

Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación

Soil erosion and food deficiency in Mexico: a first approach

Helena Cotler,* José Alfonso Corona** y J. Mauricio Galeana-Pizaña***

Recibido: 08/05/2019. Aprobado: 13/09/2019. Publicado en línea: 19/02/2020

Resumen. El deterioro de la calidad de los suelos, debido a la pérdida de fertilidad y su erosión, pueden limitar la autosuficiencia y la seguridad alimentaria, lo cual afectaría principalmente a pequeños agricultores que dependen de sus rendimientos para su subsistencia, pudiendo incrementar su pobreza alimentaria. Cerca de la mitad de los suelos mexicanos se encuentran degradados y su efecto en la autosuficiencia alimentaria ha sido poco estudiada.

A través del cruce de información de fuentes oficiales (INEGI, CONEVAL, SEMARNAT) a nivel nacional sobre la relación entre la erosión de los suelos agrícolas de temporal, con destino de autoconsumo y la carencia alimentaria en México se pudo observar una relación positiva moderada entre ambas variables ($r=0.65$). Aunque los resultados no implican una relación causal, si muestran claramente la conexión que existe entre la erosión de suelos agrícolas de temporal y la carencia alimentaria de la población a nivel agregado en el país. Los estados que presentan un mayor aporte al coeficiente de correlación son Guerrero, Michoacán, Guanajuato y Estado de México.

Palabras claves: erosión de suelos, autosuficiencia alimentaria, pobreza alimentaria, agricultura.

Abstract. Degradation of soil quality due to fertility loss and erosion can hamper food security and self-sufficiency, which would mostly impact small subsistence farmers and

exacerbate food poverty. Degradation affects nearly half of Mexican soils, but its effects on food self-sufficiency have been poorly investigated.

This study conducted an initial cartographic and statistical analysis of the relationship between erosion in rain-fed agricultural soils, whose production destination is self-consumption, and food deficiency in Mexico.

Country-wide, cartographic and statistical data from official sources were used, including series V of the INEGI Land-Use and Vegetation chart (scale 1: 250,000), the map of human-induced soil degradation (scale 1: 250,000), results from the VIII Agricultural, Livestock and Forestry census (2007), and Poverty reports (2010, 2012 and 2014).

By overlaying such maps, we identified the polygons classified as rain-fed agriculture, affected by water erosion, and whose production was entirely or partially intended for self-consumption. This information was correlated with food deficiency data per municipality.

To examine the relationship between the surface area dedicated to rain-fed annual crops, affected by water erosion, and the population with limited access to food, a linear correlation analysis was carried out using Pearson's coefficient. Our early results show that 16% of rain-fed agricultural land is affected by erosion to some extent. These areas are distributed across 27 states.

Agricultural Production Units dedicated to rain-fed agriculture, affected by erosion and whose production is intended for self-consumption (UPAE), occur in 41% of

* Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. Calle Contoy 136, Lomas de Padierna, 14240, Tlalpan, Ciudad de México, México. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7726-1570>. Email: helena.cotler@gmail.com

** Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Circuito Interior. Ciudad Universitaria s/n., 04510, Ciudad de México, México. Email: alfonscj@gmail.com

*** Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. Calle Contoy 136, Lomas de Padierna, 14240, Tlalpan, Ciudad de México, México. Email: mgaleana@centrogeo.edu.mx

the municipalities of Mexico; 56% of these are entirely dedicated to self-consumption. In terms of yield and diversity, agricultural production is the main source of income for small, self-consumption producers. Land is the primary asset from which they are able to obtain products of high nutritional quality.

Food poverty is unevenly distributed across the country. The worst levels are concentrated in four states: State of Mexico, Veracruz, Puebla, and Jalisco.

We found a moderate positive correlation ($r = 0.65$) between erosion in rain-fed agricultural soils dedicated to self-consumption and lack of food access. Although these results do not imply a causal relationship, they clearly show

the linkage between erosion in rain-fed agricultural soils and food deficiency among the population at an aggregate level in Mexico. The states that most contribute to this correlation are Guerrero, Michoacán, Guanajuato, and State of Mexico.

Soil degradation affects the food security of producers as well as the sovereignty of the country. These concerns, which are stated as three sustainable development goals (SDGs), demand comprehensive attention in order to implement policies to improve soil quality and develop sustainable agricultural practices, accompanied by rural development.

Key words: soil erosion, food self-sufficiency, food poverty, agriculture

INTRODUCCIÓN

La erosión de suelos constituye una seria amenaza a la sustentabilidad alimentaria (Li, 2016; Vanwalleghem et al., 2017), principalmente porque el suelo es un recurso limitado y su presencia constituye un “límite planetario” para la expansión agrícola (Steffen et al., 2015). A nivel mundial se estima que el 40% de la tierra agrícola presenta serios impactos en su productividad debido a procesos de degradación de suelos, cantidad que puede elevarse a 75% en algunas regiones (Scherr y Yadav, 1997).

La erosión de suelos constituye un proceso dinámico complejo que ocasiona el deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Lal, 2008), pérdida de nutrientes (Herrero 2017), reducción de la productividad agrícola (Pimentel, 2006; Bullock et al., 2017) y eleva los costos de producción (Cotler, López y Martínez Trinidad, 2011). El deterioro de la calidad de los suelos, a través de la pérdida de fertilidad y su erosión, puede limitar la autosuficiencia, la seguridad y soberanía alimentaria (Adhikari y Hartemink, 2016; Lal, 2009), lo cual afecta principalmente a pequeños agricultores que dependen de sus rendimientos para su subsistencia (Vanek, Jones y Drinkwater, 2016). La calidad de los suelos determina la productividad agrícola, y con ello los ingresos familiares (Flores-Sánchez et al., 2015). La baja productividad limita las inversiones de capital humano en suelos y la adopción de nuevas tecnologías (Shiferaw y Bantilan, 2004). Los suelos pobres y la pobreza humana pueden, por lo tanto, reforzarse mutuamente, creando una “trampa de pobreza” (Barrett y Beevis, 2015).

En función de la resiliencia de los suelos, la erosión puede ocasionar impactos con distintas temporalidades, efectos acumulativos que se traducen en una menor capacidad de soporte, nutrición y disponibilidad de agua hacia las plantas, lo cual merma su rendimiento. La intensidad de este impacto dependerá de condiciones locales de clima, topografía, tipo de suelos y manejo. Históricamente se ha reconocido la influencia perjudicial de la erosión de suelos sobre las sociedades agrícolas, asociándolas con el auge y la subsecuente decadencia de sociedades en el Medio Oriente, Grecia, Roma y Mesoamérica (Beach et al. 2006; Montgomery, 2007).

En México, la agricultura se encuentra principalmente en manos de pequeños agricultores de temporal. En 2014, 70.5% de las unidades de producción eran menores a 5 hectáreas y estaban dedicadas a la siembra de maíz y frijol con un limitado apoyo gubernamental a través esencialmente de subsidios asistencialistas (Robles, 2018).

La agricultura de temporal anual se practica en todo el país, bajo distintos climas, suelos, condiciones orográficas contrastantes y con sistemas de producción muy diversos. Esta pequeña agricultura no solo mantiene los alimentos básicos de la dieta mexicana (maíz y frijol) sino que protege la agrobiodiversidad y representa una oportunidad para dinamizar las economías locales (Robles, 2018).

