

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,
Volumen 8, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3

**EROSIÓN HÍDRICA DE SUELOS EN HIDALGO:
PÉRDIDA ECONÓMICA EN MAÍZ GRANO,
POBREZA Y CARENCIA ALIMENTARIA**

**EROSION OF SOILS IN HIDALGO:
ECONOMIC LOSS IN MAIZE GRAIN, POVERTY,
AND FOOD INSECURITY**

Montserrat Nahuiollin Ruiz Alonso
Universidad Autónoma Chapingo, México

Juan Hernández Ortíz
Universidad Autónoma Chapingo, México

Ramón Valdivia Alcalá
Universidad Autónoma Chapingo, México

José Joaquín Flores Félix
Universidad Autónoma Metropolitana, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11723

Erosión Hídrica de Suelos en Hidalgo: Pérdida Económica en Maíz Grano, Pobreza y Carencia Alimentaria

Montserrat Nahuiollin Ruiz Alonso¹

montsenahuir@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-6363-7168>

Universidad Autónoma Chapingo

México

Juan Hernández Ortíz

jhdzo@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5957-594X>

Universidad Autónoma Chapingo

México

Ramón Valdivia Alcalá

ramvaldi@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0434-3169>

Universidad Autónoma Chapingo

México

José Joaquín Flores Félix

jjflores@correo.xoc.uam.mx

<https://orcid.org/0009-0002-1189-0435>

Universidad Autónoma Metropolitana

México

RESUMEN

La erosión hídrica afecta al sector agrícola al estar relacionada con la productividad de los suelos, promoviendo la pobreza y amenazando la seguridad alimentaria. Hidalgo es el segundo estado más afectado por erosión hídrica y el 50.6% de su población se encuentra en algún grado de pobreza. En el presente estudio se calculó la relación inversa entre la erosión hídrica y el rendimiento de la agricultura, así mismo, la correlación con la pobreza y la carencia alimentaria de la población. Para la evaluación se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y se obtuvo un coeficiente relacionado con los rendimientos de maíz grano mediante un modelo de regresión lineal múltiple; se evaluó económicamente la pérdida de productividad y un análisis de correlación para vincularlo a la pobreza y carencia alimentaria. Los resultados arrojan que en Hidalgo por cada tonelada por hectárea de suelo erosionada se pierden 0.0011 toneladas por hectárea de los rendimientos; esto en valores monetarios se puede traducir en una cantidad de 25 pesos por hectárea hasta 1663 pesos por hectárea. Mientras que en los factores socioeconómicos se observó una correlación más alta en los valores de pobreza ($r=0.42$) que con carencia alimentaria ($r=0.2$).

Palabras clave: erosión, rendimiento, seguridad alimentaria

¹ Autor principal.

Correspondencia: montsenahuir@gmail.com

Erosion of Soils in Hidalgo: Economic Loss in Maize Grain, Poverty, and Food Insecurity

ABSTRACT

Water erosion affects the agricultural sector by impacting soil productivity, promoting poverty, and threatening food security. Hidalgo is the second most affected state by water erosion, with 50.6% of its population experiencing some degree of poverty. In the present study, the inverse relationship between water erosion and agricultural yield was calculated, along with the correlation with poverty and food insecurity among the population. The Universal Soil Loss Equation (López, 1998) was used for the evaluation, and a coefficient related to maize grain yields was obtained through a multiple linear regression model. The economic impact of productivity loss was assessed, along with a correlation analysis to link it to poverty and food insecurity. The results indicate that in Hidalgo, for each ton per hectare of eroded soil, 0.0011 tons per hectare of yields are lost. This can be translated into monetary values ranging from 25 pesos per hectare to 1663 pesos per hectare. Socioeconomic factors showed a higher correlation with poverty values ($r=0.42$) than with food insecurity ($r=0.2$).

Keywords: erosion, yields, food security

Artículo recibido 18 mayo 2024

Aceptado para publicación: 24 junio 2024



INTRODUCCIÓN

La degradación de los recursos naturales proveniente de la erosión de suelos es un problema ambiental que impacta a los ámbitos económico, político y social.

El suelo es un recurso natural dinámico formado por materiales orgánicos y minerales, es considerado uno de los recursos más valiosos de una nación (Alvarado, et. al., 2007); provee diferentes funciones ambientales como el sustento de alimentos, almacenamiento de nutrientes, reservorio de materia orgánica y ser el hábitat de diversos microorganismos (Silva, et. al., 2010).

La erosión de suelos influye en los problemas económicos, políticos, sociales y ambientales (Jayanath, 2003) a nivel global y está directamente relacionada con los procesos de desertificación (Gisladottir, et. al., 2005). El uso del suelo a través de prácticas agrícolas insostenibles producen el agotamiento de la pérdida del capital natural suelo (Knowler, 2004); esto se transforma en un problema porque es un recurso no renovable (Cohen, et. al., 2006).

En México, el 45% del territorio nacional presenta algún grado de erosión, principalmente hídrica, y esto afecta al 77% de las actividades agrícolas (Cotler, et. al. 2010). De igual forma este proceso aumentará si no se toman medidas (Montanarella, 2007). En México y Centroamérica se calcula que en los últimos 45 años se han erosionado casi 61 millones de hectáreas (Alvarado, et. al., 2007).

En la agricultura el suelo es observado como un insumo esencial de la producción de cultivos (Enters, 1998), por lo que se requiere entender los procesos para aplicar medidas que disminuyan la vulnerabilidad de la agricultura a la erosión (Bakker, et. al., 2004). La relación de la erosión con la agricultura puede observarse mediante estudios que muestran la relación entre la profundidad del suelo y los rendimientos (Bakker, et. al., 2004), aunque las variaciones no sean solo por erosión hídrica.

Una de las situaciones que más preocupa a los investigadores es la pérdida de suelos por erosión, ya que de acuerdo con algunos autores puede estar relacionado con la pérdida de la productividad de los suelos a largo plazo (Pimentel, et. al., 1995), reducción de la capacidad de retener agua del suelo (Montanarella, 2007), disminución de la materia orgánica (Tegtmeier, et. al., 2004), reducción de las primeras capas del suelo limitando la disponibilidad de macro y micronutrientes para los cultivos (Martínez-Casasnovas, et. al., 2006, disminuyendo los rendimientos (Lal, 2008). El costo de la erosión es pagado por la disminución de la productividad agrícola (Pimentel, et. al., 1995).



El cultivo del maíz es de los cultivos más susceptibles a la erosión hídrica (Francisco, et. al., 2006), estudios indican que el rendimiento del maíz en función de la erosión decrece de 3.4 hasta 70 kg/ha al año, dependiendo del tipo de suelo (Pérez-Nieto, et. al., 1998).

El problema de medir la pérdida por erosión es que cada método brinda diferentes resultados del efecto de la erosión en los rendimientos (Bakker, et. al., 2004). A pesar de ello, el impacto en los rendimientos agrícolas puede ser subestimado cuando se aplican tecnologías en la producción (Knowler, 2004).

La mayor parte de los estudios realizados que relacionan la agricultura con la erosión han sido a nivel parcela, mientras que niveles más grandes como cuencas y regiones son mínimos (Cotler, et. al., 2010).

La evaluación económica de la pérdida de suelos es difícil ya que el proceso de la erosión es temporal, es decir, afecta la producción futura; por lo tanto, los efectos no son inmediatos; tiene consecuencias in-situ y off-situ que son complicadas de identificar y evaluar (Cotler, et. al., 2007). Así mismo, la mejora tecnológica como lo son los fertilizantes pueden ocultar el impacto de la erosión (Martínez-Casasnovas, et. al., 2006) de igual manera, la integración de materia orgánica y otras tecnologías que mejoren la nutrición del suelo tienen un efecto más pronunciado en el incremento del rendimiento que el de pérdida por erosión; por lo tanto, las zonas de estudio donde se apliquen estas técnicas podrían ocultar los efectos negativos de la erosión (Knowler, 2004).

La erosión de suelos no es solo un problema agrícola, está asociado con situaciones sociales (Enters, 1998) y económicas como la seguridad alimentaria y el desarrollo sustentable (Santos, et. al., 2011). Más del 70% de la población rural depende directamente de la tierra (Adhikari, et. al., 2011); por lo tanto, la pérdida de los rendimientos en los cultivos disminuye la capacidad de subsistencia de los agricultores (Cohen, et. al., 2006), afectando directamente los ingresos, limitando la inversión al campo y provocando pobreza, llevando a los productores y sus familias a una “trampa de pobreza” (Barret, et. al., 2015).

