



## Factores que condicionan la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados en México<sup>1</sup>

### Factors conditioning the adoption rate of technified irrigation systems in Mexico

*José Alberto García-Salazar<sup>2</sup>, Fidel Bautista-Mayorga<sup>2</sup>, Ester Reyes-Santiago<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Recepción: 6 de junio, 2022. Aceptación: 29 de septiembre, 2022. En este trabajo formó parte del proyecto “Demanda, distribución y uso eficiente del agua en regiones del norte de México”. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México, México.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado de Socioeconomía, Estadística e Informática, Programa de Economía. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, CP 56230. [jsalazar@colpos.mx](mailto:jsalazar@colpos.mx) (autor para correspondencia, <http://orcid.org/0000-0002-9892-7618>); [fidelbm26@gmail.com](mailto:fidelbm26@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-1480-0239>); [reyesester443@gmail.com](mailto:reyesester443@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-0076-0563>).

## Resumen

**Introducción.** Conocer los factores que condicionan la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados, es importante por el ahorro de agua que podría obtenerse al aumentar el número de unidades que utilizan sistemas más eficientes. **Objetivo.** Determinar los factores que condicionan la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados en México. **Materiales y métodos.** Se estimó un modelo logit en donde la variable dependiente fue el logit de la razón de probabilidades de usar sistemas de riego tecnificados contra otros sistemas de riego. Las variables independientes fueron: precio de la energía eléctrica, valor del agua, precipitación pluvial, temperatura, número de acuíferos sobreexplotados, tamaño de predio, tasa de utilización de unidades de producción que utilizan medidas sanitarias y grado de escolaridad de los productores agrícolas. La estimación se realizó con datos de las 32 entidades federativas de México para el 2019. **Resultados.** Los resultados indicaron que si el precio de la energía eléctrica y el valor del agua aumentan en 10 %, la tasa o probabilidad de usar sistemas de riego tecnificados aumentaría de 24,51 a 25,42 y 26,17 %, respectivamente. Una disminución del 10 % en la precipitación pluvial aumentaría la probabilidad de usar sistemas de riego tecnificados de 24,51 a 25,41 %, mientras que con un aumento de 5 % en la temperatura, esa probabilidad pasaría de 24,51 a 29,40 %. **Conclusión.** Estos resultados demostraron la importancia que tienen las condiciones económicas y climáticas como factores que afectan el uso de sistemas de riego tecnificados y, por lo tanto, en el ahorro de agua.

**Palabras clave:** probabilidad, modelo logit, precio de la energía eléctrica, valor del agua, temperatura.

## Abstract

**Introduction.** To know the factors that determine the rate of adoption of technician irrigation systems is important because of the water savings that could be obtained by increasing the number of units that use more efficient systems. **Objective.** To determine the factors that affect the rate of adoption of technician irrigation systems in Mexico. **Materials and methods.** A logit model was estimated where the dependent variable was the logit of the ratio of probabilities of using technician irrigation systems against other irrigation systems. The independent variables



were: electricity price, water value, rainfall, temperature, number of over-exploited aquifers, farm size, utilization rate of production units that use sanitary measures, and educational level of agricultural producers. The estimate was made with data from Mexico's 32 federative entities for 2019. **Results.** The results indicated that, if the electricity price and the water value increase by 10 %, the rate or probability of using modernized irrigation systems increases from 24.51 to 25.42 and 26.17 %, respectively. A 10 % decrease in rainfall would increase the probability of using modernized irrigation systems from 24.51 to 25.41 %, while with a 5 % increase in temperature, this probability would increase from 24.51 to 29.40 %. **Conclusion.** These results demonstrated the importance of economic and climatic conditions as factors that affect the use of technician irrigation systems, therefore, in saving water.

**Keywords:** probability, logit model, electricity price, water value, temperature.

## Introducción

A nivel mundial se dispone en promedio de 1386 billones de  $\text{hm}^3$  de agua, de los cuales el 97,5 % es salada y el 2,5 % es dulce (glaciares, nieve, hielo, agua subterránea, lagos, ríos y humedales); sin embargo, no toda el agua dulce es aprovechable para el consumo humano, ya que la mayor parte se encuentra en glaciares, nieve y hielo (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2018).