La seguridad alimentaria se cumple cuando “todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, para cubrir sus necesidades y preferencias alimentarias para una vida activa y sana” (FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS, 2018). Cualquier situación que la comprometa da

como resultado inseguridad alimentaria. Si bien en los últimos 20 años la tendencia en pobreza (o carencia) alimentaria ha ido disminuyendo en México, en 2016 todavía 24.6 millones de personas (19.8% de la población total) se encontraban en pobreza alimentaria (CONEVAL, 2016). Esto significa que casi uno de cada cinco habitantes aún carece de los recursos para satisfacer sus necesidades nutricionales mínimamente adecuadas. Por otro lado, la mayor pobreza alimentaria se encuentra en el medio rural, donde cuatro de cinco habitantes se ubica en esta condición (Ladrón de Guevara, 2017). En particular, la pobreza alimentaria en las regiones indígenas se extendió hasta 35.3% de la población en 2012 (CONEVAL, 2016).

La relación entre degradación de suelos y pobreza ha sido mencionada en diversos trabajos a nivel internacional (Scherr y Yadav, 1997; Malik, 1998) y especialmente analizada para el caso del continente africano (Barrett y Bevis, 2015, Sanchez y Swaminathan, 2005). Sin embargo, este tema aún no ha sido desarrollado ni discutido en América Latina y particularmente en México.

El objetivo de este trabajo consiste en realizar un primer acercamiento cartográfico y estadístico sobre la relación entre la erosión de los suelos agrícolas de temporal, cuyo destino es el autoconsumo y la carencia alimentaria en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de analizar la relación entre erosión de suelos y pobreza en el medio rural de México, esta investigación utilizó información pública producida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), llevándose a cabo en tres etapas (Corona, 2018, Figura 1).

Etapa 1. Recopilación de información

En el Cuadro 1 se resume la recopilación de información empleada en el presente modelo. Cabe señalar que los insumos utilizados provienen de fuentes abiertas de información de dependencias

de gobierno. En la primera columna (insumo) se presenta la información utilizada para cada tema, mientras que en la segunda columna (variable) se menciona la característica específica del insumo que fue utilizado.

Etapa 2. Procesamiento de la información

Para la construcción de la capa que integra la erosión y la agricultura se realizó la integración de los temas de agricultura, erosión y estadísticas del campo (véase Cuadro 1). En primer lugar se seleccionaron aquellas clases que conforman la agricultura de temporal y de humedad cuya duración del ciclo del cultivo es anual, reportadas en la Serie de Uso de Suelo y Vegetación V, así como las áreas que presentan erosión hídrica con pérdida de suelo superficial, contenidas en la Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana.

Dado que la premisa de este trabajo es que la erosión de suelos, a través del deterioro de las pro-

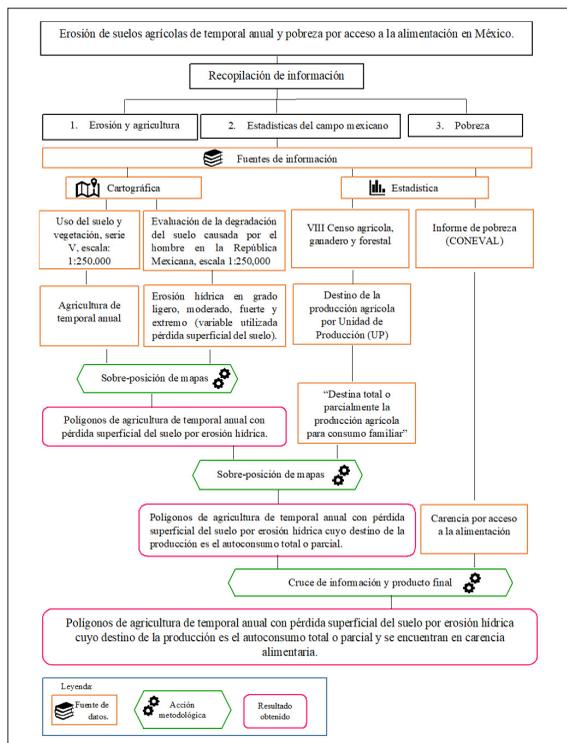


Figura 1. Diagrama metodológico para el estudio de la relación entre erosión de suelos agrícolas de temporal y carencia alimentaria en México.

Cuadro 1. Insumos de información para el estudio de la relación entre erosión de suelos agrícolas de temporal y carencia alimentaria en México.

Tema	Insumo	Variable (s)	Fuente	Año	Escala espacial
Agricultura	Serie de Uso de suelo y vegetación V	Áreas de agricultura de temporal anual	INEGI	2011	1:250 000
Erosión	Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana	Grado de erosión hídrica	SEMARNAT-COLPOS	2002	1:250 000
Estadísticas del campo	VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal	Destino de la producción	INEGI	2007	Área de control
Pobreza alimentaria	Informes de pobreza en México	Acceso a la alimentación	CONEVAL	2015	Municipal

pedradas edáficas, causa pérdida de rendimientos, lo que a su vez puede disminuir los ingresos de las familias que dependen exclusivamente de ellos (autosuficiencia), la información sobre erosión de suelos tenía que ser anterior a los datos de pobreza. Por ello, se utilizó la información generada por SEMARNAT-COLPOS en el 2002 y no información más reciente (INEGI, 2015).

En relación con las variables del censo agropecuario se procesaron las variables asociadas a las unidades de producción que destinan la totalidad de la producción al consumo familiar y aquellas que solo destinan parte de su producción. Dicha información se encuentra anidada a nivel de área de control, las cuales son una subdivisión de las áreas geoestadísticas básicas rurales, y que conforman el primer nivel de agregación después de la encuesta particular, información no disponible por confidencialidad de los datos. Estas áreas de control presentan una extensión territorial variable. A nivel nacional cuentan con una superficie promedio de 1068 ha. Superficie por encima del área mínima cartografiada (1 km²) de los otros insumos utilizados con escala 1:250 000.

Una vez procesados los polígonos respectivos a las variables de interés se procedió a realizar una sobreposición espacial o intersección geométrica a través de un sistema de información geográfica. Del cruce anterior se obtuvieron polígonos de agricultura de temporal anual con pérdida superficial del suelo a causa de erosión hídrica en grado

ligero, moderado, fuerte y extremo cuyo destino de la producción es para el autoconsumo total o parcial. Para tener una referencia territorial y obtener información por entidad federativa, se agregó el resultado anterior al área geoestadística estatal.

Se generó una base de datos con los resultados anteriores, a los que se les añadieron las estadísticas de carencia por acceso a la alimentación a nivel estatal y municipal (CONEVAL), considerando la población reportada en 2015, derivado de que los informes de pobreza se realizan cada dos años a nivel nacional y cinco a nivel municipal. Posteriormente esta información fue agrupada a nivel estatal. Cabe señalar que dicho número de personas no necesariamente están ubicadas y relacionadas con las zonas erosionadas de uso agrícola de temporal anual, pero es una aproximación a la presencia de la problemática en dichas entidades federativas y que impacta directa o indirectamente en la carencia alimentaria regional. Finalmente se obtuvo un mapa de suelos con uso agrícola de temporal anual con pérdida superficial por erosión hídrica en diferentes niveles (ligero, moderado, fuerte y extremo) cuyo destino de la producción es el autoconsumo total o parcial y población con carencia por acceso a la alimentación.