A pesar de sus implicaciones sociales y ambientales, la conservación de suelos no tiene un lugar en la agenda política mexicana (Cotler, et. al., 2010). Para que funcionen las reformas y políticas públicas requieren estar relacionadas con la realidad y los desafíos del desarrollo regional (Martínez, et. al., 2022).



En este trabajo se emplea la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (RUSLE) para la estimación de pérdida de suelos a nivel municipal, es uno de los métodos más utilizados para zonas más grandes que el parcelario (Cotler, et. al., 2010): conocer el grado de erosión de suelos puede brindar conocimientos de la sostenibilidad de un sistema (Alvarado, et. al., 2007), llevando a cabo investigación para la conservación (Gaspari , et. al., 2009); para la valoración económica de la erosión, Adhikari (2011), menciona el método de la función de producción para modelar la contribución física del recurso a la producción económica, en este estudio se utilizó esta metodología mediante un modelo de regresión lineal múltiple.

METODOLOGÍA

El estado de Hidalgo pertenece a una de las 32 entidades federativas de la República Mexicana. Se localiza en la región central de México, colindando con los estados de México, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, San Luis Potosí y Querétaro. Hidalgo tiene una extensión de 20,813 kilómetros cuadrados (km) y se ubica dentro de las coordenadas al norte 21° 24', al sur 19° 36' de latitud norte, al este 97° 58' y al oeste 99° 53' de longitud oeste (INEGI, 2020).

Figura 1. Ubicación del estado de Hidalgo



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.

El estado presenta diferentes climas dentro de su extensión territorial siendo los predominantes: templado subhúmedo (31.42%), templado semiseco (29.65%), semicálido húmedo (16.23%), templado húmedo (6.05%), semicálido subhúmedo (5.76%), semicálido semiseco (4.92%), semicálido seco (3.83%), semifrío subhúmedo (0.93%), cálido subhúmedo (0.84%), cálido húmedo (0.2%) y semiseco

muy cálido y cálido (0.17%). La temperatura media anual en este estado es de 16°C, destacando el mes más frío en enero con temperatura mínima alrededor de 4 °C y los más cálidos los meses de abril y mayo con temperatura máxima promedio de 27°C.

La precipitación media del estado es de 800 mm anuales. Las lluvias se presentan en verano, en los meses de junio a septiembre, al noreste de la entidad, en la región de la Huasteca y de la Sierra de Tenango, se presentan lluvias durante todo el año (INEGI, 2020).

Hidalgo se conforma principalmente por zonas agrícolas (44.4%), bosques (27%), matorrales (11.2%), pastizales (10.5%), selva (5.6%), además de otro tipo de vegetación, cuerpos de agua y zonas urbanas. En cuanto a vegetación predomina en el territorio los bosques húmedos de montaña y los bosques de coníferas y encinos, localizados sobre las sierras. Las principales especies presentes son: ocote rojo, encino hoja ancha, mirra, oyamel y encino manzanilla (INEGI, 2020).

De manera general en los principales cultivos agrícolas se encuentra: frijol, chile, maíz, alfalfa y trigo (INEGI, 2020). Sin embargo, en el cierre de producción agrícola de 2022 del estado de Hidalgo los principales cultivos fueron maíz grano con 204609.08 ha cosechadas con un valor de 4,266,828.86 miles de pesos, cebada grano con 105,138.15 ha cosechadas de valor de 1,232,493.57 miles de pesos, y alfalfa con 43,996.80 ha cosechadas aproximadamente 1,448,233.47 de miles de pesos. En comparación con el cierre anual del 2012, dichos cultivos también se presentan como principales; sin embargo, presentó una entrada mayor el cultivo de maguey pulquero con un valor de 1,422,276.12 miles de pesos en comparación a los cultivos de cebada grano (945,404.09 miles de pesos) y alfalfa (1463722.31 miles de pesos) respectivamente (SIAP, 2023).

Cálculo de la erosión de suelos

La erosión de suelos se determinó mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, según López Cadenas del Llano (1998) como lo presenta Montés-León, et. al. (2011), se presenta a continuación:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

donde:

A = Pérdida de suelo por erosión pluvial (ton/ha)

R = Factor índice de erosión pluvial (J*cm/m²*h);

K = Factor de erodabilidad del suelo (Mg m² h/ ha J cm);



LS = Factor topográfico,

C = Factor ordenación de cultivos;

P = Factor de control de erosión mediante prácticas de cultivo.

El factor R indica el potencial erosivo que tienen las precipitaciones, considerando la intensidad de la lluvia y la energía cinética, sin embargo, esto requiere datos de periodos cortos con los que no se cuenta, por lo que se optó hacer el cálculo mediante la ecuación regionalizada propuesta por Becerra (1997), donde se utilizó la ecuación de la región 1, esta ecuación presenta una R^2 de 0.92:

$$R = 1.2078 * P + 0.002276 * P^2$$

P = Precipitación media anual de cada municipio

El factor K se refiere a la susceptibilidad el suelo o resistencia de un horizonte del suelo a la erosión (Montés-León, et. al. , 2011), para este cálculo se utilizaron los datos de cada municipio acerca de su textura y el tipo de suelo de acuerdo con la clasificación de suelos del WRB (*World Reference Base for Soil Resources*).

El factor LS es la representación numérica del efecto de la topografía sobre la erosión, considerando la longitud y el grado de pendiente. Para determinar el valor de este factor se utilizó la metodología de Renard, en la cual:

$$L = \left(\frac{X}{22.13}\right)^m$$

Donde:

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

$$\beta = \frac{\frac{\text{sen}\theta}{0.0896}}{[3(\text{sen}\theta)^{0.8} + 0.56]}$$

θ es la pendiente del terreno.

Mientras que el factor S se evaluó de acuerdo con el grado de pendiente que presente:

$$S = 10.8 \text{ sen}\theta + 0.03 \quad \theta \leq 9\%$$

$$S = 16.8 \text{ sen}\theta - 0.50 \quad \theta > 9\%$$

El valor de LS se obtiene de la multiplicación de L y S obtenidos.



El valor del factor C fue el mismo para todos los municipios ya que solo está evaluando el uso de suelo con agricultura de temporal, este fue tomado de autores como Becerra (1997).

El factor P considera las prácticas de conservación de suelos; a pesar de eso, el valor considerado fue de P=1 ya que las bases de datos solo contienen datos de labranza de conservación y fertilidad de suelos, los cuáles no son considerados como prácticas de conservación en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos.

Diseño del modelo

Para relacionar la erosión hídrica de suelos con los rendimientos de maíz grano se realizó un modelo de Regresión Lineal Múltiple como técnica estadística:

$$y_j = b_0 + b_1x_{1j} + b_2x_{2j} + \dots + b_kx_{kj} + u_j$$

Donde y será el rendimiento y x las variables exógenas, u los residuos y b los coeficientes estimados del efecto marginal entre cada x e y . Las variables exógenas del modelo fueron pérdida de suelo por erosión hídrica, porcentaje de productores que utilizan fertilizantes, porcentaje de productores que utilizan herbicidas, porcentaje de productores que tienen acceso a programas agrícolas, porcentaje de productores que tienen acceso a créditos y la precipitación media anual.

Las variables que no fueron significativas al modelo, por lo que no se consideraron en el modelo final fueron profundidad del suelo, grado de mecanización, precio medio rural, asistencia técnica para la producción y aumento tecnológico en semillas.

Los datos obtenidos sobre el área de tecnología como lo son la fertilización del suelo con químicos u orgánicos y herbicidas químicos u orgánicos, originalmente se encontraban como porcentajes de productores que adoptaron estas prácticas, para utilizarlas en el modelo se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de mejora tecnológica de } x_i = \frac{\sum_1^j x_{ij} * P_{ij}}{n}$$

Donde x puede tomar los valores de fertilización (2) o herbicidas (3), y j es el grado de mejora tecnológica (Cuadro 1), y n es el valor mayor de mejora tecnológica para cada categoría.

Cuadro 1. Grados de mejora tecnológica considerados

X	Tecnología	Grado de mejora tecnológica
X2 j= 1,2	Fertilización	1. Orgánica 2. Química
X3 j=1,2	Herbicidas	1- Orgánico 2- Químico

Fuente: Elaboración propia.

La comprobación de la idoneidad del modelo obtenido se llevó a cabo calculando el coeficiente de determinación R^2 . El coeficiente de determinación se obtuvo mediante:

$$R^2 = \frac{S_{\hat{y}}^2}{S_y^2}$$

Donde se obtiene el cociente de las varianzas.

