLUSIONES

La contabilidad del uso del suelo por sector es un tema de creciente interés científico mundial, particularmente a partir de la medición de las huellas ecológicas de los países (Wackernagel et al., 1999) y de su cálculo basado en el análisis de insumo-producto unirregional (Bicknell et al., 1998; Ferng, 2001) y multirregional (Wilting y Vringer, 2009; Steen-Olsen et al., 2012; Arto et

al., 2012; Yu et al., 2013; Weinzettel et al., 2013; Chen y Han, 2015; Franco-Solís y Montaña, 2021). Los resultados del presente estudio contribuyen a entender y enriquecer los indicadores de sostenibilidad en términos del uso de suelo en México. En el estudio se empleó el marco unirregional con el objetivo de cuantificar el uso de suelo en términos del consumo. En este sentido, se contribuye a la literatura sobre el tema, debido a que no se disponen de estudios específicos para México.

Si el consumo de la población se tuviera que satisfacer con los recursos disponibles en nuestro país (autarquía), entonces las fronteras agrícola, pecuaria y de aprovechamiento forestal tendrían que aumentar en detrimento de las áreas forestales nacionales. De acuerdo con los resultados de este estudio, la demanda de suelo derivada del consumo de la población en México es mayor a las áreas de suelo domésticas empleadas en la producción interna. Actualmente, el suelo requerido para satisfacer la demanda excedente se localiza en otros países por vía de la importación de bienes.

De los resultados se derivan al menos dos implicaciones de política. Por un lado, respecto de la producción, pues el uso de suelo agrícola es el que ocupa la mayor superficie terrestre entre todos los usos de suelo; las decisiones de producción de alimentos deben alejarse de las políticas relacionadas con la expansión de la frontera agrícola y pecuaria, y centrarse en gestionar los usos de suelo actuales de manera más eficiente —véase, por ejemplo, Foley et al. (2011)—.

Es menester la adopción de tecnología amigable con el medio ambiente y la inversión en infraestructura con el fin de incrementar la productividad del suelo y de la producción en áreas de bajo rendimiento. En particular en la agricultura de pequeña escala, la cual tiene una contribución importante en la economía mexicana, es necesario que los pequeños agricultores tengan mejor acceso a los mercados, a la información y a los créditos para gestionar eficientemente sus unidades productivas. La agricultura ecológica tiene un papel prominente porque contribuye a mitigar los impactos ambientales y a mejorar el ingreso de los campesinos mediante el comercio justo.

Por otro lado, desde la perspectiva del consumo, es imperativo promover el cambio en las dietas de la población y una disminución del desperdicio de alimentos a lo largo de las cadenas de suministro, como sugieren Foley et al. (2011). Desde el marco teórico del espacio seguro y justo (Raworth, 2018; O'Neill et al., 2018) y los límites planetarios (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015), el desafío debe enfocarse en la satisfacción de las necesidades

básicas universales, a fin de garantizar una buena calidad de vida de la población, sin transgredir los límites biofísicos planetarios.

Finalmente, considérese que los resultados presentados en este estudio se basan en un modelo unirregional de insumo-producto. Una futura línea de investigación, en el marco de los avances en la literatura científica internacional, es el desarrollo de un modelo multirregional del uso de suelo de la economía mexicana, así como los vínculos con los Estados Unidos y Canadá (región de Norteamérica), la Unión Europea y el resto del mundo. Se espera que dicho modelo arroje resultados consistentes con los obtenidos en el presente estudio, en el sentido de que la demanda de suelo (en áreas de suelo) derivada del consumo de la población en México es mayor que el área total de suelo doméstico empleado en la producción interna de bienes y servicios. También se establece, como futura línea de investigación, la identificación de los países y las regiones con los cuales se presenta déficit o superávit en términos del uso de suelo a fin de determinar si existe, y dónde, un intercambio ecológico desigual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arto Olaizola, I., Genty, A., Rueda Cantuche, J., Villanueva Krzyzaniak, A., y Andreoni, V. (2012). *Global Resources Use and Pollution: Vol. I, Production, Consumption and Trade (1995-2008)*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union. Recuperado de: <https://doi.org/10.2791/94365>
- Bicknell, K. B., Ball, R. J., Cullen, R., y Bigsby, H. R. (1998). New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecological Economics*, 27(2), 149-160. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00136-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00136-5)
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J. C., Wackernagel, M., y Galli, A. (2013). Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, 24, 518-533. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.005>
- Bringezu, S., O'Brien, M., y Schütz, H. (2012). Beyond biofuels: Assessing global land use for domestic consumption of biomass. A conceptual and empirical contribution to sustainable management of global resources.