Los recursos hídricos sufren degradación y estrés creciente, debido a la presión demográfica, consumo y producción insostenible. A medida que aumenta la demanda, el agua dulce se vuelve más escasa, debido a la competencia, además, se incrementan las extracciones y esto amenaza los ecosistemas relacionados con el agua; así pues, la agricultura tiene un papel importante que desempeñar en el camino de la sostenibilidad, ya que consume el 70 % de las extracciones totales de agua (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2020). Es importante no hacer caso omiso a la problemática de la escasez del agua, la cual, recientemente, se estimó que afecta a 2200 millones de personas en el mundo (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

En México, en 2020 la población fue de 128 millones de habitantes (14 millones más respecto a 2010) y el Producto Interno Bruto (PIB) en términos reales fue superior a 839 millones de USD\$ (Banco de México, 2022; Consejo Nacional de Población, 2018), pero de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2018), la mayor precipitación pluvial se encuentra en la parte sur del país con menor concentración de población y aporte económico; diferente al norte del país, que carece del vital líquido y solo concentra una tercera parte de los 451,6  $\text{hm}^3$  del total de agua renovable en México, pero congrega más del 75 % de la población y el 83 % del total del PIB (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2021). Lo anterior provoca la sobreexplotación de los acuíferos como lo confirman Santos-Hernández et al. (2019).

De acuerdo con la base de datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019), para el año 2019, México registró 462 mil  $\text{hm}^3$  de agua, de estos la agricultura consumió 75,7 %, el abastecimiento público fue del 14,7 % y la industria utilizó 9,6 %. La problemática radica en la agricultura, por ser uno de los sectores más ineficientes en el uso del agua; se estima que más de la mitad del líquido empleado para este fin se pierde por escurrimientos y por evaporación antes de llegar al cultivo (SEMARNAT, 2017). Por lo tanto, aumentar la eficiencia del recurso hídrico significaría reducir la presión sobre las fuentes abastecedoras de agua y la competencia con otros sectores en su aprovechamiento (SEMARNAT, 2017).

El reto que enfrentará la agricultura en los próximos años es asegurar el abastecimiento de alimentos para la población, la magnitud estará en función de la tasa de crecimiento poblacional, la economía, la infraestructura agrícola, y los recursos naturales de cada país. Lo anterior implica un crecimiento en la demanda de servicios de vivienda, salud, energía eléctrica, agua potable y suministro de alimentos (Banco Mundial, 2017). Es probable que la mancha urbana invada terrenos que en la actualidad están destinados a la siembra de cultivos, como consecuencia

los productores deben mejorar el rendimiento por unidad de superficie para poder abastecer de alimentos a la población (Sosa Baldivia & Ruíz Ibarra, 2017).

La productividad de los cultivos puede incrementarse a través de estudios genéticos y experimentales, pero se deben considerar algunas restricciones como la disminución del uso del agua y la huella hídrica, lo cual permitiría hacer frente a las necesidades alimenticias de México (Brambila Paz et al., 2015).

La introducción de la tecnología de riego es fundamental para reducir el consumo de agua y por ende, en la sobreexplotación continua de este recurso en el país, además, abonaría a hacer un uso racional del agua (Flores Vichi, 2013).

De acuerdo con la última Encuesta Nacional Agropecuaria en México, se tuvo registro de 3,5 millones de unidades de producción, de los cuales el 23 % son de riego y el 77 % son de temporal o agricultura de secano (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2022a). En esta línea, del 100 % de las unidades con riego, el 75 % es por gravedad y el 25 % es tecnificado (incluye riego por goteo, aspersión, micro-aspersión y riego automatizado) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2022a). Se puede notar una baja tecnificación en el riego, aunado al deterioro de la infraestructura, producto de la acumulación de varias décadas por la insuficiencia de recursos económicos para su conservación y mejoramiento, los que propiciaron una baja en la eficiencia global del manejo del agua (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2022a).

Hay un bajo porcentaje de uso de tecnologías de riego en México, es así que surge la siguiente pregunta de investigación, ¿Qué factores condicionan la adopción de sistemas de riego tecnificados en el país, para dar respuesta a la interrogante, se realizó una revisión de literatura en la cual se muestran algunos factores que otros autores han considerado influyen en la adopción de sistemas de riego tecnificado.