Se realizó un contraste de hipótesis sobre los parámetros del modelo, donde para cada β_j se tiene una hipótesis nula ($H_0: B_j = 0$) y una hipótesis alternativa ($H_1: B_j \neq 0$). Se comprobó el rechazo de la hipótesis nula mediante el estadístico de contraste para todas las variables:

$$t = \frac{\hat{\beta}_j}{S_{\hat{\beta}_j}}$$

Donde los valores críticos de $\pm t_{\frac{\alpha}{2}; n-k-1}$, de forma que si t es mayor al t de tablas se rechaza la hipótesis nula y si t es menor al t de tablas no se rechaza la hipótesis nula.

Se obtuvo un modelo con 6 variables significativa que fueron la erosión hídrica, fertilización del suelo, uso de herbicidas, acceso a programas agrícolas, acceso a créditos y precipitación media anual

El contraste conjunto del modelo se realizó mediante el estadístico de contraste, el cual consiste en la observación de la distribución F cuando la hipótesis nula es cierta.

$$f = \frac{SCR/k}{SCE/(n-k-1)}$$

Dónde SCT es la suma de cuadrados, SCE es la suma de cuadrados de los errores y SCR en la suma de cuadrados de la regresión.

El criterio de decisión se realizó a través de un nivel de significación α , donde recaba el valor de F de tablas ($F_{\alpha; k; n-k-1}$) y si f es mayor al F de tablas se rechazará H_0

De esta forma se comprobó la viabilidad del modelo obtenido.



Pérdida económica de la producción

La medición el impacto económico de la erosión hídrica en la productividad del suelo se puede hacer mediante diferentes análisis como lo son la pérdida por disminución de la productividad, el costo asociado a la mitigación, conservación y/o restauración del suelo o el costo social del daño.

Para evaluar la pérdida económica por disminución de la productividad se utilizó la ecuación de Cotler, et. al., 2007, modificado para considerar el valor de pérdida por erosión (β_1) obtenido en la regresión, por lo que modificado se utilizó de la siguiente forma:

$$C_i = P_m * \beta_1 * E$$

Dónde:

C_i = Costo de la erosión por hectárea en cada municipio de estudio (\$).

P_m = Precio de mercado por tonelada de producto agrícola.

β_1 = Pérdida de producto en toneladas por hectárea asociada la erosión en toneladas por h

E = Erosión hídrica en toneladas por hectáreas obtenida por USLE

Por último, se calculó una media de pérdida económica en la producción de maíz grano por erosión hídrica de suelos con causa agrícola en el estado de Hidalgo.

Relación erosión hídrica de suelos y pobreza

Para relacionar las variables obtenidas con la pobreza y la carencia alimentaria se realizó un análisis de correlación, el cuál determinó si existe una asociación lineal entre la erosión de suelos, el índice de pobreza y la carencia alimentaria. La erosión de suelos desde sus unidades de pérdida en toneladas por hectárea, el rendimiento del maíz grano en toneladas por hectárea, el costo por erosión hídrica de suelos por hectárea y total perdido por municipio.

El coeficiente de correlación de Pearson se destaca por dar una magnitud y signo, el primero refleja el nivel de asociación de las variables, en valor absoluto va del 0 al 1, donde el cero indica la inexistencia de asociación entre las variables. El signo por su parte, indica la dirección en que existe esta relación, un signo positivo indica que las variables van en el mismo sentido, es decir, si una variable aumenta, la otra también, mientras un signo negativo da a entender que el crecimiento de una variable disminuye la otra.

Este tipo de análisis a nivel país ya fue llevado a cabo por Cotler, et. al., (2020), por lo que se estableció seguir por este tipo de análisis para estas variables.

La correlación se puede calcular con la siguiente formula (Zar, 1999):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n XY - \frac{\sum_{i=1}^n X \sum_{i=1}^n Y}{n}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n X^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X)^2}{n}\right) \left(\sum_{i=1}^n Y^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y)^2}{n}\right)}}$$

Es importante calcular el error estándar o un intervalo de confianza, así como una prueba de hipótesis para determinar si el coeficiente es estadísticamente diferente de cero; por lo tanto, el error estándar de la correlación se calcula con la siguiente formula:

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}$$

Mientras que la prueba de hipótesis se puede realizar con los siguientes supuestos:

- Hipótesis nula H_0 : $r = 0$
- Hipótesis alternativa H_1 : $r \neq 0$

El estadístico de prueba se calcula como:

$$t = \frac{r}{S_r}$$

Con los valores obtenidos de r , S_r y t se realizó una tabla para comparar los valores de cada dupla.

Recopilación de la información

El proceso completo se llevó a cabo utilizando bases de datos de instituciones públicas. Los datos obtenidos y sus fuentes son las siguientes (Cuadro 2):

Cuadro 2. Base de datos utilizada

Nombre	Información	Fuente	Año
Límites municipales	Municipios de Hidalgo	INEGI	-
Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, serie VII. Conjunto Nacional	Agricultura de temporal	INEGI	2021
Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1:250,00, Serie II (Continuo Nacional)	Características edafológicas	INEGI	2012
“Degradación del suelo en la República Mexicana - Escala 1:250 000”	Profundidad del suelo, zonas con erosión hídrica.	IDEFOR	2012
Cierre Agrícola Municipal	Superficie sembrada	SIAP	2012-2022

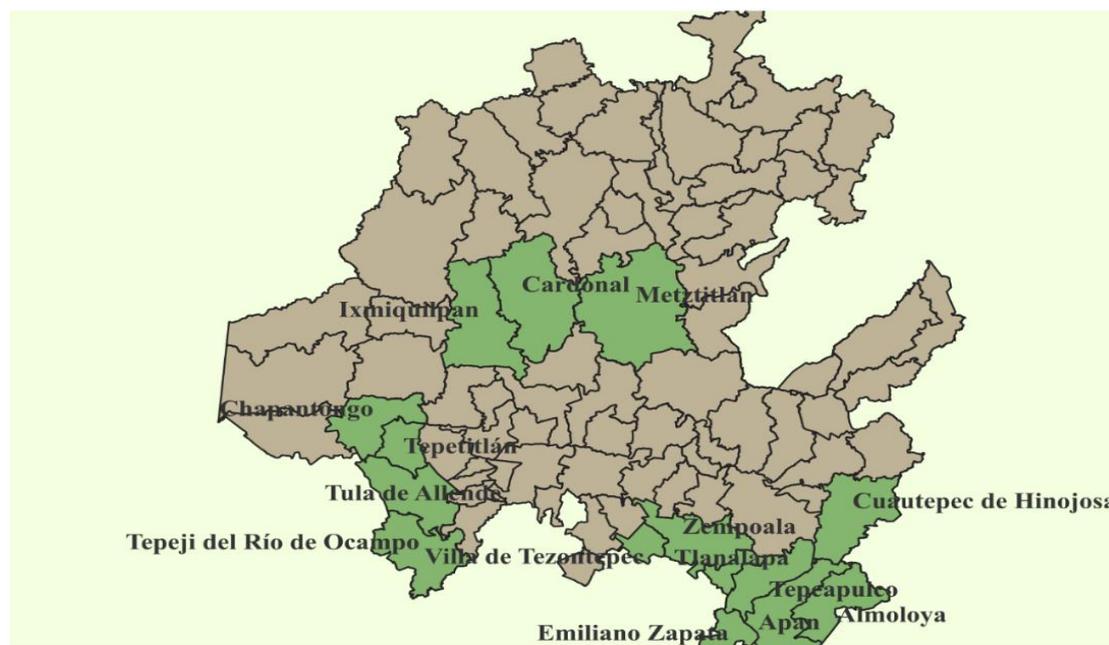
	Rendimientos de maíz grano en agricultura de temporal		
Normales climatológicas	Precipitación media anual (P)	CONAGUA	2012-2022
Informes de pobreza	Niveles de pobreza. Nivel de carencia alimentaria	CONEVAL	2015
Censo Agropecuario 2022	Tecnología en sector agrícola: Semillas, fertilización, herbicidas, etc.	INEGI	2022

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los municipios estudiados son aquellos que cumplen con los requisitos de producción agrícola en temporal con algún grado de erosión hídrica por causas agrícolas (Figura 2). Se puede observar los municipios agrupados en tres áreas del estado, esto debido a sus características edafológicas y climatológicas de la zona.

Figura 2. Municipios que reportan agricultura de temporal y erosión hídrica de suelos en Hidalgo



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Los municipios escogidos coinciden con los mapas CONABIO (2012), en zonas donde domina la erosión laminar, la degradación de suelos moderada y severa, además, en la revisión de rendimientos del SIAP (2022), estos municipios se encuentran en todo el rango de rendimientos presentados.

