

DETERMINANTES DE LA PROBABILIDAD DE PÉRDIDA ECONÓMICA EN EL SECTOR AGROPECUARIO MEXICANO

Saúl Basurto Hernández

División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, México)

Autor para correspondencia: sbasurto@economia.unam.mx

Sandra Galván Vargas

Investigadora independiente (México)

Recibido el 30 de agosto de 2023; aceptado el 29 de noviembre de 2023.

RESUMEN

El objetivo de este artículo es estimar un modelo de elección discreta para identificar los determinantes de la probabilidad de pérdida económica en el sector agropecuario mexicano. Para ello, empleamos información de 64 548 unidades de producción que reportan sus ingresos y gastos en la *Encuesta Nacional Agropecuaria*. Utilizando la ubicación de las parcelas, vinculamos los ingresos netos con el clima de corto y largo plazo, características de las parcelas, acceso al agua y mercados, y características sociodemográficas de los productores. Los resultados indican que el 45% de los productores registran pérdidas. Dicha probabilidad suele ser más alta cuando el(la) productor(a) es mujer, se reconoce como indígena, tiene pocos años de educación, usa yunta, la cantidad de tierra utilizada es menor, sus tierras son de temporal o ejidales o se encuentran a una gran altura sobre el nivel del mar.

Palabras clave: ingresos netos, agricultura, ganadería, modelo Logit.

Clasificación JEL: Q10, Q12, Q14.

<http://dx.doi.org/10.22201/fe.01851667p.2024.327.86398>

© 2024 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

DETERMINANTS OF THE PROBABILITY OF ECONOMIC LOSS
IN THE MEXICAN AGRICULTURAL SECTOR

ABSTRACT

The purpose of this article is to estimate a discrete choice model to identify the main factors influencing the probability of getting losses in agriculture. To do that, we use data on 64,548 farms reporting revenues and costs in the *Encuesta Nacional Agropecuaria*. Using the location of each parcel within the farm, we match net revenues with long-term climate, short-term weather events, soil types, plot characteristics, water access, market access, and sociodemographic characteristics. The main results indicate that 45% of farms in the sample observe negative net revenues. Overall, the probability of getting losses increases when the farmer is a woman, recognizes himself as indigenous, has less education, uses oxen, uses less land (small-sized), has rainfed land, has ejidal land, or his agricultural fields are at high levels of altitude.

Keywords: Net revenues, agricultural, livestock, Logit model.

JEL Classification: Q10, Q12, Q14.

1. INTRODUCCIÓN

En México existen 4 650 783 unidades de producción (UP)¹ que producen especies agrícolas y ganaderas para satisfacer parcialmente la demanda de alimentos nacional y externa (INEGI, 2019). El universo de productores mexicanos es muy heterogéneo pues dicha producción se realiza utilizando diferentes tecnologías y en contextos variados. Por ejemplo, la *Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2019* señala que el 60.2% y el 25.3% de las UP agrícola de cielo abierto² utilizan coa-azadón y animales de tiro-yunta, mientras que el 15.5% y el 29.2% utilizan cosechadoras y sembradoras respectivamente. En el sector ganadero, el 54.2% de las UP³ mantiene prácticas de pastoreo en potreros con

¹ En el artículo utilizamos el término productor de forma equivalente a una unidad de producción.

² 3 510 381 UP agrícola a cielo abierto.

³ 1 097 930 UP que se dedican a la cría de ganado bovino.

pasto nativo y sólo el 35.1% utiliza alimentos balanceados (INEGI, 2019). Lo anterior, en conjunto con otros indicadores, muestra que existe una gran heterogeneidad entre los productores agropecuarios mexicanos.

El factor común entre los productores es el conjunto de problemáticas que se les presentan al desarrollar actividades agropecuarias. De acuerdo con la ENA, entre el 73.8% y el 83.4% de los productores enfrenta altos costos de insumos y servicios. Además, entre el 26.5% y el 37.2% presenta dificultades para comercializar sus productos debido a precios de mercado muy bajos (INEGI, 2012; 2014; 2017; 2019).⁴ Considerando las amplias diferencias que existen entre los productores y las problemáticas que enfrentan, este artículo trata de dar respuesta a las siguientes preguntas de investigación: ¿existen productores agropecuarios con ingresos netos⁵ negativos? De ser así, ¿quiénes ganan y quiénes pierden? y ¿cuáles son los factores que determinan la probabilidad de pérdida?

Al responder las preguntas anteriores pretendemos contribuir con lo siguiente. Primero, de acuerdo con Beltrán, Basurto y Mendelsohn (2023), existen 227 artículos que han utilizado el modelo ricardiano para identificar los impactos del cambio climático en la agricultura, de los cuales doce estiman un modelo ricardiano estructural en donde en la primera etapa de la estimación se modela explícitamente la probabilidad de contar con riego (Kurukulasuriya, 2006; Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2007; Seo y Mendelsohn, 2008; Kurukulasuriya, Kala y Mendelsohn, 2011; Da Cunha, Coelho y Féres, 2015; Chatzopoulos y Lippert, 2016), de elegir cultivos (Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2008; Issahaku y Maharjan, 2014; Ahmed y Schmitz, 2015; Chatzopoulos y Lippert, 2016; Etwire, Fielding y Kahui, 2017; Nicita *et al.*, 2020), o de asignar parcelas a ciertos usos de suelo (Timmins, 2006; Seo y Mendelsohn, 2008). Con base en lo anterior, la contribución principal de este artículo es la estimación de un modelo de elección discreta que nos permita identificar los factores que determinan la probabilidad de pérdida de los productores y en una investigación posterior se estime una función ricardiana⁶ estructural que

⁴ La suma de los porcentajes es mayor a 100% porque existen productores que reportan más de un problema.

⁵ Nos referimos al residual que resulta de restar costos al ingreso total de los productores.

⁶ La función ricardiana fue propuesta por Mendelsohn, Nordhaus y Shaw (1994) y pretendemos contribuir a dicha corriente de la literatura.

muestre de forma explícita cuáles serían los impactos potenciales del cambio climático en productores que se rigen, o no, por las condiciones de mercado, *i.e.* productores con pérdidas *versus* productores con ganancias económicas. Segundo, contribuir al debate sobre la seguridad alimentaria en México al identificar la proporción de productores que operan con pérdidas económicas y que, potencialmente, podrían salir del mercado e influir sobre la oferta de alimentos.

Existen diversos estudios que han calculado los ingresos netos de los productores agropecuarios en varios lugares del mundo. Los estudios que utilizan el modelo ricardiano para identificar los impactos del cambio climático en la agricultura (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw, 1994; Ortiz-Bobea, 2020; DePaula, 2020; Upananda y Abeysinghe, 2021; Bareille y Chakir, 2023) suelen calcular ingresos netos como variable proxy de la renta de la tierra en países menos desarrollados (Mendelsohn y Dinar, 2009). De acuerdo con Beltrán, Basurto y Mendelsohn (2023), en esta rama de la literatura existen 107 estudios que reportan el valor medio de ingresos netos⁷ de los productores agropecuarios en 80 países. Debido a que dichos valores se reportan en diferentes periodos, unidades monetarias y superficies, realizamos un procedimiento de homologación de valores;⁸ encontramos que en la literatura el valor medio de los ingresos netos por hectárea (ha) es de \$3 100 dólares de 2015 ajustados con el factor de paridad de poder adquisitivo (PPA), la mediana es de \$1 201 y el rango va desde -\$1 262 hasta \$90 317 dólares PPA de 2015 por ha. En este sentido, la literatura global sugiere que existen productores agropecuarios que incurren en pérdidas al realizar sus actividades.⁹

Nuestra hipótesis es que existe una proporción importante de productores con ingresos netos negativos y que esto se asocia con el clima

⁷ Realizamos una revisión sistemática de literatura que comprende estudios desde 1994 hasta 2022 (Beltrán, Basurto y Mendelsohn, 2023).

⁸ El procedimiento de homologación de valores comprende los siguientes pasos: 1) utilizando el valor en moneda local y el índice de precios del sector agrícola y pecuario se obtuvieron los valores constantes a precios de 2015 y 2) los valores en moneda local en términos reales de 2015 se convirtieron en dólares utilizando el tipo de cambio y el factor de ajuste por paridad de poder adquisitivo correspondiente.

⁹ La distribución de medias no permite observar los extremos en cada una de las muestras que se utilizan en los estudios, sin embargo, cuando la media es menor que cero, existe una cantidad importante de productores con pérdidas en la muestra correspondiente.

de corto y largo plazo, características de las parcelas, características sociodemográficas de los productores, acceso al agua y a mercados. Para probar la hipótesis, calculamos los ingresos netos en 64 548 UP e identificamos los determinantes del signo de dichos ingresos mediante un modelo Logit. Los resultados principales sugieren que el 45% de los productores tienen ingresos netos negativos y que la probabilidad de pérdida se incrementa cuando la productora es mujer, se reconoce a sí misma como indígena, tiene un nivel educativo menor, usa yunta, el tamaño de la UP es pequeña, sus tierras son de temporal y sus parcelas se encuentran ubicadas en zonas más altas.

La estructura del artículo es como sigue. La primera sección corresponde a la introducción. En la segunda sección presentamos la teoría, el método y la información estadística que utilizamos para estimar el modelo de elección discreta. Asimismo, mostramos el procedimiento para calcular los ingresos netos y examinamos la asociación entre éstos y la heterogeneidad de los productores de forma no paramétrica. En la tercera sección exponemos los resultados de la estimación de un modelo Logit que asocia la probabilidad de que un productor tenga pérdidas con diferentes características de sus tierras, sociodemográficas y del mercado. La cuarta sección concluye.