Etapa 3. Análisis estadístico

Para conocer la asociación entre la superficie agrícola de temporal anual con erosión hídrica y la

población con carencia por acceso a la alimentación, se realizó un análisis estadístico de correlación lineal a través del coeficiente de Pearson. Este análisis permite mostrar la relación entre estas dos variables cuantitativas, permite predecir el valor de una variable (pobreza) en relación al valor de la otra (erosión de suelos), así como estimar el nivel de correspondencia entre ambas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Agricultura de temporal y erosión de suelos

En 2014 existían 2 861 092 unidades de producción en superficies de temporal (79.7% del total de la superficie agrícola) que ocupaban 4 380 152 hectáreas. El 70.5% de las unidades eran menores a 5 hectáreas, dedicadas principalmente a agricultura de temporal (SAGARPA-FAO, 2014). Estas unidades corresponden a la Unidad Económica Rural (UER) Familiar de subsistencia sin vinculación al mercado (E1), cuyo rasgo principal es que no presenta ingresos por ventas o solo realiza ventas esporádicas de “excedentes no planeados” (SAGARPA-FAO, 2014).

A partir del cruce de información explicado en la Figura 1 se observa que, a nivel nacional, el 16% de las tierras agrícolas de temporal están erosionadas en diferente grado, predominando el nivel ligero.

Las tierras agrícolas erosionadas se distribuyen en 27 estados, concentrándose principalmente en Jalisco (13%), Oaxaca (12%), Michoacán (9%)

y Chihuahua (9%), Guanajuato (8%), en estos estados domina la erosión ligera, mientras que en Chihuahua y Zacatecas domina la erosión moderada (Figura 2).

Los estados en zonas áridas montañosas, como Chihuahua, Zacatecas, Durango, San Luis Potosí, Tamaulipas, Aguascalientes, Sonora y Coahuila, son aquellos que presentan mayor porcentaje de erosión moderada en zonas agrícolas de temporal. Si bien el relieve y el clima no son las únicas variables explicativas del proceso de erosión, pueden determinar su intensidad. El impacto sobre los suelos de la agricultura dependerá de los componentes del sistema agrícola, como fecha y modo de siembra, tipo y densidad del cultivo, método de cultivo y de cosecha, entre otros.

La erosión de suelos ocasiona la disminución en el contenido de carbono orgánico, lo cual afecta de manera negativa el nivel nutricional de los suelos, su tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua, ocasionando una disminución de su productividad e incrementando su vulnerabilidad a eventos hidrometeorológicos y disminuyendo su resiliencia (Olson et al., 2016; Minasny y Mc Bratney, 2017). Sin embargo, el impacto de la erosión de suelos será diferente en función de las características del suelo. Así, suelos profundos, con materia orgánica y buena estructura (como pueden ser los Andosoles, Cambisoles, Phaeozem, Chernozem) podrían tener una mayor resiliencia para subsanar el impacto ocasionado por el proceso de erosión, a diferencia de suelos como Regosoles,

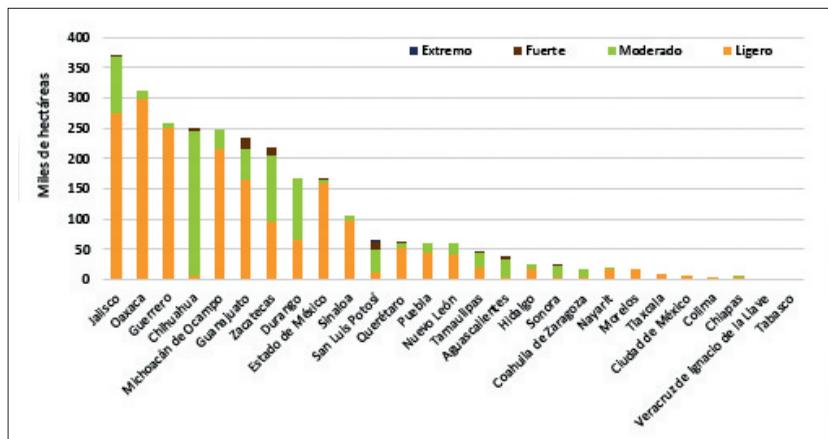


Figura 2. Superficie agrícola de temporal anual con erosión hídrica según grado por entidad federativa.

Leptosoles, Vertisol, Fluvisol (Krasilnikov et al., 2013; IUSS, 2007).

En términos de rendimiento, una pérdida de 5 cm de suelo puede ocasionar la reducción de 15% del rendimiento (SCS, 1977). En México, algunos estudios (González-Mateo et al., 2007) concluyen que el rendimiento de maíz puede disminuir en 0.47 ton/ha en zonas de erosión ligera y en 2.6 ton/ha en zonas de erosión fuerte, respectivamente. Considerando que el rendimiento promedio nacional es de 3.2 ton/ha, las áreas agrícolas de temporal con erosión pueden estar perdiendo hasta el 81% de su producción.

El impacto de la erosión de suelos sobre la productividad agrícola también es percibido por los agricultores, quienes reportaron en el VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (INEGI, 2007) y en la Encuesta Nacional Agropecuaria (INEGI, 2012, 2014a y 2017) a la pérdida de fertilidad del suelo como un problema en la realización de las actividades agropecuarias. Esta percepción se ha mantenido presente de manera variable en los últimos diez años (2007-2017) (Cuadro 2).

2. Destino de la producción

En el caso de las Unidades de producción de agricultura temporal con erosión (UPAE), el 56% de ellas destina los bienes agrícolas al autoconsumo total, mientras que 44% lo dedica al autoconsumo con venta de excedentes. Territorialmente las UPAE se localizaron en 41% de los municipios del país, siendo Oaxaca la entidad con el mayor número de este tipo de unidades, seguida por Chihuahua y Guerrero. En estas tres entidades, la superficie

agrícola de temporal destinada al autoconsumo está afectada por erosión hídrica (Figura 3). Mientras que en estados como Jalisco, Durango, Sinaloa, Zacatecas o Michoacán son las áreas agrícolas comerciales las que presentan mayores grados de erosión.

En la agricultura, los suelos constituyen un insumo clave para la producción; suelos pobres limitan la productividad agrícola y las ganancias asociadas, lo cual ocasiona la disminución de ingresos familiares y reducen el consumo de energía y proteínas en la dieta (Barett y Bevis, 2015).

El impacto ambiental, social y económico de la erosión de suelos en la agricultura de estos estados es heterogéneo y dependerá en gran medida de los sistemas productivos. En términos de resiliencia se han identificado grandes diferencias si los sistemas son monocultivos o sistemas diversificados. A diferencia de los primeros, los sistemas agrícolas diversificados mejoran la calidad del suelo, aumentan su retención de humedad, tienen una menor erosionabilidad y mayor resiliencia al cambio climático, por lo tanto, tienen más posibilidades de sobreponerse a procesos de erosión que los monocultivos (Nicholls, Altieri y Vázquez, 2015).