Entre los factores identificados como condicionantes en la adopción de sistemas de riego tecnificado en la región de Murcia, España, estuvieron las tarifas de agua, que fomentaron el uso de modernas tecnologías de riego e incentivaron el ahorro y una asignación eficiente de los escasos recursos hídricos (Alcón et al., 2008). Se indicó que la adopción de riego tecnificado es más probable cuando los precios del agua son altos, que en un rango de precios de bajos a medios (0,126 a 0,134 dinar tunecino por metro cúbico de agua reportado por el granjero) (Mattoussi & Mattoussi, 2022).

La energía eléctrica es la fuente principal de energía para el bombeo de agua subterránea en México y el consumo depende de cuatro variables: volumen requerido, profundidad de captación, topografía del terreno y la distancia entre la fuente de captación y los usuarios finales (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2014). Por lo tanto, la fijación de precios en este insumo puede proporcionar incentivos para ahorrar agua a través de la adopción de tecnología de riego (Flores Vichi, 2013).

En el norte de Etiopía, se reportó un efecto directo entre la adopción de tecnología agrícola y los ingresos del agricultor como resultado de mayores rendimientos y precios (Berihun Kassa et al., 2014).

La tecnificación de riego es una acción de adaptación ante un escenario futuro de mayor variabilidad climática y una reducción en la precipitación, lo que supone que a menor precipitación mayor será la tecnificación de riego en las parcelas (Ojeda Bustamante et al., 2012).

Un aumento en la temperatura significa una mayor evaporación y un secado más rápido del suelo al experimentar una reducción de humedad, por esta razón, los productores deberán alterar también el programa convencional de aplicación de sus insumos para ajustarse a los nuevos requerimientos hídricos y térmicos de los cultivos (Ojeda Bustamante et al., 2012). Lo anterior implica que a mayor temperatura, mayor probabilidad de adoptar sistemas de riego, ya que permiten ser más eficiente en el uso del agua y contrarrestar los efectos adversos de la temperatura (Zermeño González et al., 2014).

El tamaño de predio es otro de los factores que influye para adoptar tecnología en sistemas de riego por parte de los productores, ya que se requiere de un tamaño mínimo para que la tecnología sea rentable (Villanueva Vargas, 2010). Entonces, lo anterior da la idea que a mayor tamaño del predio, aumenta la probabilidad de adoptar tecnologías en riego, ya que, de esta manera, se ahorraría más agua (Carrillo-Huerta & Gómez Bretón, 2020).

En México, los cambios proyectados en la precipitación y temperatura afectaron los componentes y procesos asociados al ciclo hidrológico (Ojeda Bustamante et al., 2012). En este sentido, Montero-Martínez et al. (2013) indicaron una disminución generalizada de la precipitación en el país, dicha disminución se ubicó entre -1,10 y -0,81 mm por año para fines de este siglo (2070-2098). De forma análoga, para las zonas centro y norte del país, las temperaturas sobrepasaron los 5 °C para finales del presente siglo (Montero-Martínez et al., 2013). Una disminución en la precipitación de una zona de riego indicó un incremento en los requerimientos de riego de los cultivos, por lo que se deberán implantar acciones de adaptación por posibles impactos del cambio climático, al disminuir la precipitación e incrementarse la temperatura.

El objetivo de la presente investigación fue determinar los factores que condicionan la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados en México. La hipótesis que se formuló en el trabajo, indica que aumentos en el valor de agua por unidad de superficie, el precio de la electricidad de uso agrícola, la temperatura y el tamaño de predio, inducen al agricultor hacia la adopción de riego tecnificado en sus parcelas.