2. TEORÍA, MÉTODO E INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

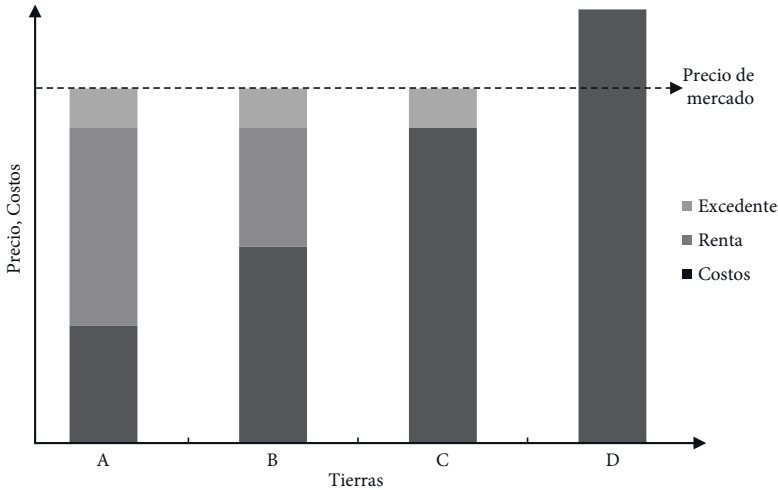
2.1. Teoría sobre la renta de la tierra

Una de las aproximaciones teóricas más utilizada en la literatura de economía agrícola para definir ingresos netos del sector agropecuario es la renta ricardiana. David Ricardo, en su obra *Principios de economía política y tributación*, determina que la calidad de la tierra es diferenciada y, por ende, los productores que poseen tierras de mejor calidad obtienen una renta superior a los demás. David Ricardo define el concepto de renta como “la renta [de la tierra] es aquella parte del producto de la tierra que se paga al terrateniente por el uso de las energías originarias e indestructibles del suelo” (Ricardo, 1817, p. 51).

La figura 1 muestra el planteamiento teórico de la renta de la tierra. Suponiendo competencia perfecta, el precio de los productos agrícolas lo determina la última tierra necesaria para satisfacer la demanda de

alimentos de la población, *i.e.* tierra marginal. Para que esa tierra se incorpore a la producción se le deben pagar sus costos y un excedente para todas las tierras, de otra forma el productor incurriría en una pérdida y saldría del mercado. Debido a que las tierras A y B son más fértiles, los costos de producción son menores que los de la tierra C, por lo tanto, reciben una renta. En el caso de la tierra D, el precio es inferior a los costos y como las tierras A, B y C satisfacen la demanda de alimentos, esta tierra (D) no debería destinarse a las actividades agropecuarias.

Figura 1. Renta de la tierra



Fuente: elaboración propia con base en Ricardo (1817).

Siguiendo el planteamiento teórico de la renta ricardiana, podemos calcular los ingresos netos por hectárea del productor i (π_i) utilizando la siguiente expresión:

$$\pi_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^J \left[p_j q_{ji} - \sum_{k=1}^K c_k x_{kji} \right] - w_i \right]}{L_i} \quad [1]$$

donde p_j es el precio del producto j , q_{ji} es la cantidad del producto j , c_k es el costo unitario del insumo k , x_{kji} es la cantidad del insumo k , w_i es

un conjunto de costos en los que incurre el productor pero que no son específicos de cada uno de los productos, J es el conjunto de productos agropecuarios, K es el conjunto de insumos y L_i es la cantidad de tierra dedicada a las actividades agropecuarias. Es importante decir que la sumatoria de costos no debe incluir el costo de renta de la tierra para ser consistente con el enfoque ricardiano.

2.2. Metodología de elección discreta

Siguiendo el planteamiento teórico de Ricardo (1817) y la ecuación [1], construimos el siguiente indicador para cada una de las UP:

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{si } \pi_i \leq 0 \\ 0 & \text{si } \pi_i > 0 \end{cases} \quad [2]$$

donde y_i toma el valor de 1 si sus ingresos netos son iguales o menores que cero y 0 si sus ingresos netos por hectárea son mayores que cero. Con el objetivo de explorar si el signo de los ingresos netos se asocia con características de la tierra o de los productores, estimamos el siguiente modelo Logit (Cameron y Trivedi, 2011; Wooldridge, 2015):

$$p_i = \Pr(y_i = 1 | x) = F(x'_i \beta) = \frac{\exp(x'_i \beta)}{1 + \exp(x'_i \beta)} \quad [3]$$

donde p_i es la probabilidad de que la UP tenga ingresos iguales o menores que cero, $\Pr(y_i = 1|x)$ indica la probabilidad de que y_i tome el valor de 1 condicionada en un conjunto de variables de control x , $F(x'_i \beta)$ es la forma funcional del modelo y β es el vector de parámetros asociados a cada una de las variables de control (ratios de probabilidad).¹⁰ Utili-

¹⁰ La estimación de los parámetros del modelo Logit se hace mediante el método de máxima verosimilitud. La densidad de probabilidad de una observación (UP) se define como: $p_i^{y_i} (1-p_i)^{1-y_i}$ y sabemos que $p_i = F(x'_i \beta)$, entonces, para una muestra de N observaciones, la función de máxima verosimilitud se define como: $Q(\beta) = \sum_{i=1}^N [y_i \ln(F(x'_i \beta)) + (1-y_i) \ln(1-F(x'_i \beta))]$. Los estimadores que maximizan la función anterior, $\hat{\beta}$, se obtienen mediante métodos

zando el modelo Logit, definido en la expresión [3], podemos calcular el efecto marginal de cada una de las variables de control en la probabilidad de obtener ingresos netos negativos o iguales a cero en la UP correspondiente como sigue:

$$\frac{\partial p}{\partial x_j} = F(x'\beta)[1 - F(x'\beta)]\beta_j \quad [4]$$

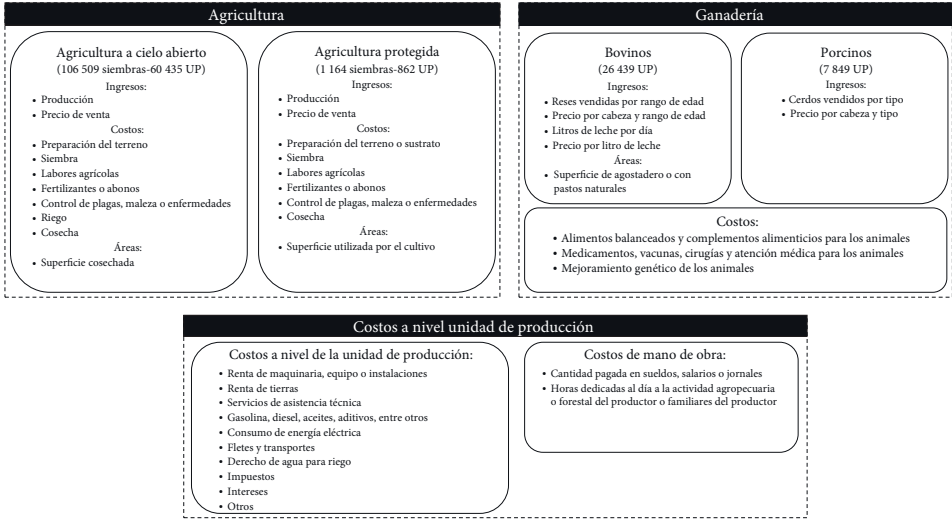
2.3. Información estadística

Para obtener los ingresos netos definidos en la ecuación [1] se pueden utilizar datos de la ENA. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) ha llevado a cabo dicha encuesta en 2012, 2014, 2017 y 2019; sin embargo, únicamente la ENA 2014 tiene información de costos para toda la muestra. Por esta razón, utilizamos la ENA 2014. Otras fuentes de información, como el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y el Servicio de Información Agroalimentaria y de Consulta (SIACON) no tienen información sobre costos y los datos se reportan a nivel municipal, por lo que no podemos utilizarlos para calcular ingresos netos por UP.

La figura 2 muestra la forma en la que la ENA 2014 reporta precios, cantidad de producción, costos y áreas dedicadas a actividades agropecuarias. En el caso de la agricultura, podemos calcular los ingresos, costos y áreas totales para todas las siembras en la ENA 2014. En el caso de la ganadería, podemos calcular los ingresos que obtienen los productores por venta de bovinos, porcinos y leche y los costos por unidad de producción. Una de las dificultades en estudios previos, y en este estudio también, es el cálculo del área que se utiliza para la producción de ganado (Seo y Mendelsohn, 2007; Kabubo-Mariara, 2009). Para obtener el área total dedicada a la ganadería, consideramos la superficie de agostadero o con pastos naturales que se utiliza y suponemos superficies de 10m² y 5m² por cabeza de ganado bovino y porcino estabulado respectivamente. El conjunto de costos que se reportan a nivel de UP se añade a los costos de las siembras y de la actividad ganadera para obtener los costos tota-

de optimización con iteraciones.