En los sistemas de monocultivo, sobre todo con riego, los rendimientos pueden ser 16 veces mayores de maíz grano que aquellos estados donde se realiza agricultura de temporal (SIAP), con extremos como Chihuahua, donde el rendimiento promedio (2016-2017) de maíz grano en temporal fue de 0.73 ton/ha y Sinaloa, que para esos mismos años el rendimiento promedio fue de 11.15 ton/ha. En estas parcelas, la presencia de mayores apoyos económicos, infraestructura tecnológica, capacitación, seguros, vías de comunicación e instituciones explican una creciente producción agrícola durante los últimos años (Robles, 2018). Sin embargo, las externalidades negativas son también muy elevadas, el uso intensivo de pesticidas impacta fuertemente la contaminación de suelos y aguas, e incide en serios problemas de salud pública (Bejarano, 2017). La dependencia en agroquímicos (insecticidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes) ha ocasionado el desarrollo de resistencia a los plaguicidas a malezas, insectos y enfermedades, y por último, la pérdida

Cuadro 2. Porcentaje de los productores que reportan la pérdida de fertilidad del suelo como problema en la realización de actividades agrícolas.

Principales problemas en la actividad agropecuaria	2007	2012	2014	2017
Pérdida de fertilidad de suelo	18%	48.6%	39.4%	28.44%

Fuente: VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal INEGI (2007) y Encuesta Nacional Agropecuaria INEGI (2012, 2014, 2017).

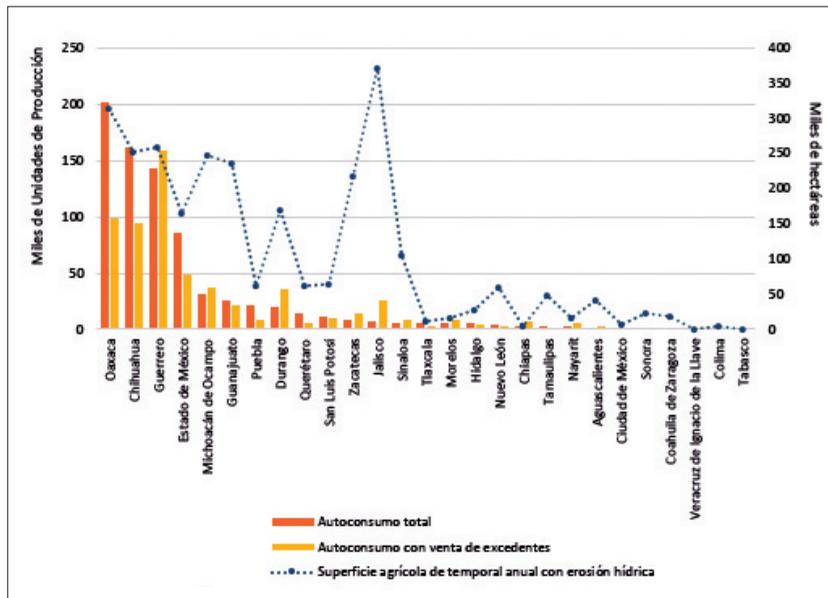


Figura 3. Destino de la producción en las Unidades de producción en agricultura de temporal anual. Fuente: VIII Censo Agrícola, ganadero y forestal, datos a nivel municipal se representó a nivel estatal.

de variabilidad genética de los principales cultivos (Etchevers, Saynes y Sánchez, 2016), entre varios otros impactos.

3. Pobreza por acceso a la alimentación

En México, durante los últimos 20 años las tendencias de la pobreza alimentaria siguen patrones heterogéneos tanto a nivel de regiones como en el tiempo. Varios autores coinciden en señalar que los productores de maíz y frijol fueron los per-

dedores del TLCAN en la agricultura mexicana (Nadal y Wise, 2005; Rubio, 2003). Así, entonces, las pequeñas y medianas familias campesinas se descapitalizaron y perdieron su capacidad de alimentarse a partir de su propia producción.

La distribución de la pobreza alimentaria a nivel nacional es desigual, concentrándose en algunos estados, principalmente en el Estado de México, Veracruz, Puebla, Jalisco, entre otros (Figura 4).

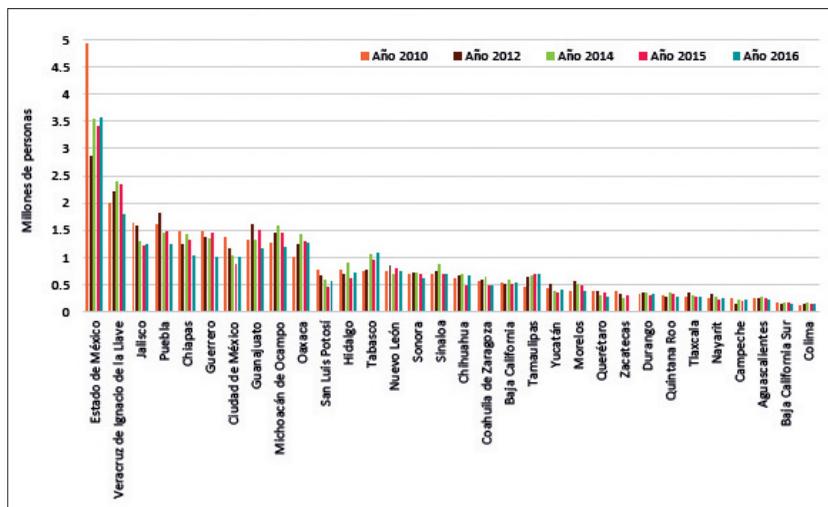


Figura 4. Número de personas en carencia por acceso a la alimentación (2010-2016). Fuente: Informes de pobreza en México (CONEVAL, 2010, 2012, 2014, 2015 y 2016).

Las Unidades de producción con suelos agrícolas erosionados (UPAE) están distribuidos en 1013 de los 2457 municipios del país (41% del total de municipios), donde 12.2 millones de personas registraron carencia alimentaria en 2010, cifra que en 2015 se redujo a 10.9 millones de personas. Sin embargo, es importante acotar que las personas registradas con esta carencia no necesariamente habitan en las UPAE, sino que se distribuyen en toda la extensión municipal.

Las entidades que presentan el mayor número de personas con carencia alimentaria y UPAE son Guerrero (37%), Oaxaca (31%), Michoacán (28%) y Guanajuato (24%) (Figura 5).

En estas unidades de producción la posibilidad de créditos, seguros o acceso a mercados es muy limitada (Robles 2012; Deininger y Heinegg, 1995), lo cual dificulta obtener el capital necesario para invertir en prácticas de conservación de suelos.

Una de las cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria consiste en la disponibilidad física de los alimentos, la cual se refiere a una oferta suficiente y es una función de la producción y del comercio neto de los alimentos (CONEVAL, 2015a). En el decil I, el de ingresos más bajos, se destina en promedio 46% del gasto total del hogar a alimentos, mientras que este porcentaje disminuye a 13.7% en el decil de ingresos más altos. Algunos factores que inciden en esta realidad son la ausencia de una red de almacenamiento de granos, la cual se encuentra

distribuida asimétricamente en el territorio, así como la infraestructura de caminos y carreteras (CONEVAL, 2015a); ambos factores se encuentran poco desarrollados en localidades marginadas de los estados de Oaxaca, Guerrero y Chiapas.