- Land Use Policy*, 29(1), 224-232. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.06.010>
- Campbell, B. M., Beare, D. J., Bennett, E. M., Hall-Spencer, J. M., Ingram, J. S. I., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J. A., y Shindell, D. (2017). Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*, 22(4), 8. Recuperado de: <https://doi.org/10.5751/ES-09595-220408>
- Chen, G. Q., y Han, M. Y. (2015). Global supply chain of arable land use: Production-based and consumption-base trade imbalance. *Land Use Policy*, 49, 118-130. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.07.023>
- Conafor (2019). *El sector forestal mexicano en cifras 2019. Bosques para el bienestar social y climático*. México: Conafor. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/el-sector-forestal-mexicano-en-cifras-2019>
- Costello, C., Griffin, W. H., Matthews, H. S., y Weber, C. L. (2011). Inventory development and Input-Output Model of U. S. land use: Relating land in production to consumption. *Environmental Science and Technology*, 45(11), 4937-4943. Recuperado de: <https://doi.org/10.1021/es104245j>
- FAO (2021). *Land Use Statistics and Indicators. Global, Regional and Country Trends 1990-2019* (FAOStat, Analytical Brief Series, núm. 28). Roma: FAO.
- Ferng, J. J. (2001). Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity. *Ecological Economics*, 37(2), 159-172. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00292-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00292-5)
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., y Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478, 337-342. Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Franco-Solís, A., y Montanía, C. (2021). Dynamics of deforestation worldwide: A structural decomposition analysis of agricultural land use in South America. *Land Use Policy*, 109, 1-10. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105619>
- Han, M., y Chen, G. (2018). Global arable land transfers embodied in

- mainland China's foreign trade. *Land Use Policy*, 70, 521-534. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.022>
- Hubacek, K., y Giljum, S. (2003). Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities. *Ecological Economics*, 44(1), 137-151. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00257-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00257-4)
- INEGI (2017). *Carta de uso del suelo y vegetación, Serie VI (2014). Escala 1:250 000*. Aguascalientes: INEGI.
- INEGI (2018). *Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica, Enadid. 2018*. Aguascalientes: INEGI.
- INEGI (2022). *Matriz de Insumo Producto 2018, Matriz de Importaciones 2018 y Matriz de Contabilidad Social 2018. Estadísticas Experimentales*. Aguascalientes: INEGI.
- Jorgenson, A. K. (2016). Environment, development, and ecologically unequal exchange. *Sustainability*, 8(3), 227. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/su8030227>
- McDonald, G., y Patterson, M. (2004). Ecological footprints of New Zealand regions. *Ecological Economics*, 50(1-2), 49-67. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.008>
- MEA (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Millennium Ecosystem Assessment*. Washington, D. C.: Island Press.
- Miller, R., y Blair, P. (2009). *Input-output analysis. Foundations and extensions*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Nykqvist, B., Persson, A., Moberg, F., Persson, L., Cornell, S., y Rockström, J. (2013). *National Environmental Performance on Planetary Boundaries (Report 6576. June 2013)*. Estocolmo: The Swedish Environmental Protection Agency.
- O'Brien, M., Schütz, H., y Bringezu, S. (2015). The land footprint of EU bioeconomy. *Land Use Policy*, 47, 235-246. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.04.012>
- O'Neill, D. W., Fanning, A. L., Lamb, W. F., y Steinberger, J. K. (2018). A good life for all within the planetary boundaries. *Nature Sustainability*, 1, 88-95. Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4>
- ONU (1994). *Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África*. París: ONU. Recuperado de: <https://www.unccd.int/>