Figura 2. Estructura de la *Encuesta Nacional Agropecuaria 2014*



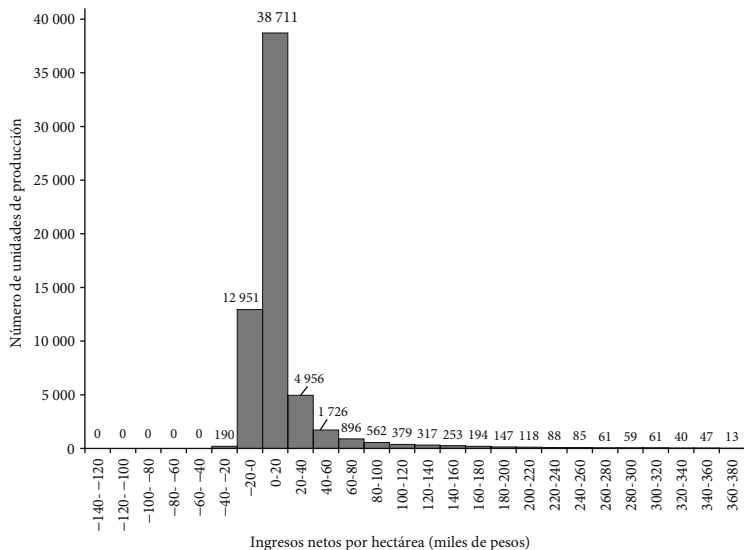
Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta Nacional Agropecuaria 2014* (INEGI, 2014).

les en los que incurre el productor. Se omiten los costos por rentas de tierras para ser consistentes con los planteamientos de Ricardo (1817) y el costo de mano de obra familiar por las controversias que existen en la literatura sobre el valor del trabajo familiar y las imprecisiones en el reporte de horas que dedica cada integrante de la familia a las actividades agropecuarias.

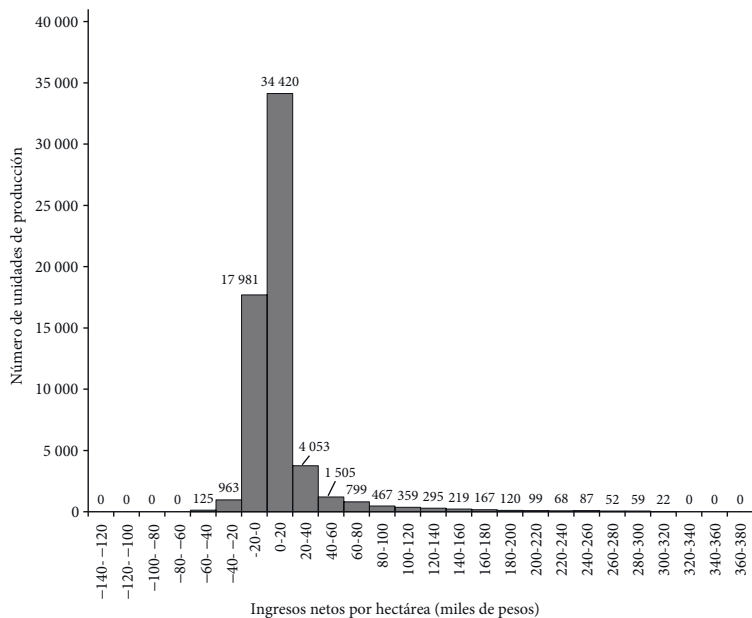
Las gráficas 1a-1c muestran la distribución de los ingresos netos por hectárea de los productores agropecuarios. La gráfica 1a muestra el número de UP por rango de ingresos netos por hectárea cuando del total de ingresos restamos los costos de agricultura y ganadería señalados en los dos bloques superiores de la figura 2 (21.48% de los productores incurren en pérdidas). La gráfica 1b muestra la frecuencia de UP por rango de ingreso neto cuando, además, se descuentan los costos a nivel de UP señalados en el bloque inferior izquierdo de la figura 2 (31.19% de los productores tiene pérdidas). Asimismo, la gráfica 1c muestra la distribución de frecuencias por rango de ingresos netos cuando se descuenta, además de lo anterior, los costos de la mano de obra señalados en el bloque inferior derecho de la figura 2 (45.20% reportan pérdidas). En promedio, el ingreso neto por hectárea en la muestra es de \$4 280 pesos.

Gráfica 1. Distribución de ingresos netos por hectárea

Gráfica 1a. Ingresos menos costos de agricultura y ganadería

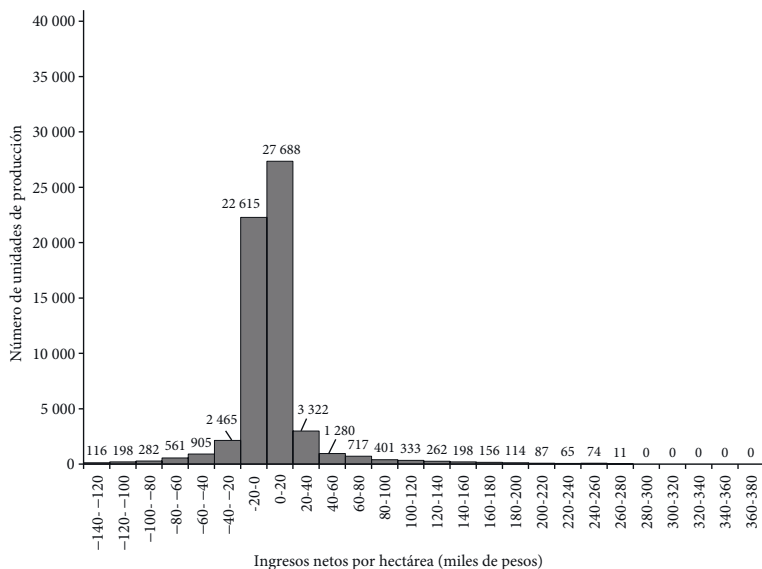


Gráfica 1b. Ingresos menos costos de agricultura, ganadería y a nivel UP



Gráfica 1. Distribución de ingresos netos por hectárea (conclusión)

Gráfica 1c. Ingresos menos costos de agricultura, ganadería, a nivel UP y mano de obra



Nota: por motivos de presentación se excluyen el 2.5% en la parte baja y alta de la distribución.

Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta Nacional Agropecuaria 2014* (INEGI, 2014).

De acuerdo con el planteamiento de Ricardo (1817) mostrado en la figura 1, el 45% de las UP (29 068 UP) no deberían permanecer en el mercado y podrían dedicar sus tierras a otras actividades. La pregunta es ¿quiénes ganan y quiénes pierden? Para responder, analizamos las posibles diferencias relacionadas con las características de sus tierras y sociodemográficas que existen entre ganadores y perdedores. El cuadro 1 muestra el número total y el porcentaje de UP que no obtienen ganancias. En general, se observa que la proporción de unidades con pérdidas es mayor para los productores especializados en cultivos anuales, pequeños, de temporal y situados en las entidades federativas del Estado de México, Puebla y Tlaxcala.

Cuadro 1. Porcentaje de UP sin ganancias en el sector agropecuario en México

Tipo de UP	Total de UP	% de pérdidas	Tipo de UP	Total de UP	% de pérdidas
Cultivos y ganadería			Por entidad federativa		
Cultivos anuales	19 132	49	Durango	2 281	44
Cultivos perenes	6 020	39	Guanajuato	3 170	51
Anuales y perenes	3 157	38	Guerrero	2 830	48
Ganadería	4 419	41	Hidalgo	1 683	60
Cultivos y ganadería	31 511	44	Jalisco	2 366	29
Sin ingresos	309	100	México	1 770	74
Por tamaño			Michoacán de Ocampo	3 038	41
Pequeñas	20 669	59	Morelos	1 550	55
Medianas	19 051	46	Nayarit	1 751	29
Grandes	24 828	33	Nuevo León	1 658	53
Riego y temporal			Oaxaca	2 385	49
Riego	22 308	38	Puebla	2 981	64
Temporal	42 240	49	Querétaro	1 312	56
Por entidad federativa			Quintana Roo	1 089	61
Aguascalientes	1 537	44	San Luis Potosí	1 970	54
Baja California	1 178	35	Sinaloa	2 025	32
Baja California Sur	541	37	Sonora	2 416	26
Campeche	1 353	42	Tabasco	1 576	38
Coahuila de Zaragoza	1 789	48	Tamaulipas	3 050	39
Colima	1 058	30	Tlaxcala	1 971	64
Chiapas	2 316	40	Veracruz de Ignacio de la Llave	3 552	34
Chihuahua	3 254	31	Yucatán	1 667	42
Ciudad de México	1 527	56	Zacatecas	1 904	51

Nota: el porcentaje con pérdidas es respecto al total de UP.

Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta Nacional Agropecuaria 2014* (INEGI, 2014).

2.4. Construcción de la base de datos y análisis no paramétrico

De acuerdo con la literatura que utiliza el modelo ricardiano para estimar ingresos netos, el conjunto de determinantes de dicha renta incluye: clima de largo plazo, características del suelo, características de los terrenos, acceso a mercados, acceso a agua y características sociodemográficas del productor. Además, incorporamos indicadores de eventos climáticos extremos para capturar su impacto sobre los ingresos netos pues podrían ser sensibles al clima de corto plazo. En el caso del clima de largo plazo, utilizamos las bases de datos de Sistemas de Información Georreferenciada (SIG) de WorldClim 2.0 (Fick y Hijmans, 2017) y consideramos el promedio ponderado por el número de hectáreas de la normal de temperatura y lluvia 1970-2000 observada en cada una de las parcelas de la UP en las temporadas de primavera-verano y de otoño-invierno. Respecto a los eventos climáticos de corto plazo, utilizamos datos a nivel estación meteorológica del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) y siguiendo el mismo proceso de ponderación que se utilizó para el clima de corto plazo, calculamos el número de días con granizo y tormentas durante las estaciones de primavera-verano y de otoño-invierno de 2014 en cada una de las UP.¹¹ Asimismo, utilizamos información SIG de Wouters (2021) y calculamos el promedio ponderado por el número de hectáreas de los días en el año en los que la precipitación diaria no excedió los 2 mm (días secos) y la proporción entre la evaporación y la precipitación observada en 2014 en cada una de las parcelas de la UP.