Erosión hídrica calculada

Los municipios estudiados por su grado de erosión hídrica se presentan en el cuadro 3 donde se observa que la mayor parte de los municipios presenta un nivel de erosión calificado como fuerte presentando mayormente tipo de erosión hídrica laminar.

Cuadro 3. Grado de erosión hídrica de suelos de los municipios con agricultura de temporal de Hidalgo

N	Municipios	Tipo de erosión hídrica	Grado de erosión
1	Almoloya	Cárcavas	Extremo
2	Apan	Laminar	Fuerte
3	Cardonal	Laminar	Moderado
4	Chapatongo	Laminar	Fuerte
5	Cuautepec de Hinojosa	Laminar	Extremo
6	Emiliano Zapata	Surcos	Moderado
7	Ixmiquilpan	Laminar	Leve
8	Metztitlán	Laminar	Moderado
9	Tepeapulco	Cárcavas	Moderado
10	Tepeji del Río de Ocampo	Laminar	Fuerte
11	Tepetitlán	Laminar	Extremo
12	Tlanalapa	Laminar	Fuerte
13	Tula de Allende	Laminar	Fuerte
14	Villa de Tezontepec	Surcos	Moderado
15	Zempoala	Laminar	Fuerte

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

La precipitación media anual de la zona no tiene gran variación, se encuentra entre los 300 y 700 mm, adicionalmente se observó que el comportamiento de las lluvias coincide con lo reportado en INEGI (2024) en el cual se menciona que las lluvias son más intensas entre los meses de junio, julio, agosto y septiembre (régimen de lluvia en verano), a pesar de eso, están debajo de la precipitación media del estado la cual es de 800 mm anuales, esto puede deberse a que en los municipios estudiados el clima predominante es el seco y semiseco (INEGI, 2024).

Recordando que el valor obtenido para la Erosividad (R) se obtuvo de la ecuación R, mediante la ecuación regionalizada propuesta por Becerra (1997); se presenta en un rango de 734.62 Mj.mm/ha.h con una precipitación media anual de 361.7 mm hasta 1893.14 Mj.mm/ha.h con una precipitación media anual de 684.5mm, es decir a mayor precipitación mayor valor de Erosividad de la lluvia (R).Cuadro 4



Cuadro 4. Factor de Erosividad de la lluvia (R)

Municipio	Factor R (MJ.mm/ha.h)
Almoloya	1893.14
Apan	1616.48
Cardonal	876.56
Cuautepec De Hinojosa	1613.67
Chapantongo	1376.25
Emiliano Zapata	1265.38
Ixmiquilpan	734.62
Metztitlán	888.89
Tepeapulco	1733.79
Tepeji Del Río De Ocampo	1302.36
Tepetitlán	1150.01
Villa De Tezontepec	996.27
Tlanalapa	1274.76
Tula De Allende	1203.03
Zempoala	1593.23

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5. Factor de Erosividad del suelo (K)

Municipio	Tipo de suelo	Textura	Factor K
Almoloya	PH	F	0.007
Apan	PH	F	0.007
Cardonal	KS	F	0.026
Cuautepec De Hinojosa	PH	F	0.007
Chapantongo	PH	G	0.013
Emiliano Zapata	PH	G	0.013
Ixmiquilpan	LP	F	0.007
Metztitlán	LP	F	0.007
Tepeapulco	PH	F	0.007
Tepeji Del Río De Ocampo	PH	M	0.02
Tepetitlán	PH	G	0.013
Villa De Tezontepec	PH	G	0.013
Tlanalapa	PH	F	0.007
Tula De Allende	PH	F	0.007
Zempoala	PH	F	0.007

Fuente: Elaboración propia

El factor de Erosividad del suelo (K) fue valorado de acuerdo con el edafológico nacional y la clasificación de suelos que se reportan, los valores obtenidos muestran una variación entre el 0.007 y 0.026 tonh/MJ.mm (Cuadro 5).

El resultado del factor topográfico LS fue obtenido mediante los valores medios de longitud-pendiente de cada municipio. Este valor puede ser más alto entre más aumente el valor de la pendiente y la longitud



que se presenta sea más corta. Los valores obtenidos presentaron una variación entre 1.37 con la pendiente media más baja y 26.37 en el municipio con la pendiente más pronunciada (Cuadro 6).

Cuadro 6. Factor topográfico longitud-pendiente (LS)

Municipio	Pendiente media	L	S	LS
Almoloya	0.19	2.18	2.67	5.82
Apan	0.34	2.54	5.10	12.98
Cardonal	0.60	2.26	8.99	20.30
Cuautepec De Hinojosa	0.29	2.19	4.30	9.42
Chapantongo	0.20	2.15	2.84	6.10
Emiliano Zapata	0.16	2.13	2.18	4.63
Ixmiquilpan	0.06	2.02	0.68	1.37
Metztitlán	0.80	2.28	11.55	26.37
Tepeapulco	0.11	2.09	1.34	2.81
Tepeji Del Río De Ocampo	0.08	2.05	0.89	1.83
Tepetitlán	0.20	2.15	2.84	6.10
Villa De Tezontepec	0.40	2.22	6.04	13.42
Tlanalapa	0.11	2.09	1.34	2.81
Tula De Allende	0.14	2.11	1.84	3.90
Zempoala	0.11	1.94	1.34	2.61

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó previamente el factor de vegetación y cultivo (C) y el factor de prácticas de conservación (P) fueron valores constantes, 0.75 y 1 respectivamente, debido a que solo se consideró el área de producción agrícola; por lo tanto, no existe otro uso de suelo a evaluar y no se cuentan con datos parcelarios de conservación de suelos. El municipio con mayor valor de erosión hídrica es Cardonal (346.93 ton/ha/año), esto debido a que el valor que reporta del factor topográfico Longitud-Pendiente es de los más altos como resultado de que su pendiente es la más pronunciada (0.6) de los municipios estudiados, así mismo, el factor de Erosividad de suelos también es de los más altos debido a su tipo de suelo. El municipio que reporta menor erosión hídrica es Ixmiquilpan (5.29 ton/ha/año), contiene los valores más bajos en los tres factores calculados (R, K y LS) (Cuadro 7). El promedio de pérdida de suelo por erosión hídrica en los municipios estudiados es de 77.88 ton/ha/año, este valor de acuerdo con Montes-León, et. al. (2011) se considera en un rango de erosión media.



Cuadro 7. Valores de erosión obtenidos por municipio

Municipio	Erosividad de la lluvia (R)	Erosividad del suelo (K)	Factor topográfico longitud-pendiente (LS)	Factor de vegetación y cultivo (C)	Prácticas de conservación (P)	Erosión hídrica (ton/ha)
Ixmiquilpan	734.62	0.007	1.37	0.75	1	5.29
Zempoala	1593.23	0.007	2.61	0.75	1	21.86
Tepeapulco	1733.79	0.007	2.81	0.75	1	25.55
Tula De Allende	1274.76	0.007	3.90	0.75	1	26.09
Tlanalapa	996.27	0.013	2.81	0.75	1	27.26
Tepeji Del Río De Ocampo	1302.36	0.02	1.83	0.75	1	35.83
Chapantongo	1613.67	0.007	6.10	0.75	1	51.71
Emiliano Zapata	1265.38	0.013	4.63	0.75	1	57.13
Almoleya	1893.14	0.007	5.82	0.75	1	57.80
Tepetitlán	1150.01	0.013	6.10	0.75	1	68.44
Villa De Tezontepec	1203.03	0.007	13.42	0.75	1	84.75
Apan	1616.48	0.007	12.98	0.75	1	110.12
Metztitlán	888.89	0.007	26.37	0.75	1	123.06
Cuautepec De Hinojosa	1376.25	0.013	9.42	0.75	1	126.41
Cardonal	876.56	0.026	20.30	0.75	1	346.93

Fuente: Elaboración propia

Modelo de regresión lineal múltiple para el maíz grano

Los rendimientos del maíz grano varían de 0.36 hasta 1.93 ton/ha en los municipios estudiados, es un valor bajo en contraste con la media nacional la cual es 3.6 ton/ha. Se observa que en general si hay una relación entre las variables estudiadas, sin embargo, la erosión por sí sola no explica el comportamiento del rendimiento del maíz grano, por lo que la erosión es la primera variable independiente (x_1) Cuadro 9

El rendimiento de los cultivos agrícolas se ve influencia por la precipitación, la fertilización del suelo, agroquímicos, inversión al campo y programas gubernamentales; por lo tanto, se realizó una regresión lineal múltiple, el modelo resultado es el siguiente, sus valores estadísticos se pueden observar en los cuadros 10 y 11:

$$R_m = -0.8774 - 0.0011ER + 0.0274F - 0.0105H + 0.0360AP + 0.0026AC - 0.0015PMA$$

Donde

ER = Pérdida de suelo por erosión hídrica (ton/ha)



F = Productores que fertilizan el suelo (%)

H = Productores que utilizan herbicidas (%)

AP = Productores que tienen acceso a programas agrícolas (%)

AC = Productores que tienen acceso a créditos (%)

PMA = Precipitación media anual (mm)

Se observa que, mediante las betas calculadas, el acceso a programas agrícolas es una de las variables que afecta más al cambio en el rendimiento del maíz grano en Hidalgo y el segundo es la fertilización de suelos, así mismo la precipitación se vuelve un coeficiente negativo por su relación con la erosión de suelos.