## Materiales y métodos

Para alcanzar los objetivos de la investigación y determinar los factores que condicionan la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados, se usó un modelo logit agrupado, en donde la tasa de usar un sistema de riego tecnificado (o utilizar un sistema de riego no tecnificado, en su caso), se puede definir mediante las ecuaciones 1 y 2.

$$P_i = \frac{URTEC_i}{URTOT_i} \quad \text{ecuación 1}$$

$$1 - P_i = \frac{(URTOT_i - URTEC_i)}{URTOT_i} \quad \text{ecuación 2}$$

Donde,  $P_i$  fue la tasa o probabilidad de usar sistemas de riego tecnificados en la región  $i$ ,  $URTEC_i$  fueron las unidades que usan sistemas de riego tecnificados (riego por goteo, aspersión, micro-aspersión y automatizado) en la región  $i$ ,  $URTOT_i$  fueron las unidades totales de riego y  $1 - P_i$  fue la probabilidad de no usar un sistema de riego tecnificado en la región  $i$ . El criterio de agrupación de los datos fueron las 32 entidades federativas del país, en donde existen unidades agrícolas que producen bajo condiciones de riego.

La formulación del modelo para determinar los factores que afectan la tasa de adopción se basó en Gujarati & Porter (2010). El modelo propuesto fue el representado en la ecuación 3.

$$L_i = \ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = \delta_0 + \delta_1 PEEL_i + \delta_2 VAG_i + \delta_3 PP_i + \delta_4 TUS_i + \delta_5 ACUI_i + \delta_6 TAM_i + \delta_7 ESC_i + \delta_8 TEM_i + u_i \quad \text{ecuación 3}$$

Donde para la región  $i$ ,  $L_i$  fue el logaritmo natural de razón de probabilidades  $[P_i/(1-P_i)]$ ,  $PEEL_i$  fue el precio de la energía eléctrica en USD\$ por MWh,  $VAG_i$  fue el valor del agua en USD\$ por m<sup>3</sup>,  $PP_i$  fue la precipitación pluvial promedio (mm),  $TUS_i$  fue el porcentaje de unidades de producción que usan insecticidas y plaguicidas en %,  $ACUI_i$  fue el número de acuíferos sobre-explotados,  $TAM_i$  fue el tamaño de predio en hectáreas por unidad de riego,  $ESC_i$  fue el número de habitantes con estudios de primaria;  $TEM_i$  fue la temperatura promedio anual (°C) y  $u_i$  fue el término de error.

Debido a que un porcentaje considerable de los sistemas de riego utilizaron agua extraída del subsuelo, entonces el precio de la energía eléctrica es un proxy del precio del agua en los sistemas de riego por bombeo. Un mayor precio de la energía eléctrica hace necesario, por parte del productor, el ahorro de agua, lo cual induce al productor a la adopción de sistemas más eficientes en el uso del agua.

Si se considera al productor agrícola como un agente que trata de maximizar su beneficio a través de la optimización de una función de ganancia, entonces el agua será un recurso más valorado en aquellas actividades agrícolas que proporcionen un mayor valor. Es de esperarse, entonces, que un alto valor del agua (en USD\$ por m<sup>3</sup>) induzca al productor a la adopción de sistemas más eficientes en el uso de este recurso.

Las variables climáticas como la precipitación pluvial y la temperatura, también son factores que condicionan la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados. Se espera una relación negativa entre la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados y la precipitación pluvial; en regiones donde la precipitación es escasa, se espera un mayor porcentaje de unidades de producción que usan sistemas de riego eficientes. En el caso de la temperatura, climas más calurosos y secos elevarán la evaporación del agua y la creciente necesidad de utilizar sistemas más eficientes. La relación que se espera en este caso es positiva, lo cual indica que a una mayor temperatura, la tasa de adopción será más alta. Es preciso aclarar que se consideró la temperatura como variable aproximada a la evaporación, debido a la relación directa que existe entre ambas variables en el ciclo hidrológico del agua.

La probabilidad (o tasa de adopción) de usar sistemas de riego tecnificados, se calculó una vez que el modelo fue estimado. Debido a que  $\hat{L}_i = \ln[\hat{P}_i/(1 - \hat{P}_i)]$ , entonces al tomar el antilogaritmo de  $\hat{L}_i$  se obtiene  $\hat{P}_i/(1 - \hat{P}_i)$ , es decir, la razón de probabilidades estimada, esto es (ecuación 4):

$$\frac{\hat{P}_i}{1 - \hat{P}_i} = e^{\hat{L}_i} \quad \text{ecuación 4}$$

De la ecuación 4, la probabilidad estimada de utilizar sistemas más eficientes en el uso del agua se obtiene de la ecuación 5.

$$\hat{P}_i = \frac{e^{\hat{L}_i}}{1 + e^{\hat{L}_i}} \quad \text{ecuación 5}$$

Con la ecuación 5 se obtuvo la probabilidad estimada de usar sistemas de riego tecnificados en cada región  $i$ .