El tipo de suelo se obtiene de la base de datos SIG con perfiles de suelo (INEGI, 2014b). Utilizando ArcGis 10.8 calculamos el porcentaje de tierra agrícola municipal que corresponde a cada uno de los tipos de suelo. Con base en la ubicación de las parcelas y haciendo uso del ArcGis 10.8, calculamos el promedio ponderado por el número de hectáreas de la distancia que existe entre la UP y la fuente de agua y zona metropolitana más cercanas, así como la densidad carretera por municipio tomando el cociente entre la longitud de la red de caminos y el área del municipio y se asignó a las UP. En el caso de la altitud, tomamos la media ponderada

¹¹ Se considera el valor de la estación meteorológica más cercana a cada una de las parcelas de la muestra.

de altitud de los terrenos que tiene la UP. La ENA 2014 reporta la superficie que utiliza la UP, superficie de riego, superficie ejidal, si el productor recibe apoyo del Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO), si usa yunta, el sexo, la edad, la educación y el origen étnico del productor.

Con el propósito de identificar diferencias en las distribuciones de los determinantes del signo de los ingresos netos de forma no paramétrica, el cuadro 2 muestra las definiciones y estadísticas descriptivas del conjunto de posibles determinantes de dicho signo para ambos grupos de UP.¹² La última columna del cuadro muestra el resultado de la prueba t-student para comparación de las distribuciones del conjunto de variables correspondientes a cada grupo. Las UP con ingresos netos iguales o menores que cero se caracterizan por: ubicarse en sitios con temperatura y lluvia inferiores, una mayor ocurrencia de granizo en primavera-verano, una menor (mayor) ocurrencia de tormentas durante primavera-verano (otoño-invierno), menos días secos, niveles menores del índice de aridez, cuentan con menos área, menor proporción de tierra de riego, una mayor proporción de tierras ejidales, un mayor número de beneficiarios del programa PROCAMPO, una mayor proporción de unidades que usan yunta, están más lejanos de los cuerpos de agua, se ubican más próximos a una zona metropolitana, mayor densidad carretera en el municipio en donde se encuentran, mayor altitud, menor proporción de hombres, edad más avanzada, mayor proporción de productores indígenas y menor educación.

En esta sección presentamos la distribución de ingresos netos por hectárea de las UP y un análisis no paramétrico sobre los posibles determinantes de la probabilidad de obtener pérdidas en el sector agropecuario en México. Es evidente que existen diferencias significativas en las distribuciones de los determinantes del signo de los ingresos netos de las UP. Para profundizar el análisis, en la siguiente sección utilizaremos el conjunto de variables descritas en el cuadro 2 para identificar la forma en la que se asocian con dicha probabilidad mediante la estimación de un modelo Logit (enfoque paramétrico).

¹² El número total de UP se reduce de 64 548 a 60 388 porque no existe información socio-demográfica del productor en 4 160 UP. Para poder utilizar características sociodemográficas en el conjunto de determinantes de la probabilidad de pérdida, a partir de aquí, el análisis utiliza 60 388 UP. Las estimaciones que utilizan las 64 548 UP se llevaron a cabo y los resultados se mantienen.

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de la muestra

Variables	Definición	
Temporal primavera-verano	Temperatura marzo-agosto 1970-2000 (Celsius)	
Temporal otoño-invierno	Temperatura septiembre-febrero 1970-2000 (Celsius)	
Lluvia primavera-verano	Lluvia marzo-agosto 1970-2000 (10mm/mes)	
Lluvia otoño-invierno	Lluvia septiembre-febrero 1970-2000 (10mm/mes)	
Granizo primavera-verano	Días con granizo (abril 2014-septiembre 2014)	
Granizo otoño-invierno	Días con granizo (octubre 2013-marzo 2014)	
Tormenta primavera-verano	Días con tormenta (abril 2014-septiembre 2014)	
Tormenta otoño-invierno	Días con tormenta (octubre 2013-marzo 2014)	
Días secos	Días en el año en los que la precipitación diaria ≤ 2 mm	
Aridez	Evaporación potencial dividida por la precipitación media	
Acrisol	Suelo Acrisol (% del área agrícola)	
Andosol	Suelo Andosol (% del área agrícola)	
Cambisol	Suelo Cambisol (% del área agrícola)	
Castanozem	Suelo Castanozem (% del área agrícola)	
Feozem	Suelo Feozem (% del área agrícola)	
Fluvisol	Suelo Fluvisol (% del área agrícola)	
Gleysol	Suelo Gleysol (% del área agrícola)	
Litosol	Suelo Litosol (% del área agrícola)	
Luvisol	Suelo Luvisol (% del área agrícola)	
Nitosol	Suelo Nitosol (% del área agrícola)	
Planosol	Suelo Planosol (% del área agrícola)	

	Ingresos positivos		Ingresos negativos o cero		Todas las UP		t-student de la diferencia
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	
	23.05	4.097	21.67	4.511	22.42	4.344	39.15***
	19.22	4.593	18.03	4.637	18.68	4.650	31.44***
	9.504	5.396	9.367	4.937	9.442	5.194	3.26***
	6.318	4.977	5.854	4.446	6.108	4.750	12.10***
	0.277	1.648	0.424	2.513	0.344	2.085	-8.31***
	1.097	5.705	1.098	5.770	1.097	5.734	-0.04
	7.381	17.95	6.582	17.82	7.020	17.90	5.46***
	1.811	6.380	2.074	7.712	1.930	7.015	-4.50***
	256.4	48.72	250.8	47.18	253.8	48.11	14.25***
	0.512	0.174	0.491	0.161	0.503	0.169	15.03***
	2.828	15.09	2.016	12.82	2.460	14.11	7.15***
	2.865	15.21	4.500	18.74	3.605	16.92	-11.61***
	9.404	26.20	9.291	26.18	9.353	26.19	0.53
	2.097	13.09	2.275	13.52	2.177	13.28	-1.63
	15.42	31.96	18.14	34.51	16.65	33.17	-9.96***
	0.309	4.176	0.403	5.155	0.352	4.645	-2.43**
	1.864	12.89	1.450	11.43	1.677	12.26	4.18***
	4.465	17.31	5.611	19.30	4.984	18.25	-7.61***
	5.855	21.12	5.453	20.26	5.673	20.73	2.38**
	0.373	5.563	0.207	4.193	0.298	4.991	4.17***
	2.651	14.79	2.382	13.71	2.529	14.31	2.32**

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de la muestra (conclusión)

Variables	Definición	
Regosol	Suelo Regosol (% del área agrícola)	
Rendzina	Suelo Rendzina (% del área agrícola)	
Solonchak	Suelo Solonchak (% del área agrícola)	
Vertisol	Suelo Vertisol (% del área agrícola)	
Xerosol	Suelo Xerosol (% del área agrícola)	
Yermosol	Suelo Yermosol (% del área agrícola)	
Área	Área utilizada por la unidad de producción (hectáreas*100)	
Riego	1 = si la superficie con riego es mayor que cero	
Ejidal	1 = si la superficie en régimen ejidal es mayor que cero	
PROCAMPO	1 = el productor recibió PROCAMPO	
Yunta	1 = si utiliza yunta en las actividades productivas	
Distribución cuerpo de agua	Distribución de la UP al cuerpo de agua más cercano (km)	
Distribución área metropolitana	Distribución de la UP a la zona metropolitana más cercana (km)	
Densidad carretera	Densidad carretera (km/km ²)	
Altitud	Altitud de la unidad de producción (masl*100)	
Hombre	1 = si el productor es hombre	
Edad	Edad del productor (años)	
Indígena	1 = el/la productor(a) se identifica como indígena	
Educación	Años de educación	
Observaciones		

Nota: los valores críticos utilizados son 1.645, 1.960 y 2.576 para niveles de confianza de 90% (*), 95% (**) y 99% (***) respectivamente.

	Ingresos positivos		Ingresos negativos o cero		Todas las UP		t-student de la diferencia
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	
	12.21	29.00	12.81	30.04	12.48	29.48	-2.48**
	5.553	21.02	6.047	21.82	5.776	21.39	-2.81***
	1.191	8.672	0.775	6.778	1.003	7.875	6.62***
	20.48	37.38	17.28	35.04	19.03	36.38	10.82***
	11.20	29.54	10.48	28.70	10.87	29.17	3.02***
	1.151	9.547	0.780	7.958	0.983	8.866	5.21***
	1.232	9.320	0.670	6.331	0.978	8.110	8.78***
	0.376	0.484	0.279	0.448	0.332	0.471	25.66***
	0.612	0.487	0.652	0.476	0.630	0.483	-10.10***
	0.456	0.498	0.467	0.499	0.461	0.498	-2.67***
	0.139	0.345	0.238	0.426	0.183	0.387	-30.95***
	12.96	22.43	13.48	22.16	13.19	22.31	-2.85***
	92.29	81.29	81.53	73.64	87.42	78.10	17.05***
	1.352	1.011	1.472	1.040	1.406	1.026	-14.39***
	10.31	9.029	13.38	9.459	11.70	9.352	-40.52***
	0.899	0.301	0.860	0.347	0.881	0.323	14.39***
	57.68	13.90	58.15	14.14	57.90	14.01	-4.09***
	0.199	0.399	0.252	0.434	0.223	0.416	-15.59***
	3.412	1.976	3.206	2.036	3.319	2.006	12.50***
	33 078		27 310		60 388		

Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta Nacional Agropecuaria 2014* (INEGI, 2014).