Cuadro 8. Rendimiento del maíz grano y erosión calculada

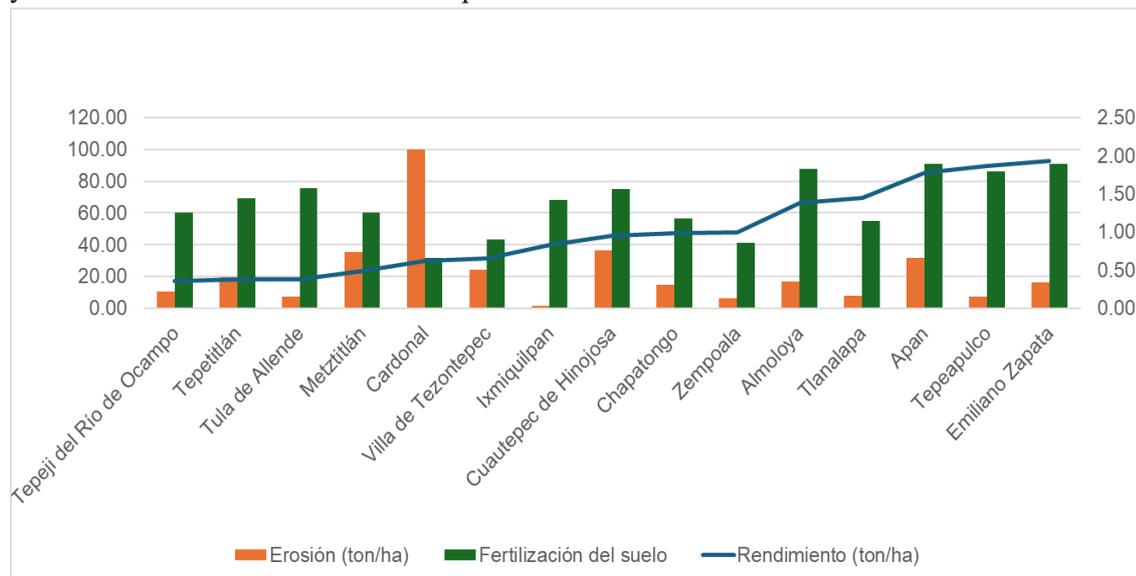
Municipio	Rendimiento (ton/ha)	Erosión (ton/ha)
Tepeji del Río de Ocampo	0.36	35.83
Tepetitlán	0.38	68.44
Tula de Allende	0.38	26.09
Metztitlán	0.49	123.06
Cardonal	0.62	346.93
Villa de Tezontepec	0.65	84.75
Ixmiquilpan	0.83	5.29
Cuautepec de Hinojosa	0.95	126.41
Chapatongo	0.98	51.71
Zempoala	1.00	21.86
Almoloya	1.38	57.80
Tlanalapa	1.45	27.26
Apan	1.78	110.12
Tepeapulco	1.87	25.55
Emiliano Zapata	1.93	57.13

Fuente: Elaboración propia.

La fertilización del suelo es un insumo que tiene una relación directa con los rendimientos, como se observa en la Figura 4, empero, hay otros factores que disminuyen los rendimientos a pesar de que los porcentajes de aplicación de fertilización de suelos sean altos; Ávila (2001) menciona que el sector agrícola ha pagado más por las materias primas que utiliza, como los fertilizantes, que por lo recibido en la venta de su producto.

Al evaluar el comportamiento de los datos elegidos se observa la existencia de una relación fuerte entre el rendimiento y la fertilización de suelos (Figura 4), no obstante, existen municipios que aún con un porcentaje alto de fertilización de suelos presentan rendimientos bajos, por lo que se siguieron revisando cada una de las variables.

Figura 4. Comportamiento de los rendimientos de maíz grano de acuerdo con la fertilización del suelo y erosión hídrica en una escala municipal.

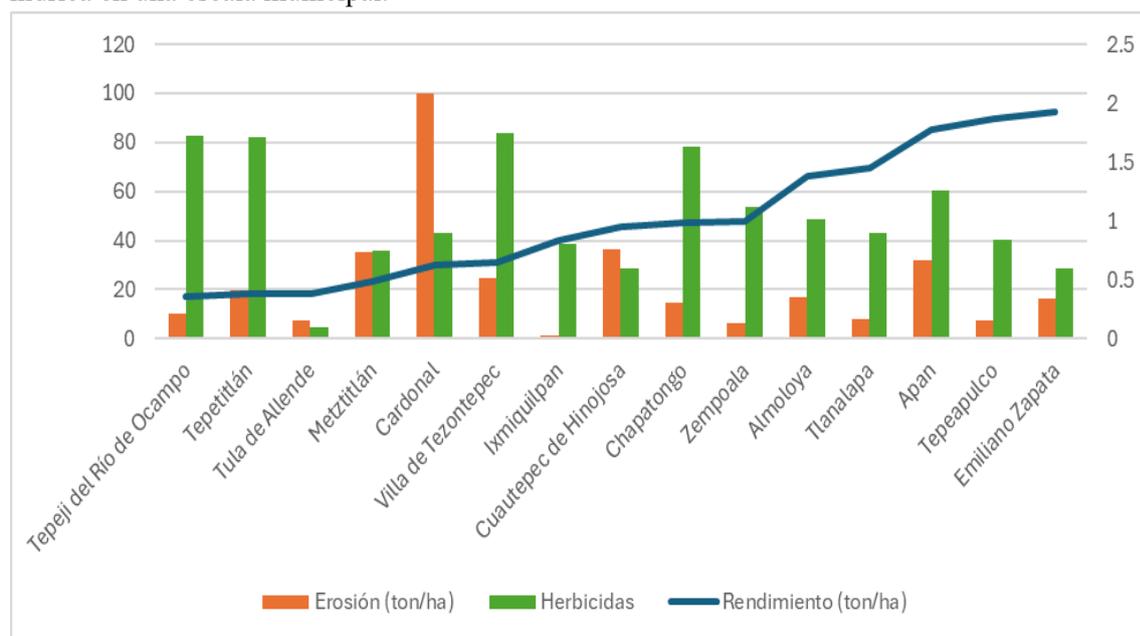


Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.

En los herbicidas es más notorio que su aplicación está relacionada con la disminución de los rendimientos del maíz (Figura 5) y podría realizarse una revisión del uso de este químico para ver si su uso ha aumentado con el tiempo, o se aplican buenas prácticas, porque los herbicidas son benéficos para la agricultura siempre que se utilicen las dosis correctas y se lleve un manejo adecuado, en caso contrario, los herbicidas pueden dañar la salud de las plantas y el microbiota del suelo.