4. Relación entre superficie agrícola erosionada y carencia alimentaria

La correlación entre la superficie agrícola erosionada y la carencia alimentaria alcanza un valor de $r = 0.65$, que sugiere una relación positiva moderada entre ambas variables. Aunque los resultados no implican una relación causal si muestran claramente la conexión que existe entre la erosión de suelos agrícolas de temporal y la carencia alimentaria de la población a nivel agregado en el país, donde los estados de Guerrero, Michoacán, Guanajuato y Estado de México son los que presentan un mayor aporte al coeficiente de correlación (Figura 6). Esta asociación entre las variables coincide con otros estudios, especialmente del continente africano, donde se analizaron variables de PBI y de degradación de suelos, y se hallaron estrechas relaciones entre ellas (Barret y Bevis, 2015).

A nivel familiar, varios estudios muestran que la reducción de la fertilidad de los suelos causa que los hogares cayeran en la pobreza (Krishna et al., 2006; Barrett y Bevis, 2015). A este respecto falta explorar distintos factores ambientales, sociales e

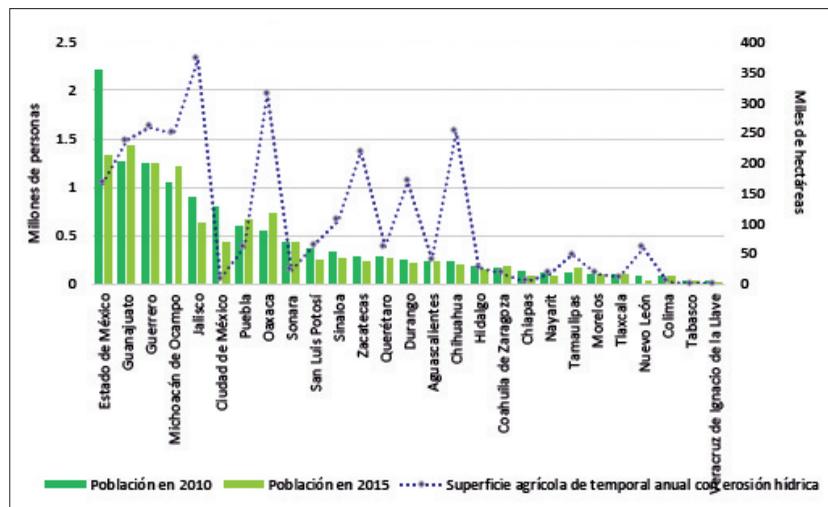


Figura 5. Población en carencia por acceso a la alimentación y superficie agrícola de temporal anual con erosión hídrica.

* Se identificaron los municipios donde se localizaban las UPAE, posteriormente se incorporó el número de personas a nivel municipal; para su fácil representación gráfica se realizó la sumatoria a nivel estatal.

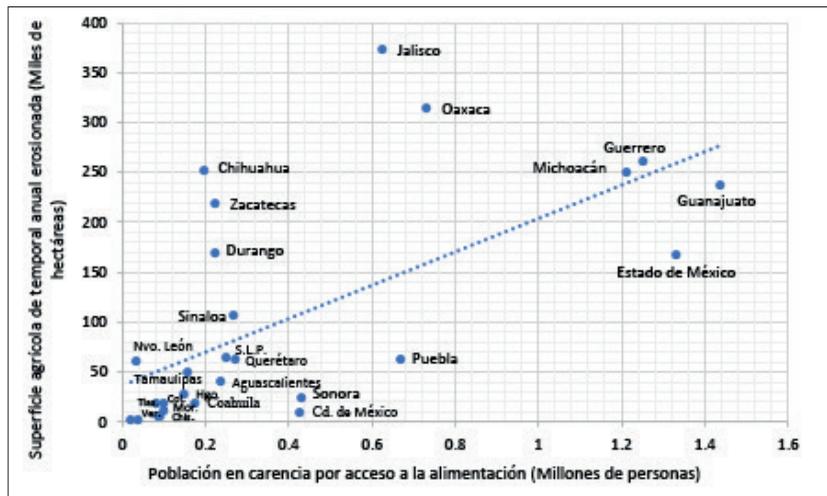


Figura 6. Gráfico de dispersión entre superficie agrícola de temporal anual erosionada y población en carencia por acceso a la alimentación.

institucionales que pueden estar influyendo en esta relación. Algunos de ellos son la resiliencia misma del suelo ante procesos de erosión, las características sociodemográficas de la población, en especial la tasa de migración de los jóvenes, que limita la posibilidad de mano de obra y de innovación en el campo (Zhang y Zhuang, 2019), y el papel de la tenencia de la tierra en la disposición a invertir en conservación de suelos (Soule, Tegene y Wiebe, 2000), entre otros.

Cartográficamente la relación entre superficie agrícola erosionada y la carencia alimentaria se concentra en los estados del centro-sur del país (Figura 7), con un núcleo duro de población con carencia alimentaria sobre suelos agrícolas con dominancia de erosión ligera, a excepción del estado de Guerrero donde domina la erosión moderada. También se puede observar que, a nivel estatal, la superficie erosionada es amplia en Chihuahua, Durango y Zacatecas, sin implicaciones notorias a nivel de la carencia alimentaria; mientras que en Sonora la superficie erosionada es mínima, en tanto que la población con carencia alimentaria es moderada. En estos casos, la dimensión física de los alimentos tendría menos peso que otras dimensiones, como el acceso económico de los alimentos, la utilización de los alimentos y la estabilidad en el tiempo (CONEVAL, 2015a).

Dado que en las penínsulas de Yucatán y de Baja California no hay registros de erosión hídrica en

la fuente de información utilizada (SEMARNAT-COLPOS, 2002) no se pudo cartografiar el estado de la carencia alimentaria en agricultura de temporal erosionada para esos estados.

Los suelos pueden deteriorarse de manera permanente ante un uso intensivo y sin inversiones en su conservación. Ante suelos más frágiles y erosionables, mayor es el riesgo de la irreversibilidad del impacto de la erosión. Sin embargo, hay elementos externos que también influyen en la erosión de suelos agrícolas. Entre algunos de ellos se pueden mencionar la presencia de ingresos obtenidos fuera de la parcela, los cuales, por un lado, pueden disminuir la cohesión institucional comunal, pero, por otro lado, pueden aportar ingresos necesarios para realizar trabajos de conservación de suelos (López, 1997). Los agricultores con parcelas de 2 ha o menos son altamente dependientes de estos ingresos externos (Deininger y Heinegg, 1995). Otros factores son el financiamiento, a partir de créditos, que permitiría la capitalización de las unidades de producción, el cual en 2007 solo cubrió al 4% de las UP; la migración rural-urbana, que entre muchos efectos ha causado el abandono de 1,4 millones de UP en el 2007 (Robles, 2012). Finalmente, la presencia de infraestructura rural, como carreteras, instalaciones de almacenamiento, servicios de comunicación reduciría costos de transacción y permitiría a los agricultores acceder a los mercados.