3. RESULTADOS

Debido a que los parámetros estimados del modelo Logit no tienen una interpretación directa, en términos de magnitud, en el cuadro 3 se muestran los efectos parciales promedio de cada una de las variables de control para cada uno de los grupos de productores.¹³ En el caso del clima de largo plazo, los resultados sugieren que la dirección del efecto parcial promedio depende del tipo de productor. Esto es consistente con los modelos agronómicos que argumentan una relación no lineal (U invertida) entre el clima de largo plazo y el rendimiento agrícola y ganadero (véase, por ejemplo, Redd, Hodges y Kimball, 2000; Allen y Boote, 2000; Young y Long, 2000). En el caso de los suelos se obtiene el mismo resultado que para el clima de largo plazo y es consistente con la literatura de modelos ricardianos, *i.e.*, la asociación entre características del suelo y renta de la tierra depende del cultivo y del tipo de tecnología con la que cuente la UP (Mendelsohn y Dinar, 2009; Galindo, Reyes y Alatorre, 2015; DePaula, 2020; Ortiz-Bobea, 2020).

Respecto al clima de corto plazo, cuando el efecto parcial promedio es significativo, más días con tormenta reducen (aumentan) la probabilidad de pérdida en primavera-verano (otoño-invierno). Esto puede deberse a que en primavera-verano se produce la mayor cantidad de cultivos anuales y una abundancia de agua en este tiempo suele asociarse con niveles más altos de rendimiento o reducir el costo relacionado con los riegos. En el caso del granizo, una frecuencia mayor suele incrementar la probabilidad de pérdida en la mayoría de los tipos de productores. El efecto parcial del indicador de aridez es contra intuitivo, pues se esperaría que un aumento en la aridez se asociara con un aumento en la probabilidad de pérdida. Una posible explicación es que los productos contemplados en la muestra se benefician de una evaporación más alta. Los resultados para días secos son como se esperaría, un mayor número de días secos incrementa la probabilidad de obtener pérdidas en la UP.

Los resultados más consistentes sugieren que: cuanto mayor es la superficie que utiliza la UP menor es la probabilidad de tener pérdi-

¹³ Los parámetros estimados del modelo Logit están disponibles mediante solicitud directa a los autores.

das, si se cuenta con riego la probabilidad de pérdida es menor; si las tierras son ejidales la probabilidad de pérdida es mayor; en las UP que utilizan yunta la probabilidad de pérdida tiende a incrementarse; en áreas con mayor altitud sobre el nivel del mar se observa una mayor probabilidad de tener pérdidas; si el productor es hombre se observa que la probabilidad de pérdida es menor; las pérdidas se observan con mayor frecuencia si el productor se reconoce como indígena y, por último, mayor educación del productor se asocia con menor probabilidad de pérdida.

Cuando los resultados son significativos, al incrementarse la distancia que existe entre las parcelas y el cuerpo de agua más cercano aumenta la probabilidad de que el productor tenga pérdidas. En el caso de la proximidad de las parcelas al mercado más cercano, se observa en la mayoría de los casos significativos que entre más lejana se encuentre la UP menor será la probabilidad de contar con ingresos netos negativos. De la misma manera, mayor densidad carretera en el municipio se asocia con una mayor probabilidad de pérdida. En este sentido, una mejor conexión con zonas metropolitanas se asocia con una probabilidad más alta de que los costos sean más altos que los ingresos de los productores. El subsidio del PROCAMPO suele asociarse con una probabilidad de pérdida mayor en UP pequeñas, medianas, ejidales y la combinación de anuales y perenes.

Los resultados anteriores tienen implicaciones para la literatura existente y la seguridad alimentaria en México. Respecto a la literatura, hay un conjunto de estudios que han utilizado los ingresos netos de los productores agropecuarios, como variable proxy de la renta de la tierra, para identificar el impacto del cambio climático en el sector agrícola y pecuario (Mendelsohn y Dinar, 2009; Ortiz-Bobea, 2020; Beltrán, Basurto y Mendelsohn, 2023). Sin embargo, esos estudios no han analizado explícitamente dichos impactos cuando existen productores que operan en una forma que no está orientada a la producción de mercado, *i.e.* operan con pérdidas. Nuestros resultados sugieren que la probabilidad de pérdida se asocia con algunas de las características de la tierra, como el clima de largo plazo, lo cual sugiere que la sensibilidad al cambio climático de los productores que se rigen por el mercado podría ser distinta a la de sus contrapartes. Y, por ende, la función ricardiana que utilizan estudios previos debería ajustarse al considerar esa diferencia, como lo

hacen estudios que estiman impactos diferenciados por el tamaño de la UP (Galindo, Reyes y Alatorre, 2015; Upananda y Abeyasinghe, 2021) o

Cuadro 3. Efectos marginales (efecto parcial promedio)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
Variabes	Todas	Pequeñas	Medianas	Grandes	Riego	
Temporal primavera-verano	-0.0067*** (0.0023)	-0.0249*** (0.0047)	0.0069 (0.0044)	0.0020 (0.0033)	0.0012 (0.0035)	
Temporal otoño-invierno	0.0072*** (0.0016)	0.0270*** (0.0039)	-0.0029 (0.0031)	-0.0043* (0.0024)	-0.0091*** (0.0026)	
Lluvia primavera-verano	-0.0020** (0.0010)	-0.0024 (0.0017)	-0.0019 (0.0018)	-0.0068*** (0.0020)	0.0035 (0.0028)	
Lluvia otoño-invierno	-0.0064*** (0.0012)	-0.0038 (0.0023)	-0.0032 (0.0022)	-0.0052*** (0.0019)	0.0067 (0.0043)	
Tormenta primavera-verano	-0.0009*** (0.0001)	-0.0001 (0.0002)	-0.0009*** (0.0003)	-0.0014*** (0.0003)	-0.0005 (0.0004)	
Tormenta otoño-invierno	0.0007* (0.0004)	0.0001 (0.0006)	0.0015* (0.0008)	0.0013 (0.0008)	0.0022** (0.0009)	
Granizo primavera-verano	0.0031*** (0.0012)	0.0053*** (0.0017)	-0.0051* (0.0026)	0.0010 (0.0032)	-0.0131** (0.0067)	
Granizo otoño-invierno	0.0022*** (0.0004)	-0.0002 (0.0006)	0.0021*** (0.0007)	0.0031*** (0.0009)	0.0003 (0.0012)	
Aridez	-0.4197*** (0.0429)	-0.2280*** (0.0788)	-0.2435*** (0.0809)	-0.5555*** (0.0684)	-0.1094 (0.0781)	
Días secos	0.0009*** (0.0002)	0.0007*** (0.0003)	0.0009*** (0.0003)	0.0012*** (0.0003)	0.0006** (0.0003)	
Acrisol	-0.0019** (0.0008)	-0.0019 (0.0022)	-0.0021 (0.0018)	-0.0016* (0.0009)	-0.0010 (0.0023)	

por disponibilidad de riego (Kurukulasuriya, Kala y Mendelsohn, 2011; Chatzopoulos y Lippert, 2016; Hossain *et al.*, 2019).

	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	Temporal	Ejidal	No ejidal	Anuales	Perenes	Anuales y perenes	Ganaderas	Agrícolas y ganaderas
	-0.0151***	-0.0078***	-0.0023	-0.0096**	0.0011	0.0164	0.0088	-0.0062*
	(0.0031)	(0.0029)	(0.0038)	(0.0045)	(0.0082)	(0.0105)	(0.0080)	(0.0034)
	0.0174***	0.0091***	0.0005	0.0254***	-0.0049	0.0019	-0.0055	0.0042*
	(0.0022)	(0.0021)	(0.0027)	(0.0034)	(0.0051)	(0.0074)	(0.0064)	(0.0025)
	-0.0035***	0.0014	-0.0050***	-0.0105***	-0.0107***	-0.0134***	-0.0152***	0.0018
	(0.0011)	(0.0013)	(0.0016)	(0.0022)	(0.0030)	(0.0047)	(0.0040)	(0.0014)
	-0.0080***	-0.0060***	-0.0072***	0.0031	0.0039	0.0046	0.0039	-0.0077***
	(0.0013)	(0.0016)	(0.0019)	(0.0030)	(0.0037)	(0.0058)	(0.0038)	(0.0017)
	-0.0009***	-0.0016***	-0.0003	-0.0004	-0.0010*	-0.0003	-0.0009	-0.0014***
	(0.0002)	(0.0002)	(0.0002)	(0.0003)	(0.0005)	(0.0007)	(0.0006)	(0.0002)
	0.0002	0.0014**	-0.0004	0.0005	0.0002	0.0049**	0.0028	0.0010**
	(0.0005)	(0.0007)	(0.0005)	(0.0008)	(0.0015)	(0.0021)	(0.0022)	(0.0005)
	0.0055***	-0.0012	0.0063***	-0.0002	-0.0039	0.0013	-0.0174**	0.0045***
	(0.0013)	(0.0018)	(0.0017)	(0.0025)	(0.0081)	(0.0059)	(0.0088)	(0.0015)
	0.0024***	0.0023***	0.0024***	-0.0032***	0.0053***	0.0028	0.0015	0.0028***
	(0.0004)	(0.0005)	(0.0007)	(0.0010)	(0.0013)	(0.0018)	(0.0020)	(0.0005)
	-0.5176***	-0.4971***	-0.3444***	-0.6605***	-0.0286	-0.0489	-0.3776**	-0.4257***
	(0.0529)	(0.0559)	(0.0683)	(0.0801)	(0.1300)	(0.1970)	(0.1812)	(0.0632)
	0.0010***	0.0014***	0.0003	0.0021***	-0.0002	0.0001	-0.0001	0.0008***
	(0.0002)	(0.0002)	(0.0002)	(0.0003)	(0.0004)	(0.0007)	(0.0007)	(0.0002)
	-0.0020**	-0.0015	-0.0021**	-0.0018	-0.3820**	0.2316	0.0018	-0.0037***
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0018)	(0.0012)