Un indicador nacional de la tasa de uso de sistemas de riego tecnificados, se obtuvo al calcular la probabilidad nacional promedio con las ecuaciones 6 y 7.

$$P_p = \sum_{i=1}^I [\hat{P}_i * \sigma_i] \quad \text{ecuación 6}$$

$$\sigma_i = \frac{URTOT_i}{UNT} \quad \text{ecuación 7}$$

Donde  $P_p$  es la probabilidad nacional promedio de utilizar sistemas de riego tecnificados,  $\sigma_i$  es la participación de la región  $i$  en las unidades de riego totales a nivel nacional y  $UNT$  son las unidades de riego totales a nivel nacional.

Una vez que se obtuvo la probabilidad estimada con la ecuación 6, se estimó la cantidad de unidades de riego que usan sistemas de riego tecnificados a nivel nacional con la ecuación 8.

$$UR\hat{T}EC_p = \hat{P}_p * UNT \quad \text{ecuación 8}$$

Para analizar la forma en que los cambios en las variables independientes afectan la tasa de utilización de los sistemas de riego tecnificados, se plantearon los siguientes escenarios hipotéticos de cambio en 10, 20 y 30 % para las siguientes variables: 1) aumento en el precio de la energía eléctrica, 2) aumento en el valor del agua, 3) disminución en la precipitación pluvial, 4) aumento en el tamaño de predio y 5) aumento en la temperatura en 5, 7,5 y 10 %. Las razones que justifican la selección de los escenarios anteriores son las siguientes: a) se consideraron cambios en las variables socioeconómicas y climáticas más importantes que afectan la adopción de

sistemas tecnificados, b) los cambios en las variables socioeconómicas seleccionadas pueden inducir a las unidades de producción a adoptar sistemas de riego tecnificados y c) es probable que la precipitación y la temperatura tengan cambios en el futuro derivados del cambio climático.

Los primeros dos escenarios consideraron cambios en variables económicas como el precio de la energía eléctrica y el valor del agua. El tercer y último escenario atendieron cambios en las variables climáticas como la precipitación pluvial y la temperatura promedio anual. En el cuarto escenario se consideró que el productor que utiliza el riego en un sistema tecnificado, puede aumentar su tamaño de predio a través de la renta o compra de tierra a otras unidades de producción que se dedican a sembrar los mismos cultivos, lo cual significa que la superficie total se mantiene constante.

La estimación del modelo se realizó con datos de las 32 entidades federativas de México para el año 2019. Las fuentes de información respectivas fueron: para las unidades de riego y las unidades que utilizan sistemas de riego tecnificados se obtuvo de la Encuesta Nacional Agropecuaria publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2022a). La superficie sembrada que utilizan sistemas de riego se obtuvo del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022).

El precio de la energía eléctrica por entidad federativa se estimó de la siguiente manera: a) el valor de ventas se dividió entre el volumen de ventas, b) el resultado del cociente se dividió entre el número de usuarios de electricidad de uso agrícola y c) la información provino del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022b). El valor del agua se obtuvo de la siguiente manera: a) el valor de la producción en riego de cada entidad se dividió entre la superficie de riego y se obtuvo el ingreso por hectárea, b) el ingreso por hectárea se dividió entre el volumen de riego promedio para obtener el valor del agua y c) la información provino de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2021) y del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022).

La precipitación pluvial promedio por entidad federativa se obtuvo del Servicio Meteorológico Nacional (2022). La información para obtener el tamaño del predio por unidad de producción se obtuvo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022a). La temperatura promedio anual por entidad federativa se recabó del Servicio Meteorológico Nacional (2022).

La estimación del modelo se realizó con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System Institute, 1999).

## Resultados

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) del modelo fue de 0,68. La F calculada ( $F_c$ ) fue mayor a las F de tabla ( $F_t$ ) ( $P \leq 0,10$ ). Excepto para el tamaño de predio, el valor absoluto del valor de  $t$  fue igual o mayor a la unidad para los cinco parámetros (Cuadro 1).