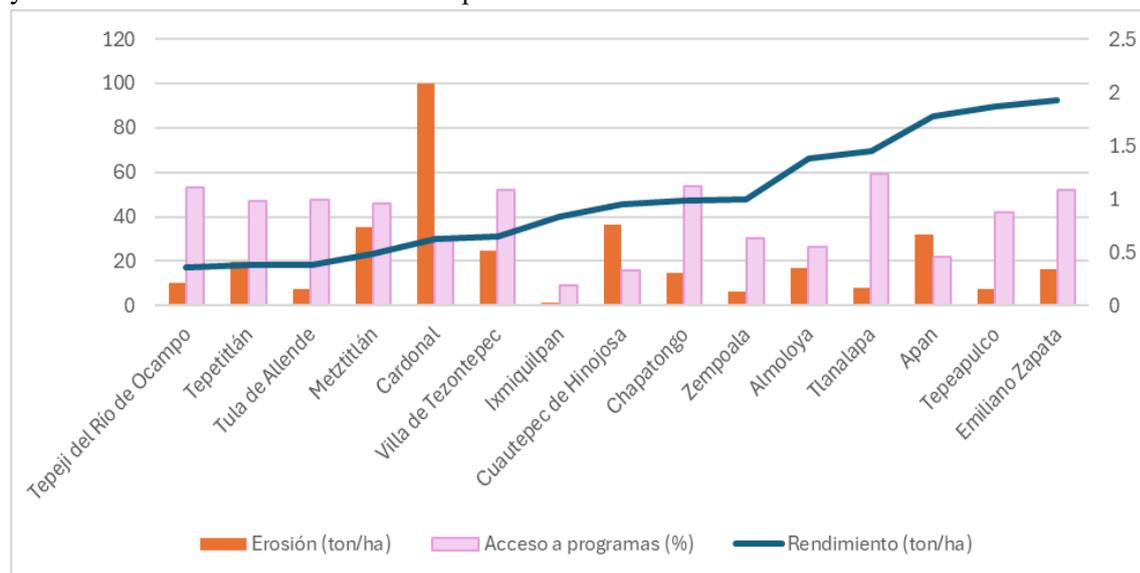
La relación entre rendimientos y acceso a programas no es tan notoria (Figura 6); se observa que los valores más altos de acceso a programas se acumulan con los rendimientos arriba del promedio, volviéndose una variable positiva. Existen municipios que presentan valores bajos de esta variable y con altos rendimientos, lo que podría estar relacionado con el ingreso del productor o su capacidad de inversión a la producción.

Figura 5. Comportamiento de los rendimientos de maíz de acuerdo con el uso de herbicidas y erosión hídrica en una escala municipal.



Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.

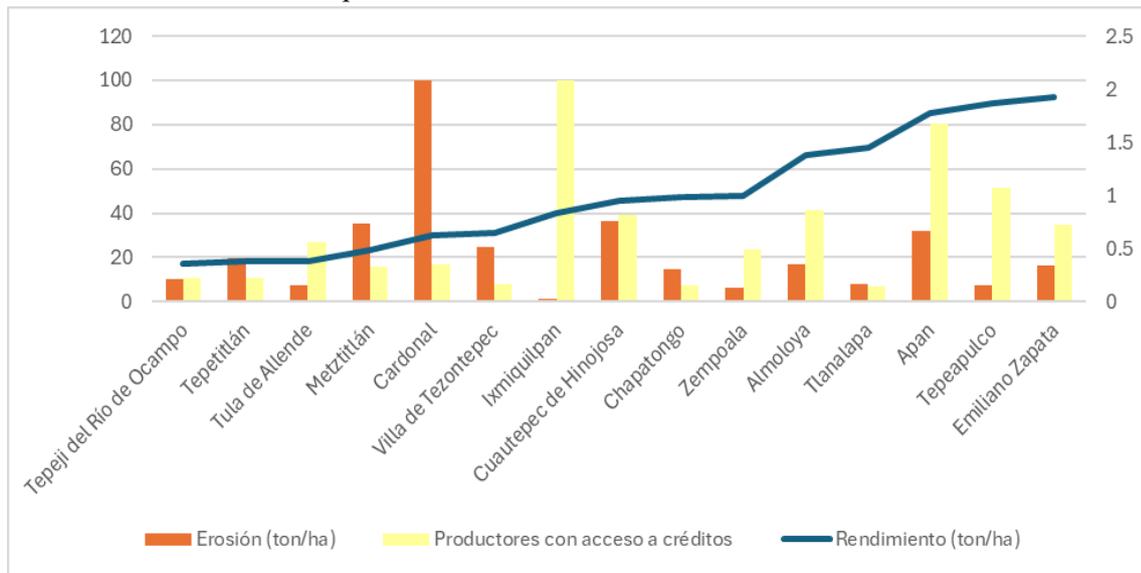
Figura 6. Comportamiento de los rendimientos de maíz de acuerdo con el acceso a programas agrícolas y erosión hídrica en una escala municipal.



Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.

El acceso a créditos es uno de los factores que afecta más al rendimiento agrícola (Figura 7), el acceso a los créditos brinda opciones de inversión para el productor, lo que mejora los rendimientos y la calidad del producto.

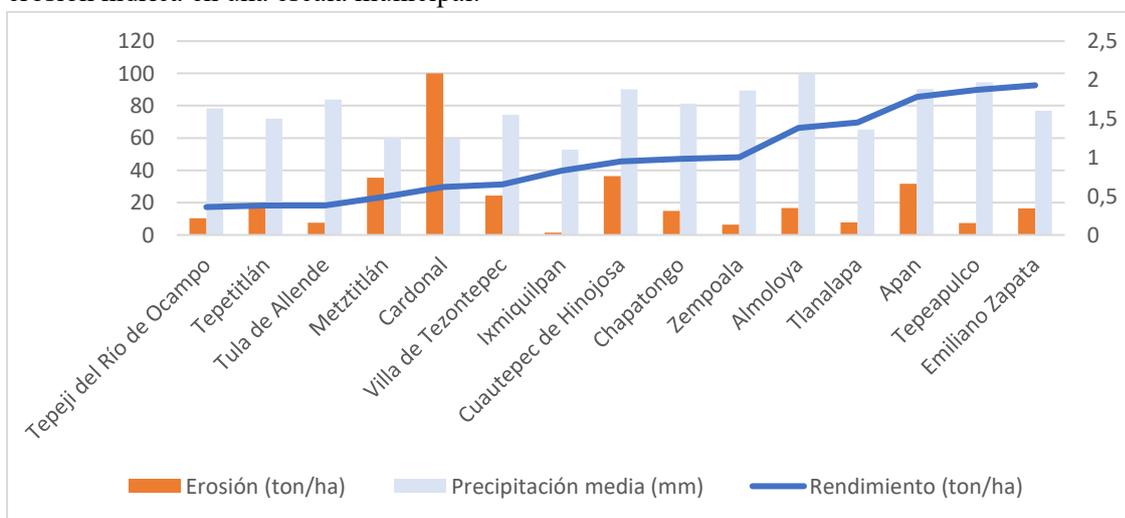
Figura 7. Comportamiento de los rendimientos de maíz de acuerdo con el acceso a créditos y erosión hídrica en una escala municipal.



Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.

Por último, se observa que la precipitación no es una variable de gran variabilidad en la zona observada (Figura 8), adquiriendo un valor negativo o positivo al tener variables que afectan con mayor magnitud a la variable rendimiento; sin embargo, es una variable a incluir en el modelo, porque muchos autores mencionan que la precipitación es uno de los factores que más afectan a la producción de maíz grano en México, de igual modo es una variable relacionada con la erosión hídrica por lo que puede tener un comportamiento negativo en el modelo. Eliminar esta variable del modelo disminuye la confiabilidad de este por lo que se mantuvo en el modelo.

Figura 8. Comportamiento de los rendimientos de maíz de acuerdo con la precipitación media anual y erosión hídrica en una escala municipal.



Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.

Las betas se eligieron considerando el estadístico t que presentaron en el modelo considerando 2 o más variables y rechazando o aceptando la hipótesis nula de cada β estudiado (Cuadro 8). El t de tablas se obtuvo con un $\alpha=0.1$ y los grados de libertad $gl=8$ ($n-k-1$). Se concluye que se tendrán 5 variables independientes y todas son representativas para el modelo.

Las estadísticas de la regresión arrojan que el coeficiente de correlación múltiple es de 0.97, este valor explica si el comportamiento del rendimiento del maíz grano se puede determinar mediante una función lineal de acuerdo con las variables elegidas. El coeficiente de determinación del modelo (R^2) obtenido es mayor a 0.9 (Cuadro 10), significa que el modelo tiene un buen ajuste de los datos; asimismo, las observaciones difieren de la media poblacional (1 ton/ha) en 0.16 unidades; no obstante, esto no establece la confiabilidad del modelo, por lo tanto, también se calculó el valor de la prueba de F mediante un análisis de varianza (Cuadro 11).

Cuadro 9. Estadístico t de las β del modelo

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-0.877	0.3740	-2.346	0.047
Erosión (ton/ha)	-0.001	0.0007	-1.603	0.148
Fertilización del suelo	0.025	0.0080	3.177	0.013
Herbicidas	-0.011	0.0068	-1.555	0.159
Acceso a programas (%)	0.036	0.0043	8.438	0.000
Productores con acceso a créditos	0.003	0.0008	3.326	0.010
PMA	-0.002	0.0007	-2.276	0.052

Fuente: Elaboración propia.