Cuadro 3. Efectos marginales (efecto parcial promedio) [continuación]

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
Variabes	Todas	Pequeñas	Medianas	Grandes	Riego	
Andosol	-0.0016**	-0.0013	-0.0025	-0.0021**	-0.0003	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0010)	(0.0023)	
Cambisol	-0.0011	-0.0008	-0.0013	-0.0018**	0.0000	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0023)	
Castanozem	-0.0008	-0.0006	-0.0009	-0.0015*	0.0005	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0023)	
Feozem	-0.0012	-0.0007	-0.0014	-0.0019**	0.0003	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0023)	
Fluvisol	-0.0004	-0.0006	0.0001	-0.0012	0.0011	
	(0.0009)	(0.0023)	(0.0020)	(0.0012)	(0.0025)	
Gleysol	-0.0010	-0.0017	-0.0010	-0.0010	-0.0002	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0026)	
Litosol	-0.0005	0.0000	-0.0009	-0.0010	0.0016	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0023)	
Luvisol	-0.0014*	-0.0013	-0.0017	-0.0014	0.0003	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0023)	
Nitosol	-0.0017*	-0.0007	-0.0017	-0.0015	-0.0167**	
	(0.0009)	(0.0024)	(0.0019)	(0.0011)	(0.0073)	
Planosol	-0.0019**	-0.0006	-0.0022	-0.0026***	-0.0004	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0023)	
Regosol	-0.0009	-0.0005	-0.0011	-0.0014	0.0004	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0023)	
Rendzina	-0.0005	-0.0007	-0.0007	-0.0007	0.0006	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0023)	

	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	Temporal	Ejidal	No ejidal	Anuales	Perenes	Anuales y perenes	Ganaderas	Agrícolas y ganaderas
	-0.0018**	-0.0008	-0.0019*	-0.0009	-0.3829**	0.2313	0.0011	-0.0031**
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0020)	(0.0012)
	-0.0014*	-0.0007	-0.0013	0.0002	-0.3820**	0.2314	0.0017	-0.0033***
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0018)	(0.0012)
	-0.0008	-0.0006	-0.0007	-0.0008	-0.3793**	0.2313	0.0044**	-0.0026**
	(0.0009)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0019)	(0.0012)
	-0.0014	-0.0007	-0.0013	-0.0002	-0.3816**	0.2319	0.0022	-0.0033***
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0018)	(0.0012)
	-0.0005	-0.0001	-0.0002	-0.0001	-0.3808**	0.2317	-0.0020	-0.0014
	(0.0010)	(0.0013)	(0.0012)	(0.0023)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0031)	(0.0013)
	-0.0012	-0.0006	-0.0013	-0.0015	-0.3845**	0.2301	0.0030*	-0.0024*
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0011)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0018)	(0.0012)
	-0.0008	-0.0000	-0.0008	-0.0005	-0.3802**	0.2338	0.0029	-0.0023*
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0018)	(0.0012)
	-0.0017**	-0.0007	-0.0020*	-0.0003	-0.3821**	0.2314	0.0026	-0.0033***
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0018)	(0.0012)
	-0.0017*	-0.0014	-0.0017	-0.0007	-0.3849**	0.2320	0.0012	-0.0044***
	(0.0009)	(0.0013)	(0.0013)	(0.0024)	(0.1839)	(0.3418)	(0.0019)	(0.0014)
	-0.0023***	-0.0008	-0.0027***	0.0002	-0.3835**	0.2308	-0.0002	-0.0037***
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0019)	(0.0012)
	-0.0011	-0.0007	-0.0007	-0.0003	-0.3807**	0.2325	0.0024	-0.0028**
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0018)	(0.0012)
	-0.0007	0.0000	-0.0007	-0.0001	-0.3819**	0.2322	0.0037**	-0.0023*
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0018)	(0.0012)

Cuadro 3. Efectos marginales (efecto parcial promedio) [continuación]

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
Variabes	Todas	Pequeñas	Medianas	Grandes	Riego	
Solonchak	-0.0014*	-0.0032	-0.0014	-0.0016*	0.0005	
	(0.0008)	(0.0023)	(0.0019)	(0.0009)	(0.0023)	
Vertisol	-0.0011	-0.0007	-0.0016	-0.0015*	0.0002	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0023)	
Xerosol	-0.0009	-0.0003	-0.0013	-0.0014	0.0000	
	(0.0008)	(0.0022)	(0.0018)	(0.0009)	(0.0023)	
Yermosol	-0.0003	0.0020	-0.0010	-0.0012	0.0012	
	(0.0008)	(0.0024)	(0.0019)	(0.0009)	(0.0023)	
Área	-0.0021***	-1.9109***	-0.5721***	-0.0010***	-0.0065**	
	(0.0006)	(0.2536)	(0.0858)	(0.0004)	(0.0031)	
Riego	-0.0914***	-0.0922***	-0.0962***	-0.0868***		
	(0.0048)	(0.0089)	(0.0085)	(0.0074)		
Ejidal	0.0538***	0.0345***	0.0001	0.0544***	0.0519***	
	(0.0043)	(0.0077)	(0.0090)	(0.0068)	(0.0079)	
Procampo	-0.0021	0.0482***	0.0389***	0.0050	-0.0022	
	(0.0042)	(0.0078)	(0.0078)	(0.0067)	(0.0070)	
Yunta	0.0738***	0.0633***	0.0381***	0.0108	0.1015***	
	(0.0056)	(0.0082)	(0.0102)	(0.0122)	(0.0100)	
Distribución cuerpo de agua	0.0004***	-0.0002	0.0003	0.0005***	0.0001	
	(0.0001)	(0.0002)	(0.0002)	(0.0001)	(0.0002)	
Distribución área metropolitana	-0.0001***	-0.0002**	-0.0000	0.0001***	-0.0001**	
	(0.0000)	(0.0001)	(0.0001)	(0.0000)	(0.0001)	
Densidad carretera	0.0054**	0.0117***	-0.0022	0.0017	0.0030	
	(0.0022)	(0.0040)	(0.0044)	(0.0036)	(0.0037)	

	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	Temporal	Ejidal	No ejidal	Anuales	Perenes	Anuales y perenes	Ganaderas	Agrícolas y ganaderas
	-0.0020**	-0.0007	-0.0021*	-0.0002	-0.3818**	0.2337	-0.0008	-0.0041***
	(0.0009)	(0.0012)	(0.0011)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0021)	(0.0013)
	-0.0012	-0.0007	-0.0013	-0.0006	-0.3818**	0.2311	0.0022	-0.0030**
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0017)	(0.0012)
	-0.0005	-0.0004	-0.0011	-0.0006	-0.3819**	0.2314	0.0025	-0.0024**
	(0.0008)	(0.0012)	(0.0010)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0018)	(0.0012)
	-0.0007	0.0003	-0.0006	0.0011	-0.3837**	0.2327	0.0028	-0.0021
	(0.0009)	(0.0012)	(0.0011)	(0.0022)	(0.1838)	(0.3418)	(0.0018)	(0.0013)
	-0.0016***	-0.0038	-0.0018***	-0.0333***	-0.0045**	-0.0375*	-0.0014**	-0.0044***
	(0.0006)	(0.0026)	(0.0005)	(0.0103)	(0.0020)	(0.0193)	(0.0006)	(0.0017)
		-0.0970***	-0.0764***	-0.1243***	-0.1040***	-0.0674***	0.1918***	-0.0871***
		(0.0059)	(0.0082)	(0.0091)	(0.0191)	(0.0257)	(0.0542)	(0.0067)
	0.0538***			0.0469***	0.0182	0.0013	0.0835***	0.0497***
	(0.0052)			(0.0086)	(0.0146)	(0.0210)	(0.0168)	(0.0061)
	-0.0018	0.0110**	-0.0267***	0.0019	-0.0157	0.0470**	0.0184	-0.0018
	(0.0053)	(0.0053)	(0.0071)	(0.0079)	(0.0194)	(0.0191)	(0.0228)	(0.0058)
	0.0589***	0.0478***	0.1169***	0.0357***	-0.0207	0.0994***	0.0597	0.0907***
	(0.0066)	(0.0068)	(0.0094)	(0.0102)	(0.0339)	(0.0286)	(0.1495)	(0.0073)
	0.0004***	0.0006***	0.0000	0.0004	0.0023***	0.0001	0.0002	0.0001
	(0.0001)	(0.0001)	(0.0002)	(0.0002)	(0.0006)	(0.0005)	(0.0003)	(0.0002)
	-0.0000	-0.0001***	-0.0000	-0.0002***	0.0003*	0.0001	0.0003**	-0.0001*
	(0.0000)	(0.0000)	(0.0001)	(0.0001)	(0.0002)	(0.0002)	(0.0001)	(0.0000)
	0.0108***	0.0043	0.0054*	0.0052	0.0004	0.0263***	-0.0112	0.0076**
	(0.0029)	(0.0033)	(0.0031)	(0.0043)	(0.0080)	(0.0101)	(0.0094)	(0.0032)