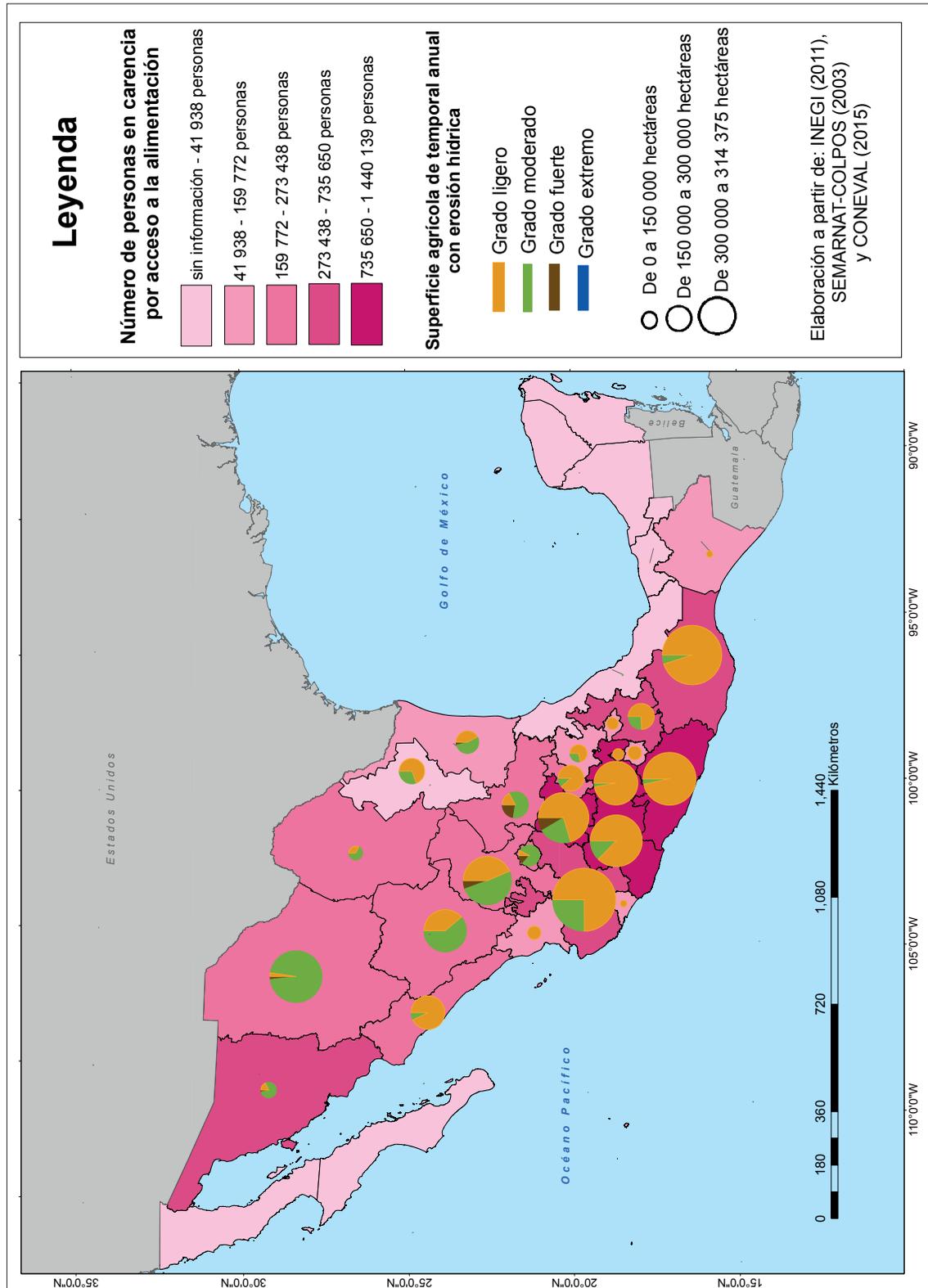


Figura 7. Superficie agrícola de temporal anual con erosión hídrica, según grado de erosión hídrica

En síntesis, si bien el crecimiento agrícola tiene gran potencial para reducir la pobreza, la falta de mejoras en la productividad de la tierra amenaza la pobreza rural (Deininger y Heinegg, 1995).

CONCLUSIONES

Este estudio presenta una ruta metodológica para realizar una primera aproximación entre la erosión de suelos y la pobreza alimentaria de agricultores de temporal, a través de fuentes gubernamentales. Sus resultados muestran que existe una correlación positiva media entre estas dos variables y que la correlación mayor se encuentra en los estados de Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Jalisco, Guanajuato y Estado de México.

La importancia de ambos temas, la seguridad alimentaria y la erosión de suelos están distribuidos en tres Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Fin de la pobreza (ODS 1), Hambre cero (ODS 2) y Vida de ecosistemas terrestres (ODS 15), los cuales se encuentran interconectados por la producción agrícola, responsable de producir “comida nutritiva a todo el planeta, así como generar ingresos decentes, apoyar el desarrollo centrado en las personas del campo y proteger el medio ambiente” (Naciones Unidas, ODS). Es así como el fortalecimiento de la seguridad alimentaria requiere de una agricultura sostenible basada en el control de la erosión de suelos y el mejoramiento de su calidad para garantizar una oferta suficiente de alimentos a nivel familiar primero y luego a nivel nacional.

A nivel nacional, la generación de indicadores que permitan la evaluación de estos ODS requiere la homologación de escalas, unidades y fechas de las fuentes de información gubernamental. Por otro lado, sería recomendable realizar estudios a nivel local para entender las relaciones existentes entre la erosión de suelos y la pobreza alimentaria.

La producción agrícola, en términos de rendimiento y diversidad, constituye la principal fuente de ingreso de los pequeños productores de autoconsumo. Los suelos constituyen su principal recurso, a partir del cual son capaces de obtener rendimientos con buena calidad nutricional (Brevik

y Sauer, 2015) a lo largo del tiempo. El deterioro de los suelos impacta la seguridad y la soberanía alimentaria de los productores, puede limitar la adopción de nuevas tecnologías, fomentar la migración (Barbosa y Carrao, 2017) y disminuir el valor nutricional de los alimentos (Brevik y Sauer, 2015). Los suelos pobres y la pobreza humana pueden, por lo tanto, reforzarse mutuamente, creando una “trampa de pobreza” (Barrett y Beevis, 2015).

En las últimas décadas, la erosión de suelos ha sido desatendida y mal enfocada por parte de los programas gubernamentales (Cotler, Martínez y Etchevers, 2016), por ello este problema se sigue extendiendo a nivel nacional, a ritmos muchas veces irreversibles. Ante los escenarios de cambio climático este proceso puede extenderse y agudizarse, ya que los cambios en cantidad e intensidad de precipitación y los cambios en los patrones espacio-temporales de las lluvias pueden acelerar los procesos de erosión (Li, 2016).

La investigación conjunta de dos procesos de naturaleza distinta, como son la erosión de suelos y la carencia alimentaria, requirió la utilización de diversas fuentes de información cuyo propósito responde a diferentes objetivos. Esta integración puede generar una serie de sesgos vinculados a la temporalidad de las fuentes de información, escala, nivel de agregación espacial e incertidumbre en el insumo que, a su vez, puede propiciar sesgos de ambigüedad espacio-temporal. Sin embargo, estos estudios de tipo exploratorio sirven para obtener un panorama a nivel nacional, además de propiciar preguntas de investigación y reflexiones en trabajos futuros con énfasis en insumos de mayor detalle y trabajo de campo que permitan llegar a resultados más finos a nivel regional o local.