El modelo obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 0.97 y un R^2 ajustado de 0.90, con un error típico de 0.16. El f de tablas calculado con un $\alpha=0.1$ y 8 grados de libertad es de 2.67, se observa que $f > F_{\alpha; k; n-k-1}$, por lo que se rechaza H_0 , y se concluye que el modelo explica significativamente el rendimiento del maíz grano en el estado estudiado.

Se acepta el modelo.

Pérdida económica por erosión de suelos

El valor calculado de pérdida en el rendimiento de maíz grano (β_1) es de 0.001083 toneladas por hectárea, por año, por cada tonelada que se pierda de suelo; así los costos por municipio quedan de la siguiente manera (Cuadro 10):



Cuadro 10. Pérdida económica por erosión hídrica por hectárea

Municipios	Erosión (ton/ha/año)	Rendimiento perdido (ton/Ha/año)	Precio de venta (\$)	Pérdida económica (\$/ha)
Ixmiquilpan	5.29	0.01	4373	25.02
Zempoala	21.86	0.02	6908	163.49
Tepeapulco	25.55	0.03	6900	190.84
Tlanalapa	27.26	0.03	6905	203.80
Tula de Allende	26.09	0.03	7500	211.81
Tepeji del Río de Ocampo	35.83	0.04	7440	288.60
Chapatongo	51.71	0.06	6967.65	390.01
Emiliano Zapata	57.13	0.06	6875.639	425.24
Almoloya	57.80	0.06	6894.8244	431.38
Tepetitlán	68.44	0.07	7450	551.92
Villa de Tezontepec	84.75	0.09	6890	632.11
Metztitlán	123.06	0.13	5118.09	681.84
Apan	110.12	0.12	6512.10955	776.31
Cuautepec de Hinojosa	126.41	0.14	6927.24	947.98
Cardonal	346.93	0.38	4430	1663.73
Promedio	77.9	0.1	6539.4	422.9
Desviación estándar	83.51	0.09	1028.95	265.92

Fuente: Elaboración propia.

La pérdida económica va desde los 25 pesos por hectárea hasta 1663 pesos por hectárea, si por hectárea se produce en promedio una tonelada que tiene un precio promedio de 6540 pesos, implica que la pérdida económica por erosión de suelos puede ascender hasta un 25% de la producción. Comparado con otros países como España, la pérdida económica por erosión puede representar el 6.6% al 7.8% del ingreso de la producción (Martínez-Casasnovas, et. al., 2006).

Otras investigaciones en México mencionan que se pierden entre 38.3 a 54.5 dólares por hectárea a nivel nacional (Cotler, et. al., 2007), los resultados de Hidalgo indican que se pierden entre 1.29 dólares hasta 85 dólares por hectárea, mientras el promedio es de 24.43 dólares por hectárea.

Cuadro 11. Pérdida económica por erosión de suelos por municipio

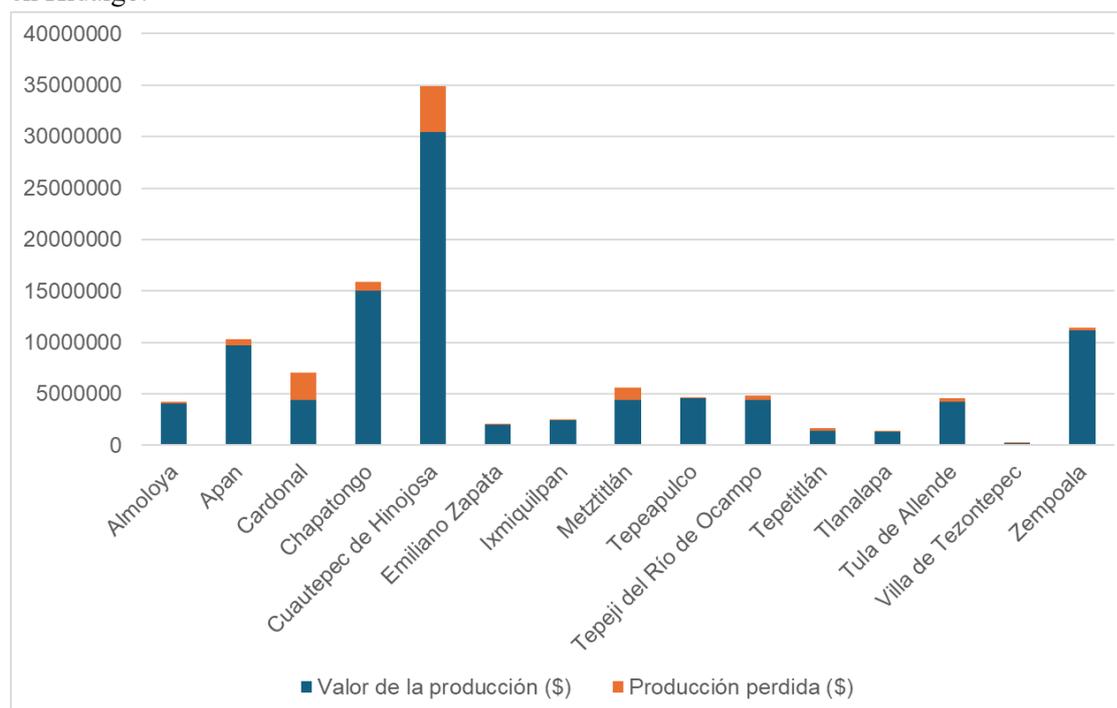
Municipios	Superficie cosechada (ha)	Producción perdida (ton/ha)	Total perdido por municipio (\$)
Ixmiquilpan	678	3.88	16966.2
Tlanalapa	136	4.01	27716.7
Villa de Tezontepec	53	4.86	33502.0
Emiliano Zapata	149	9.20	63276.4
Tepeapulco	352	9.74	67174.0
Almoloya	430	26.90	185493.0
Zempoala	1621	38.36	265013.7
Tepetitlán	489	36.23	269888.7
Tula de Allende	1483	41.88	314111.1
Tepeji del Río de Ocampo	1639	63.58	473010.2
Apan	837	99.78	649771.8
Chapatongo	2195	122.86	856070.5
Metztitlán	1765	235.13	1203439.1
Cardonal	1598	600.15	2658643.2
Cuautepec de Hinojosa	4630	633.60	4389113.5

Fuente: Elaboración propia

De igual manera se calcularon los costos totales anuales por erosión hídrica de suelos, de acuerdo con la superficie cosechada para el año 2022. Los municipios en ambos cuadros (Cuadro 10 y 11) están organizados en orden de menor a mayor en pérdida económica calculada.

La erosión de suelos está directamente relacionada con las condiciones edafológicas y climatológicas de cada lugar, por lo que es un riesgo latente su incremento. De acuerdo con el uso de suelo y las buenas prácticas de conservación; si no se presentan estas prácticas la producción perdida puede ascender. Las prácticas de fertilización y el uso de agroquímicos no presentan una solución a la pérdida de suelo, por lo que, aunque aumenten los rendimientos, no necesariamente son una solución a largo plazo, y no ayudan a la regeneración del suelo, volviéndolo un recurso limitado.

Figura 9. Valor de la producción y producción pérdida (\$) por erosión hídrica de suelos de maíz grano en Hidalgo.



Fuente: Elaboración propia.

Erosión de suelos y pobreza

Los resultados del análisis de correlación muestran para el estado de Hidalgo la existencia de una correlación medianamente significativa con los índices de pobreza, pero no con los índices de carencia alimentaria; esta correlación tiene un promedio de 0.42, mientras la correlación con carencia alimentaria tiene un valor de 0.2; la prueba de hipótesis determina que la correlación no es significativa para carencia alimentaria; pero si es significativa para pobreza.

Cuadro 12. Análisis de correlación de Pearson (r) de la erosión de suelos, pobreza y carencia alimentaria.

X	Y	r	Sr	t	Prueba de hipótesis
Pérdida de rendimiento	Pobreza	0.434	0.250	1.737	Se rechaza H0
	Carencia alimentaria	0.249	0.269	0.926	Se acepta H0
Costo por hectárea	Pobreza	0.384	0.256	1.498	Se rechaza H0
	Carencia alimentaria	0.123	0.275	0.445	Se acepta H0
Costo por municipio	Pobreza	0.445	0.248	1.789	Se rechaza H0
	Carencia alimentaria	0.247	0.269	0.919	Se acepta H0

Fuente: Elaboración propia.

La correlación entre la pérdida económica y la carencia alimentaria calculada coincide con los de otros autores para Hidalgo, a nivel nacional se reporta que esta correlación puede llegar a un valor de $r = 0.65$

(Cotler, et. al., 2020). Se puede observar una relación más fuerte con los niveles de pobreza, debido a que el cálculo de la pobreza en México considera muchos factores, siendo uno de los principales, el ingreso. Este es afectado por la disminución de los rendimientos, a menos producción, menos ingresos.