Cuadro 3. Efectos marginales (efecto parcial promedio) [conclusión]

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Variabes	Todas	Pequeñas	Medianas	Grandes	Riego
Altitud	0.0069*** (0.0008)	0.0048*** (0.0016)	0.0081*** (0.0016)	0.0026** (0.0012)	0.0049*** (0.0014)
Hombre	-0.0829*** (0.0061)	-0.0633*** (0.0091)	-0.0616*** (0.0113)	-0.0675*** (0.0116)	-0.0585*** (0.0109)
Edad	0.0001 (0.0001)	0.0003 (0.0003)	0.0004 (0.0003)	0.0005** (0.0002)	0.0005** (0.0003)
Indígena	0.0691*** (0.0054)	0.0402*** (0.0079)	0.0180* (0.0105)	0.0279** (0.0109)	0.0674*** (0.0108)
Educación	-0.0064*** (0.0010)	-0.0018 (0.0017)	-0.0030 (0.0019)	-0.0097*** (0.0017)	-0.0047** (0.0018)
Observaciones	60 388	20 354	18 319	21 715	20 054

Nota: errores estándar en paréntesis. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Variable dependiente: 1 si los ingresos netos por hectárea son iguales o mayores que cero, 0 si son menores que cero. Tamaño de la UP: pequeños ≤ 5 has, medianos > 5 y ≤ 20 has, grandes > 20 has. Las UP con riego son aquellas cuyo porcentaje de superficie regada es mayor que cero (temporal implica que no hay riego en ninguna parcela dentro de la UP). Las UP ejidales son aquellas cuyo porcentaje de superficie ejidal es mayor que cero (no ejidal implica que no hay riego).

Para considerar dichas diferencias se sugiere estimar un modelo ricardiano de dos etapas en donde, en la primera etapa, se estime la probabilidad de operar con pérdidas como se hace en este estudio y, en la segunda etapa, se incorporen los términos de selección en la función estructural ricardiana. Al realizar un procedimiento de dos etapas también se evita el problema de transformación de la variable dependiente cuando se estima un modelo ricardiano semilogarítmico en presencia de valores negativos. Frecuentemente, en estudios empíricos se encuentra que añadir un término constante a cada una de las observaciones con el propósito de tener valores positivos en los ingresos netos cambia los

	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	Temporal	Ejidal	No ejidal	Anuales	Perenes	Anuales y perenes	Ganaderas	Agrícolas y ganaderas
	0.0075***	0.0079***	0.0048***	0.0124***	0.0091***	0.0108***	0.0109***	0.0063***
	(0.0011)	(0.0011)	(0.0013)	(0.0015)	(0.0031)	(0.0037)	(0.0029)	(0.0013)
	-0.0919***	-0.0819***	-0.0804***	-0.0292***	-0.0385**	-0.0148	-0.1397***	-0.1165***
	(0.0073)	(0.0077)	(0.0096)	(0.0106)	(0.0172)	(0.0292)	(0.0236)	(0.0092)
	-0.0001	-0.0000	0.0003	0.0006**	0.0002	-0.0003	-0.0019***	0.0000
	(0.0002)	(0.0002)	(0.0002)	(0.0003)	(0.0005)	(0.0007)	(0.0006)	(0.0002)
	0.0725***	0.0286***	0.1189***	0.0643***	0.0110	0.0002	0.0819***	0.0915***
	(0.0061)	(0.0068)	(0.0086)	(0.0110)	(0.0166)	(0.0243)	(0.0250)	(0.0073)
	-0.0071***	-0.0051***	-0.0080***	-0.0028	0.0058*	-0.0078	-0.0106**	-0.0087***
	(0.0012)	(0.0013)	(0.0017)	(0.0019)	(0.0034)	(0.0048)	(0.0042)	(0.0014)
	40 334	38 054	22 334	17 458	5 462	2 916	3 844	30 541

na parcela con el régimen de propiedad ejidal dentro de la UP). Las UP anuales, perenes o ganaderas son aquellas que se dedican exclusivamente a cultivos anuales, cultivos perenes o ganadería respectivamente. Los grupos restantes diversifican sus actividades entre anuales y perenes o entre cualquier producto agrícola y la ganadería.

Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta Nacional Agropecuaria 2014* (INEGI, 2014).

resultados de las estimaciones, por lo que la estimación de dos etapas podría contribuir a evitar este problema.

En términos de seguridad alimentaria, los resultados de este trabajo tienen las siguientes implicaciones. De acuerdo con el planteamiento teórico de Ricardo (1817), aquellos productores a los que el mercado no cubre sus costos deberían retirar sus tierras de la producción agrícola o pecuaria. En este sentido, si el 45% de los productores de la muestra retiraran sus tierras de las actividades agropecuarias, esto tendría serias implicaciones sobre la disponibilidad de alimentos. De la misma manera, si no las retiraran y en su lugar las destinaran a otras actividades agropecuarias distintas a las

que realizan actualmente, la configuración de la producción de alimentos en México podría modificarse considerablemente e influir sobre los precios del conjunto de productos agrícolas y pecuarios. Por esta razón, es importante el diseño de políticas económicas que propicien ingresos apropiados para los productores de alimentos y esto, a su vez, contribuya en el largo plazo a tener una mayor disponibilidad de alimentos.

4. CONCLUSIONES

El objetivo de este artículo es contribuir al debate actual sobre la situación del sector agropecuario respondiendo a las siguientes preguntas de investigación: ¿quién gana y quién pierde en la producción agropecuaria? y ¿cuáles son los factores que determinan la probabilidad de pérdida? Para ello, utilizamos información económica de 65 548 UP dedicadas a las actividades agropecuarias en México para calcular sus ingresos netos e identificar los factores que determinan la probabilidad de incurrir en pérdidas. Utilizando la ubicación espacial de sus parcelas se obtiene el clima de largo plazo, eventos climáticos de corto plazo, tipos de suelo, características de las parcelas, proximidad a cuerpos de agua y a mercados de cada una de las UP en la muestra. Además de ello, se consideran las características sociodemográficas de los productores reportadas en la ENA 2014. Los resultados muestran que el 45% de las UP incurren en pérdidas al realizar sus actividades y la probabilidad de pérdida suele ser más alta cuando el(la) productor(a) es mujer, se reconoce como indígena, tiene menos años de educación, usa yunta, utiliza extensiones menores de tierra, sus tierras son de temporal, sus tierras son ejidales y cuando sus parcelas se encuentran en zonas altas.

Los resultados de este trabajo tienen implicaciones para la literatura existente y para la seguridad alimentaria en México. Respecto a la literatura, este trabajo pretende contribuir a la línea de investigación que utiliza modelos ricardianos para estimar el impacto del cambio climático en el sector agropecuario al estimar lo que, potencialmente, podría ser la primera etapa de un modelo estructural ricardiano en donde se modele explícitamente el impacto del cambio climático sobre productores orientados y no orientados a la producción de mercado. En términos de seguridad alimentaria, el 45% de las UP de la muestra no obtienen ganancias por dedicar sus tierras a las actividades agropecuarias donde,

principalmente, se producen alimentos de consumo humano. De acuerdo con la teoría ricardiana (Ricardo, 1817), estos productores tendrían que dedicar sus tierras a otras actividades rentables. El desplazarse ya sea hacia actividades no agropecuarias o hacia una actividad agropecuaria distinta a la actual, la producción de alimentos en México podría modificarse de forma importante e influir sobre el precio de los alimentos y, por ende, en la seguridad alimentaria.

Durante el desarrollo de este trabajo identificamos la siguiente línea de investigación futura. Existe una gran cantidad de estudios que han utilizado el modelo ricardiano para estimar el impacto del cambio climático en el sector agropecuario utilizando ingresos netos como proxy de la renta de la tierra. En esos estudios es común encontrar ingresos netos menores que cero en donde no es posible estimar una forma semi-logarítmica de la función ricardiana, a menos que se realice una transformación de la variable dependiente, *e.g.*, añadir un término constante para mover la distribución y el valor mínimo sea mayor que cero. Algunos autores sostienen que esa transformación influye en la estimación de los parámetros y podría cambiar el sentido de las conclusiones del estudio. Además de ello, los estudios ricardianos previos no ahondan en los impactos que podrían tener productores que actualmente operan con pérdidas en países menos desarrollados. Por lo que se sugiere estimar un modelo ricardiano de dos etapas en donde en la primera etapa se estime un modelo Logit para identificar la probabilidad de pérdida y en una segunda etapa se estime una función ricardiana incorporando los términos de selección de la primera etapa con el propósito de considerar las diferencias que existen entre productores enfocados y no enfocados a la producción de mercado.