Debido a la naturaleza de los insumos empleados, los resultados pueden tener variaciones, ya que la población con carencia alimentaria no necesariamente habita en los polígonos con agricultura, pues la población con carencia alimentaria, reportada en los informes de CONEVAL, se ubica a nivel municipal, y no habita necesariamente en los polígonos con agricultura. Sin embargo, es importante acotar que cuatro de cinco habitantes en pobreza alimentaria viven en el medio rural (Ladrón de Guevara, 2017), así que, si bien los

datos de Coneval se encuentran a nivel municipal, estos expresan sobre todo la situación a nivel rural. Por tanto, aunque el resultado de la correlación lineal no implique una relación causal, claramente muestra una conexión entre la erosión de suelos y la carencia alimentaria, que es importante seguir explorando a distintas escalas.

REFERENCIAS

- Adhikari, K., Hartemink, A. (2016). Linking soils to ecosystem services- a global review” *Geoderma*, 262, 101-111. doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009
- Barbosa, P. y Carrao, H. (Eds.) (2017). *Migración ambiental. Efecto de la sequía y desertificación de tierras en el desplazamiento de comunidades rurales de América Latina y el Caribe*. Joint Research Centre of the European Commission (OECD).
- Barrett, B. C., Bevis, L. E. M. (2015). The self-reinforcing feedback between low soil fertility and chronic poverty. *Nature Geoscience*, 8, 907-912. doi.org/ 10.1038/ngeo2591
- Beach, P. T., Dunning, N. P., Beach, S. L, Cooke, D. y Lohse, J. (2006). Impacts of the ancient Maya on soils and soil erosion in the central Maya Lowlands. *Catena*, 65(2), 166-178. DOI: 10.1016/j.catena.2005.11.007
- Bejarano F. (2017). Los plaguicidas altamente peligrosos: nuevo tema normativo internacional y su perfil nacional en México. En: F. Bejarano (Coord.), Los plaguicidas altamente peligrosos en México (pp.7-23). Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México A.C. Disponible en: <https://rap-al.org/wp-content/uploads/2017/09/Libro-Plaguicidas-Final-14-agst-2017-sin-portada.pdf>
- Brevik C.E., Sauer J.T. (2015) The past, present and future of soils and human health studies. *SOIL* 1, 35-46. doi:10.5194/soil-1-35-2015
- Bullock, J. M., Dhanjal-Adams, K. L., Milne, A., Oliver, T. H., Todman, L. C., Whitmore, A. P. & Pywell R.F. (2017) Resilience and food security: rethinking an ecological concept. *Journal of Ecology* 105(4), 880-884. doi.org/10.1111/1365-2745.12791
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) (2010). *Informe de Pobreza en México: el país, los estados y sus municipios 2010*. México. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. <https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/Paginas/Mosaicos/Informe-de-pobreza-en-Mexico-estados-y-municipios-2010.aspx>
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) (2012). *Informe de Pobreza en México 2012*. México. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. <https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/Paginas/Mosaicos/Informe-de-pobreza-en-Mexico-estados-y-municipios-2012.aspx>
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) (2014). *Informe de Pobreza en México 2014*. México. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. <https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/Paginas/Mosaicos/Informe-de-pobreza-en-Mexico-estados-y-municipios-2014.aspx>
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) (2015). Informe de resultados de la medición de pobreza 2014. Comunicado de prensa. No. 005. México. 31 pp. Disponible en: http://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Documents/Comunicado005_Medicion_pobreza_2014.pdf
- CONEVAL (2015a). *Diagnóstico sobre alimentación y nutrición*. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/ECNCH/Documents/Diagnostico_sobre_alimentacion_y_nutricion_270715.pdf
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) (2016). *Resultados de pobreza en México 2016 a nivel nacional y por entidades federativas*. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza_2016.aspx
- Corona A.J. (2018). *Erosión de suelos agrícolas y pobreza por acceso a la alimentación en México: una aproximación general*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cotler, H., López, C. A. y Martínez-Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigaciones Ambientales*, 3 (2), 31-43. Disponible en: <https://agua.org.mx/biblioteca/icuanto-nos-cuesta-la-erosion-de-suelos-aproximacion-a-una-valoracion-economica-de-la-perdida-de-suelos-agricolas-en-mexico/>
- Cotler, H., Martínez, M., Etchevers, J. (2016). La conservación de carbono orgánico en suelos agrícolas de México. Aportes de la investigación y su relación con políticas públicas. *Terra Latinoamericana*, 34, 125-138. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57344471009>
- Deininger, K. y Heinegg, A. (1995). *Rural poverty in Mexico*. World Bank-Latin American and Caribbean, Washington D.C. Disponible en: https://siteresources.worldbank.org/INTMEXICO/Resources/A_Study_of_Rural_Poverty_in_Mexico.pdf
- Etchevers, J. D., Saynes, S. y Sánchez, R. (2016). Ma-