- sites/default/files/relevant-links/2017-08/UNCCD_Convention_text_SPA.pdf
- ONU (2016). *Sistema de contabilidad ambiental y económica 2012. Marco central*. Nueva York: ONU. Recuperado de: https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/seea_cf_final_sp.pdf
- Oppon, E., Acquaye, A., Ibn-Mohammed, T., y Koh, L. (2018). Modelling multi-regional ecological exchanges: The case of UK and Africa. *Ecological Economics*, 147, 422-435. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.01.030>
- PNUMA (2014). *Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply. A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel*. Nairobi: PNUMA.
- Raworth, K. (2018). *Economía rosquilla. Siete maneras de pensar la economía del siglo XXI*. Madrid: Paidós.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., Wit, C. A. de, Hughes, T., Leeuw, S. van der, Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., y Foley, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2), 32. Recuperado de: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Salvo, G., Simas, M. S., Pacca, S. A., Guilhoto, J. J. M., Tomas, A. R. G., y Abramovay, R. (2015). Estimating the human appropriation of land in Brazil by means of an input-output economic model and ecological footprint analysis. *Ecological Indicators*, 53, 78-94. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.027>
- Schaffartzik, A., Haberl, H., Kastner, T., Wiedenhofer, D., Eisenmenger, N., y Erb, K. H. (2015). Trading land: A review of approaches to accounting for upstream land requirements of traded products. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 703-714. Recuperado de: <https://doi.org/10.1111/jiec.12258>
- Semarnat (2019). *Informe de la situación del medio ambiente en México, edición 2018*. México: Semarnat.
- SHCP (2018). *Distribución del pago de impuestos y recepción del gasto público por deciles de hogares y personas. Resultados para el año 2018*. México: SHCP.

- Steen-Olsen, K., Weinzettel, J., Cranston, G., Ercin, A. E., y Hertwich, E. G. (2012). Carbon, land, and water footprint accounts of the European Union: Consumption, production and displacements through international trade. *Environmental Science and Technology*, 46(20), 10883-10891. Recuperado de: <https://doi.org/10.1021/es301949t>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., Vries, W. de, Wit, C. A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., y Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). Recuperado de: <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Turner, K., Lenzen, M., Wiedmann, T., y Barrett, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities-Part 1: A technical note on combining input-output and ecological footprint analysis. *Ecological Economics*, 62(1), 37-44. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.002>
- Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Callejas, A., López, I. S., Méndez, J., Suárez, A. I., y Suárez, M. G. (1999). National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 29(3), 375-390. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)90063-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)90063-5)
- Weinzettel, J., Hertwich, E. G., Peters, G. P., Steen-Olsen, K., y Galli, A. (2013). Affluence drives the global displacement of land use. *Global Environmental Change*, 23(2), 433-438. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.010>
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Turner, K., y Barrett, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities-Part 2: Review of input-output models for the assesement of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*, 61(1), 15-26. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.003>
- Wiedmann, T., Minx, J., Barrett, J., y Wackernagel, M. (2006). Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. *Ecological Economics*, 56(1), 28-48. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.05.012>
- Wilting, H. C., y Vringer, K. (2009). Carbon and land use accounting from a producer's and a consumer's perspective — an empirical examination

covering the world. *Economic Systems Research*, 21(3), 291-310.

Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/09535310903541736>

Yu, Y., Feng, K., y Hubacek, K. (2013). Tele-connecting local consumption to global land use. *Global Environmental Change*, 23(5), 1178-1186.

Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.04.006>