En la interpretación de los resultados de este trabajo se tienen que considerar las siguientes limitaciones. Primero, la muestra de UP es representativa a nivel nacional en términos de producción y extensión de superficie sembrada y cosechada; sin embargo, no podemos utilizar los factores de expansión de la encuesta en la estimación econométrica debido a que las variables provienen de fuentes externas a la ENA 2014 y no fueron contempladas en el diseño de la muestra. Por lo tanto, los resultados son válidos para las UP comprendidas en el análisis. Segundo, para calcular los ingresos totales de las UP utilizamos los precios recibidos por el productor en su última venta y existe un número importante de

UP que no reportaron el precio de venta. En los casos en donde no se reporta un precio, utilizamos el promedio municipal, estatal o nacional del producto correspondiente para el cálculo de ingresos totales. Lo anterior, podría causar un sesgo en la proporción de UP con pérdidas debido a que una proporción importante de ellas dedica, al menos parcialmente, una parte de su producción a autoconsumo. ◀

REFERENCIAS

- Ahmed, M.N. y Schmitz, P.M. (2015). Climate change impacts and the value of adaptation-can crop adjustments help farmers in Pakistan? *International Journal of Global Warming*, 8(2), pp. 231-257. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2015.071954>
- Allen, L.J. y Boote, K.J. (2000). Crop ecosystem responses to climatic change: Soybean. En: K.R. Reddy y H.F. Hodges (eds.), *Climate Change and Global Crop Productivity* (pp. 133-160). CABI Digital Library. <https://doi.org/10.1079/9780851994390.0133>
- Bareille, F. y Chakir, R. (2023). The impact of climate change on agriculture: A repeat-Ricardian analysis. *Journal of Environmental Economics and Management*, 119, 102822. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102822>
- Beltrán, A., Basurto, S. y Mendelsohn, R. (2023). The impact of climate change on global agriculture: Evidence from the Ricardian literature. Paper presented at the *2023 Annual Meeting of the Agricultural and Applied Economics Association*, Washington, DC.
- Cameron, A.C. y Trivedi, P.K. (2011). *Microeconometrics Using Stata. Revised Edition*. [en línea] Disponible en: <<https://www.stata-press.com/books/preview/mus2-preview.pdf>>.
- Chatzopoulos, T. y Lippert, C. (2016). Endogenous farm-type selection, endogenous irrigation, and spatial effects in Ricardian models of climate change. *European Review of Agricultural Economics*, 43(2), pp. 217-235. <https://doi.org/10.1093/erae/jbv014>
- Da Cunha, D.A., Coelho, A.B. y Féres, J.G. (2015). Irrigation as an adaptive strategy to climate change: An economic perspective on Brazilian agriculture. *Environment and Development Economics*, 20(1), pp. 57-79. <https://doi.org/10.1017/S1355770X14000102>
- DePaula, G. (2020). The distributional effect of climate change on agriculture: Evidence from a Ricardian quantile analysis of Brazilian census data. *Journal*

- of *Environmental Economics and Management*, 104, 102378. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102378>
- Etwire, P.M., Fielding, D. y Kahui, V. (2017). *The impact of climate change on crop production in Ghana: A Structural Ricardian analysis* [Economic Discussion Papers no. 1706]. University of Otago, Nueva Zelanda. [en línea] Disponible en: <https://ourarchive.otago.ac.nz/bitstream/handle/10523/7266/DP_1706.pdf?sequence=1>.
- Fick, S.E. y Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), pp. 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Galindo, L.M., Reyes, O. y Alatorre, J.E.E. (2015). Climate change, irrigation and agricultural activities in Mexico: A Ricardian analysis with panel data. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 7(7), pp. 262-273. <https://doi.org/10.5897/jdae2015.0650>
- Hossain, M.S., Arshad, M., Qian, L., Zhao, M., Mehmood, Y. y Kächele, H. (2019). Economic impact of climate change on crop farming in Bangladesh: An application of Ricardian method. *Ecological Economics*, 164, 106354. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106354>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2012). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2012*. México: INEGI. [en línea] Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2012/>>.
- INEGI (2014). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2014*. México: INEGI. [en línea] Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2014/>>.
- INEGI (2014b). *Conjunto de datos vectoriales. Perfiles de suelos. Escala 1:1 000 000*. México: INEGI. [en línea] Disponible en: <<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267636>>.
- INEGI (2017). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2017*. México: INEGI. [en línea] Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/>>.
- INEGI (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2019*. México: INEGI. [en línea] Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/>>.
- Issahaku, Z.A. y Maharjan, K.L. (2014). Climate change impact on revenue of major food crops in Ghana: Structural Ricardian cross-sectional analysis. En: Lall Maharjan, J. (ed.), *Communities and Livelihood Strategies in Developing Countries* (pp. 13-32). Springer Link.
- Kabubo-Mariara, J. (2009). Global warming and livestock husbandry in Kenya: Impacts and adaptations. *Ecological Economics*, 68(7), pp. 1915-1924. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.03.002>

- Kurukulasuriya, P. (2006). Economic impact of climate change on African agriculture. Tesis de Doctorado. Yale University, New Haven, CT. [en línea] Disponible en: <<https://www.proquest.com/docview/304979706?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>>.
- Kurukulasuriya, P. y Mendelsohn, R.O. (2007). *Endogenous irrigation: The impact of climate change on farmers in Africa* [World Bank Policy Research Working Paper no. 4278]. World Bank, Washington, DC. [en línea] Disponible en: <<https://documents1.worldbank.org/curated/en/398301468004476471/pdf/wps4278.pdf>>.
- Kurukulasuriya, P. y Mendelsohn, R. (2008). Crop switching as a strategy for adapting to climate change. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2(311-2016-5522), pp. 105-126. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.56970>
- Kurukulasuriya, P., Kala, N. y Mendelsohn, R. (2011). Adaptation and climate change impacts: a structural Ricardian model of irrigation and farm income in Africa. *Climate Change Economics*, 2(02), pp. 149-174. <https://doi.org/10.1142/s2010007811000255>
- Mendelsohn, R.O. y Dinar, A. (2009). *Climate Change and Agriculture: An Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation and Distributional Effects*. Edward Elgar Publishing. [en línea] Disponible en: <<https://environment.yale.edu/bibcite/reference/2123>>.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W.D. y Shaw, D. (1994). The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *The American Economic Review*, 753-771. [en línea] Disponible en: <<https://www.jstor.org/stable/2118029>>.
- Nicita, L., Cucuzza, G., De Salvo, M., Prato, C. y Signorello, G. (2020). Spatial effects and endogeneity in a Ricardian model of climate change: An application to a Mediterranean region. *Spatial Economic Analysis*, 15(3), pp. 219-237. <https://doi.org/10.1080/17421772.2020.1773520>
- Ortiz-Bobea, A. (2020). The role of nonfarm influences in Ricardian estimates of climate change impacts on US agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*, 102(3), pp. 934-959. <https://doi.org/10.1093/ajae/aaz047>
- Reddy, K.R., Hodges, H.F. y Kimball, B.A. (2000). Crop ecosystem responses to climatic change: cotton. En: K.R. Reddy y H.F. Hodges (eds.), *Climate Change and Global Crop Productivity* (pp. 161-187). CABI Digital Library. <https://doi.org/10.1079/9780851994390.0161>
- Ricardo, D. (1817). *On the Principles of Political Economy and Taxation*. Londres. [en línea] Disponible en: <<https://socialsciences.mcmaster.ca/econ/ugcm/3ll3/ricardo/Principles.pdf>>.

- Seo, S.N. y Mendelsohn, R.O. (2007). *The Impact of Climate Change on Livestock Management in Africa: A Structural Ricardian Analysis*. Vol. 4279. Washington, DC: World Bank Publications. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-4279>
- Seo, S.N. y Mendelsohn, R. (2008). *A structural ricardian analysis of climate change impacts and adaptations in African agriculture* [World Bank Policy Research Working Paper no. 4603]. World Bank, Washington, DC. [en línea] Disponible en: <<https://documents1.worldbank.org/curated/en/467731468203352332/pdf/WPS4603.pdf>>.
- Timmins, C. (2006). Endogenous land use and the Ricardian valuation of climate change. *Environmental and Resource Economics*, 33, pp. 119-142. <https://doi.org/10.1007/s10640-005-2646-9>
- Upananda, V. y Abeysinghe, H.K.I.P. (2021). A review of literature in applying the Ricardian model to analyse economic impact of climate change on agriculture. Proceedings of the *7th International Research Conference on Humanities & Social Sciences (IRCHSS) 2021*, March 21. [en línea] Disponible a través de: SSRN, <<https://ssrn.com/abstract=3809111>>.
- Wooldridge, J.M. (2015). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. Boston, MA: Cengage Learning. [en línea] Disponible en: <https://economics.ut.ac.ir/documents/3030266/14100645/Jeffrey_M._Wooldridge_Introductory_Econometrics_A_Modern_Approach__2012.pdf>.
- Wouters, H. (2021). Global bioclimatic indicators from 1979 to 2018 derived from reanalysis. *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)*. <https://doi.org/10.24381/cds.bce175f0> [Consultado el 15 de mayo de 2023].
- Young, K.J. y Long, S.P. (2000). Crop ecosystem responses to climatic change: Maize and sorghum. En: K.R. Reddy y H.F. Hodges (eds.), *Climate Change and Global Crop Productivity* (pp. 107-131). CABI Digital Library. <https://doi.org/10.1079/9780851994390.0107>

Agradecimientos

Investigación realizada gracias al Proyecto IA303221 "Impacto del cambio climático en la producción de alimentos en México" del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM. Agradecemos infinitamente los comentarios de las personas que revisaron versiones previas de este artículo y contribuyeron a mejorar el trabajo. También, estamos agradecidos por el apoyo recibido por parte del Laboratorio de Microdatos y del área encargada de la *Encuesta Nacional Agropecuaria* en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).