CONCLUSIONES

Los costos de la erosión de suelos obtenidos en este estudio reflejan su impacto en la productividad agrícola, considerando al suelo como un recurso de la producción.

Se estimó que se pierden 0.0011 toneladas por hectárea por año de maíz grano por cada tonelada perdida de suelo debido a la erosión hídrica en las zonas de producción agrícola en el estado de Hidalgo. Los datos indican que se pierde un promedio del 10% de la producción por la erosión de suelos en Hidalgo; de acuerdo con Cotler et. al. (2007), las pérdidas equivalen al 4.2 al 7.2% de la producción a nivel nacional; la varianza se debe a que el promedio en los rendimientos de la producción de maíz grano a nivel nacional es más alto al presentado en Hidalgo. En el modelo se observa que la tecnología mayormente aplicada en esta zona agrícola son los fertilizantes, aun así, estos no resuelven el problema de pérdida de suelos.

Los resultados señalan que se puede perder desde una cantidad mínima (25 pesos mexicanos) hasta un 25% del valor de la producción (1663 pesos mexicanos), y que entre mayor sea la cantidad de hectáreas en producción con un valor de erosión alto, mayor será el valor de pérdida económica, por causa de la erosión.

Cuando la erosión es muy alta influye en la pobreza de los agricultores ($r=0.42$), por lo que se vuelve una variable a tratar cuando se requiere realizar políticas públicas con la intención de mejorar las condiciones socioeconómicas de la población rural.

La erosión de suelos es una problemática que debe ser investigada a mayor profundidad, pero no solo desde las consecuencias directas sobre los cultivos; también es necesario considerar las externalidades (Montanarella, 2007), para tener una mejor aproximación al efecto de erosión de suelos sobre todo el entorno. Así mismo, se requiere que investigadores desde los ámbitos ambientales, económicos y sociales se unan para apoyar la creación de políticas que ataquen los tres rubros desde la sustentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adhikari, B., & Nadella, K. (2011). Ecological economics of soil erosion: a review of the current state of knowledge. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1219(1), 134-152. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05910.x>
- Alvarado Cardona, M., Colmenero Robles, A., & Valderrábano Almegua, M. (2007). La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el Estado de Tlaxcala. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 317-216.
- Ávila, J. A. (2001). El mercado de los fertilizantes en México. Situación actual y perspectivas. *Problemas del Desarrollo*, 189-207.
- Bakker, M. M., Govers, G., & Rounsevell, M. D. (2004). The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work. *CATENA*, 55-76
- Barbier, E. B. (1997). The economic determinants of land degradation in developing countries. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 352(1356), 891-899.
- Barret, C. B., & Bevis, L. E. (2015). The self-reinforcing feedback between low soil fertility and chronic poverty. *Nature Geoscience*, 907-912.
- Becerra, M. (1997). Erosión de suelos. D.F.: Universidad Autónoma Chapingo
- CONABIO. (2012). Degradación del suelo en la República Mexicana - Escala 1:250 000. Obtenido de CONABIO: <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/degra250kgw.html>
- Cohen, M. J., Brown, M. T., & Shepherd, K. D. (2006). Estimating the environmental costs of soil erosion at multiple scales in Kenya using energy synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114, 249-269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.10.021>
- Cotler Avalos, H., & Martínez Trinidad, S. (2010). An Assessment of Soil Erosion Costs in Mexico. En P. Zdruli, S. Kapur, M. Pagliai, & A. Faz Cano, *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation* (págs. 639-648). Bari: Springer.
- Cotler, H., Alfonso Corona, J., & Galeana Pizaña, J. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: Una primera aproximación. *Investigaciones geográficas*.
- Cotler, H., Andrés López, C., & Martínez Trinidad, S. (2007). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? *Investigación ambiental*, 18-30.



- Chávez, M. (2023). Tirzepatide: A Revolutionary Breakthrough in the Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus and Obesity. *Revista Veritas De Difusão Científica*, 4(1), 96–110.
<https://doi.org/10.61616/rvdc.v4i1.39>
- Da Silva Santos , F., & López Vargas , R. (2020). Efecto del Estrés en la Función Inmune en Pacientes con Enfermedades Autoinmunes: una Revisión de Estudios Latinoamericanos. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 1(1), 46–59. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v1i1.9>
- Enters, T. (1998). Methods for the economic assessment of the on- and off-site impacts of soil erosion. International Board for Soil Research an Management.
- Francisco Nicolás, N., Turrent Fernández, A., Oropeza Mota, J., Martíne Menes, M. R., & Cortés Flores, J. I. (2006). Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 253-260.
- Flores Fiallos , S. L. (2024). Simulación clínica en la formación de profesionales de la salud: explorando beneficios y desafíos. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 5(2), 116–129. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i2.124>
- Gaitán, J., Navarro, M., Tenti, V. L., Pizarro, M., Carfagno, P., & Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Buenos Aires: INTA.
- Gaspari , F. J., Delgado, M. I., & Denegri, G. A. (2009). Estimación espacial, temporal y económico de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. *Terra Lationamericana*, 27(1), 43.
- Gisladottir, G., & Stocking, M. (2005). Land degradation control and its global environmental benefits. *Land Degradation & Development*, 16, 99-112. doi:10.1002/ldr.68
- INEGI. (2020). Cuentame INEGI. Obtenido de Información por entidad:
<https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/hgo/territorio/>
- INEGI. (2024). Climatología. Obtenido de Geografía y Medio Ambiente:
<https://www.inegi.org.mx/temas/usopsuelo/>
- Jayanath, A., & Gamini, H. (2003). Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal. *Journal of Environmental Management*, 68, 343-353.
- Knowler, D. J. (2004). The economics of soil productivity: Local, national and global perspectives. *Land Degradation & Development*, 15, 543-561. doi:10.1002/ldr.635



- Lal, R. (2008). Soils and sustainable agriculture. A review. *Agronomy, Sustainability and Development*, 57-64
- Martínez-Casasnovas, J. A., & Ramos, M. (2006). The cost of soil erosion in vineyard fields in the Penedès-Anoia Region. *Catena*, 68, 194-199.
- Montanarella, L. (2007). Trends in Land Degradation in Europe. En V. Mannava, K. Sivakumar, & N. Ndiang'ui, *Climate and Land Degradation* (págs. 83-104). Berlin: Springer.
- Montés-León, M. L., Uribe Alcántara, E. M., & García-Celis, E. (2011). Mapa Nacional de Erosión Potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5-17.
- Pérez-Nieto, J., Volke-Heller, V., Martínez-Menes, M., & Estrella-Chullin, N. (1998). Erosión, productividad y rentabilidad de dos suelos del estado de Oaxaca. *Agrociencia*, 113-118.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., . . . Blair, R. (1995). Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science*, 267, 1117-1123.
- Rodríguez Alvarado, R. A., & Medina Romero, M. Ángel. (2024). Experiencias internacionales de políticas públicas para la transición agroecológica. *Emergentes - Revista Científica*, 4(1), 88–114. <https://doi.org/10.60112/erc.v4i1.96>
- Santos Telles, T., Guimaraes, M., & Falci Dechen, S. C. (2011). The costs of soil erosion. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. doi: 10.1590/S0100-06832011000200001
- SIAP. (2022). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de Avance de Siembras y Cosechas. Resumen por estado: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Silva Arroyave, S. M., & Correa Restrepo, F. (2010). Valoración económica del suelo y gestión ambiental: Aplicación en empresas floricultoras colombianas. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Militar de Granada*, 247-26
- Sequeira, N., & Vázquez, P. (2022). Impacto de la erosión hídrica sobre la rentabilidad de los productores agrícolas en el partido de Tres Arroyos, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*.



Tegtmeier, E. M., & Duffy, M. D. (2004). External costs of agricultural production in the United States. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2(1), 1-20.

Zar, J. (1999). *Biostatistical Analysis* (Vol. 4th Ed). New Jersey: Prentice Hall.

Zarate Bujanda , J. L., Duran Ttito, C. N., Cinthya Kukuli Caceres Rivas, C. K., Cortez Granilla, M. I., & Atapaucar Misme, E. A. (2024). Desarrollo de habilidades blandas y desempeño profesional de los egresados de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica* , 4(2), 317–329. Recuperado a partir de <https://estudiosyperspectivas.org/index.php/EstudiosyPerspectivas/article/view/224>