- nejo sustentable del suelo para la producción agrícola. En: D. Martínez-C., J. Ramírez Juárez (Editores). *Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México: Hacia un enfoque integral de la producción de dieta, la salud y la cultura en beneficio de la sociedad* (pp. 63-79). Colegio de Postgraduados, México. Disponible en: <https://www.colpos.mx/posgrado/assets/pdf/puebla/MartinezzyRamirez-CienciaTecInnova2016.pdf>
- FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS. (2018). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentando resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición*. FAO, Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/3/I9553ES/i9553es.pdf>
- Flores-Sánchez, D., Groot, J. C., Lantinga, E. A., Kropff, M. J. y Rossing W. A. (2015). Options to improve family income, labor input and soil organic matter balances by soil management and maize-livestock interactions. Exploration of farm-specific options for a region in Southwest Mexico. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(4), 373-391. doi.org/10.1017/S1742170514000106
- González-Estrada A., Orrantia-Bustos M. A. (2006). Los subsidios agrícolas de México. *Agricultura Técnica en México*, 32 (3). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000300008
- González-Mateo, R., Volke Haller, V., González Ríos, J., Ocampo Portillo, M., Ortiz Solorio, C. y Manzo Ramos, F. (2007). Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal. *Terra Latinoamericana*, 25(4), 399-408. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/573/57315558008.pdf>
- Herrero, M., Thornton, P. K., Power, B., Bogard, J. R., Remans, R., Fritz, S. y Watson R.A. (2017). Farming and the geography of nutrient production for human use: a transdisciplinary analysis. *The Lancet Planetary Health*, 1(1), e33-e42. doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30007-4
- INEGI. (2011). *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie V, Continuo Nacional*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/usuarios/default.html#Descargas>
- INEGI. (2007). VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/default.html#Tabulados>. Fecha de consulta: junio de 2017.
- INEGI. (2012). *Encuesta Nacional Agropecuaria. México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/programas/ena/2012/default.html#Tabulados>. Fecha de consulta: junio de 2017.
- INEGI. (2014a). *Encuesta Nacional Agropecuaria. México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/programas/ena/2014/default.html#Tabulados>. Fecha de consulta: junio de 2017.
- INEGI. (2014). *Guía para la interpretación de cartografía Uso de Suelo y Vegetación, Serie V, escala 1:250,000*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 210 p. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usuarios/metadatos/guia_interusuarios.pdf.
- INEGI. (2015). *Erosión de suelos en México*. Disponible en: http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2014/especiales/especiales2014_07_1.pdf.
- INEGI. (2017). *Encuesta Nacional Agropecuaria*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Disponible en <http://www.beta.inegi.org.mx/programas/ena/2017/default.html#Tabulados>.
- IUSS Grupo de trabajo WRB. (2007). *Base Referencial Mundial del recurso Suelo, primera actualización*. Informes sobre recursos mundiales de suelo, n°103, FAO, Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>
- Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorna, C., Ahrens, J. R., Cruz-Gaistardo, O. C., Sedov, S. y Solleiro-Rebolledo, E. (2013). *The soils of Mexico*. Springer.
- Krishna, A. Lumonya, D., Markiewicz, M., Mugumya, E., Kafuko, A., Wegoye, J. (2006) Escaping poverty and becoming poor in 36 villages of central and western Uganda. *Journal of Development Studies*, 42, 346-370. doi.org/10.1080/00220380500405634
- Ladrón de Guevara, E. (2017). *Encuentro con organizaciones campesinas sobre el Tratado de Libre Comercio de América del Norte*. Presentación del Secretario Técnico en la Comisión de Desarrollo Rural del Senado de la República. Disponible en: http://www.senado.gob.mx/comisiones/desarrollo_rural/docs/Informe2_LXIII.pdf
- Lal, R. (2008). Soils and sustainable agriculture. A review. *Agronomy, Sustainability and Development* 28, 57-64. <https://link.springer.com/article/10.1051/agro:2007025>
- Lal R. (2009). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 1, 45-57. doi.10.1007/s12571-009-0009-z
- Li, Z. y Fang, H. (2016). Impacts of climate change on water erosion: a review. *Earth Science Review* 163, 94-117. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.10.004>
- López E.R. (1997) Where development can or cannot go: the role of poverty-environment linkages. En B. Pleskovic y J. E. Stiglitz, *World Bank Annual Conference on Development Economics* (pp. 285-315). World Bank,

- Washington D.C. Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/719821468740214930/pdf/multi0page.pdf>
- Malik, J. S. (1998). *Rural poverty and land degradation: a reality check for the CGIAR*. Consultative Group On International Agricultural Research, Food and Agriculture Organization of The United Nations Disponible en: <http://www.fao.org/wairdocs/tac/x5784e/x5784e0d.htm#TopOfPage>
- Minasny, B. y Mc Bratney, A. B. (2017) Limited effect of organic matter on soil available water Capacity. *European Journal of Soil Science*, 69(1): 2-9
- Montgomery, R. D. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *PNAS*, 104(33), 13268-13272. doi: [org/10.1073/pnas.0611508104](https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104)
- Nadal, A. y Wise, T. (2005). Los costos ambientales de la liberalización agrícola: el comercio de maíz entre México y EE.UU. en el marco del NAFTA. En H. Blanco, L. Togeiro y Gallagher K. (eds.). *Globalización y Medio Ambiente: Lecciones desde las Américas* (pp. 49-92). Santiago de Chile: RIDES-GDAE. Disponible en: <https://ase.tufts.edu/gdae/Pubs/rp/wg/ParteI.pdf>
- Nicholls, C., Altieri, M. y Vázquez, L. (2015). Agroecología: principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*, 10, 61-72. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/78f7/8a321b62171ef1edf49e1d077744347fc31b.pdf>
- Olson, K., Al-Kaisi, M., Lal, R. y Cihacek, L. (2016). Impact of soil erosion on soil organic carbon stocks. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71(3), 61-67.
- Organización de las Naciones Unidas. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Pimentel, D. (2006). Soil Erosion: A Food and Environmental Threat. *Environment, Development and Sustainability*, 8, 119-137.
- Robles, H. (2012). El caso de México. En: F. Soto y S. Gómez (Eds.), *Dinámicas del mercado de la tierra en América Latina y el Caribe: concentración y extranjerización* (pp. 307-342). FAO. Disponible en: www.fao.org/docrep/019/i2547s/i2547s.pdf
- Robles, H. (2018). *La organización económica de los pequeños y medianos productores, presente y futuro del campo mexicano*. Serie documento de trabajo n° 232. RIMISP, México. Disponible en: https://www.agter.org/bdf/es/corpus_chemin/fiche-chemin-770.html
- Rubio, B. (2003). *Explotados y excluidos. Los campesinos latinoamericanos en la fase agroexportadora neoliberal*. México: Plaza y Valdés. Disponible en: http://ru.iis.sociales.unam.mx/bitstream/IIS/2888/1/Explotados_y_excluidos_3ra_edicion.pdf
- SAGARPA-FAO. (2014). *Diagnóstico del sector rural y pesquero de México 2012*. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: www.fao.org/3/a-bc980s.pdf
- Sanchez, P. y Swaminathan, M. S. (2005). Hunger in Africa: the link between unhealthy people and unhealthy soils. *Lancet*, 365, 442-444. doi:10.1016/S0140-6736(05)17834-9
- Scherr, S. y Yadav, S. (1997) Soil degradation. A threat to developing-country food security by 2020. *International Food policy Research Institute*. Disponible en: <http://www.ifpri.org/publication/soil-degradation>
- Service of Soil Conservation (SSC). (1977). Midwest Technical Service Center. TSC Advisory Soils L1-13, July 14.
- SEMARNAT - Colegio de Postgraduados. (2002). *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002*. México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Shiferaw, B. y Bantilan, M. C. S. (2004). Agriculture, rural poverty and natural resource management in less favored environments: Revisiting challenges and conceptual issues. *Food, Agriculture and Environment*, 2 (1), 328-339.
- SIAP (Servicio de Agroalimentación pecuaria y pesquera). Consultado en abril de 2018 en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>,
- Soule, J. M., Tegene, A. y Wiebe, D. K. (2000). Land Tenure and the Adoption of Conservation Practices. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(4): 993-1005.
- Steffen, W., Richardson, K, Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., Vries, W., de Witt, C. A, de Folke, C., Gertein, 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), 1259855. DOI: 10.1126/science.1259855
- Vanek, S. J., Jones, A. D. y Drinkwater, L.E. (2016). Coupling of soil regeneration, food security, and nutrition outcomes in Andean subsistence agroecosystems. *Food Security*, 8(4), 727-742. DOI: 10.1007/s12571-016-0598-2
- Vanwalleghem, T., Gómez, J.A., Infante Amate, J., González de Molina, M., Vanderlinden, K., Guzmán, G., Laguna, A. y Giráldez, J.V. (2017) Impact of historical land use and soil management on soil erosion and agricultural sustainability during the Anthropocene. *Anthropocene*, 17, 13-29. <http://doi.org/10.1016/j.ancene.2017.01.002>
- Zhang, H. y Zhuang, L. (2019) The impact of soil erosion on internal migration in China. *PLoS ONE* 14(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215124>