En el análisis económico se juzgaron los resultados de la estimación del modelo de acuerdo con su conveniencia en el marco del fenómeno en estudio, mediante la comparación de los signos de los parámetros estimados con ciertos principios de la misma. Al hacerlo se observó que los coeficientes presentaron el signo esperado (Cuadro 1). Los parámetros del precio de la energía eléctrica, el valor del agua, la tasa de utilización de medidas sanitarias, el número de acuíferos, el tamaño del predio, la escolaridad y la temperatura, tuvieron un signo positivo, lo cual indica que un aumento en estas variables tendría un efecto positivo sobre la probabilidad de adoptar sistemas de riego tecnificados. El parámetro de la precipitación pluvial presentó un signo negativo, lo que indica que una disminución en esta variable aumentaría la probabilidad de adoptar sistemas de riego tecnificados (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Parámetros estadísticos del modelo logit de adopción de sistemas de riego tecnificados en México, 2019.

**Table 1.** Statistical parameters of the logit model of adoption of technified irrigation systems in Mexico, 2019.

Variable	Parámetro estimado	Error estándar	Valor de t	Pr> t	R <sup>2</sup>	Fc	Pr>F	Valor medio
Intercepto	-15,70	2,76	-5,69	<0,0001	0,68	6,06	0,0003	
PEEL (USD\$ MWh)	1,13	0,30	3,76	0,001				0,03
VAG (USD\$ m <sup>3</sup> )	0,16	0,05	3,25	0,004				0,40
PP (mm)	-0,0005	0,0004	-1,32	0,20				948,53
TUS (%)	0,01	0,01	1,08	0,29				48,14
ACUI	0,05	0,04	1,11	0,28				4,91
TAM (ha)	0,01	0,03	0,22	0,83				9,60
ESC (%)	0,13	0,04	3,30	0,003				54,05
TEM (°C)	0,27	0,06	4,82	<0,0001				22,10

PEEL: es el precio de la energía eléctrica, VAG: es el valor del agua, PP: es la precipitación pluvial, TUS: es la tasa de utilización de medidas sanitarias, ACUI: es el número de acuíferos sobreexplotados, TAM: es el tamaño del predio, ESC: es la población con estudios de primaria, TEM: es la temperatura / PEEL: is the price of electricity, VAG: is the value of water, PP: is the rainfall, TUS: is the rate of use of sanitary measures, ACUI: is the number of overexploited aquifers, TAM: is the size of the property, ESC: is the population with primary education, TEM: is the temperature.

La magnitud de las variables es importante al analizar los cambios en las variables independientes y medir su efecto en la dependiente. El precio de la energía eléctrica promedio nacional fue de 0,03 USD\$ MWh, el valor del agua estimado fue de 0,40 USD\$ m<sup>3</sup>, la precipitación pluvial promedio fue de 948,53 mm y la temperatura promedio fue de 22,10 °C. El valor medio del tamaño del predio por unidad de producción fue de 9,60 ha (Cuadro 1).

La interpretación de los parámetros que se presentan en el Cuadro 1 no resultaron atractivos; por ejemplo, el parámetro que relaciona el logaritmo de la razón de probabilidades y el precio de la energía eléctrica es de 1,13, este valor indica que para un incremento unitario en el precio de la energía eléctrica, el logaritmo de las probabilidades en favor de usar sistemas de riego más eficientes aumenta en 1,13 (Cuadro 1). Por la razón anterior, en la investigación se analizaron las probabilidades promedio estimadas con la ecuación 8.

Las ecuaciones 6 y 8 se usaron para obtener la probabilidad de que alguna de las variables independientes experimente un cambio. Los cambios que se presentan en el Cuadro 2 se realizaron en cada región que utiliza sistema de riego tecnificado, aunque aquí solo se presentó la probabilidad nacional promedio. Dicho cuadro muestra que la probabilidad nacional promedio estimada (24,51 %), mediante las probabilidades estimadas de cada estado, fue muy cercana al valor observado (24,87 %). Las unidades que usan sistema de riego tecnificadas estimadas con el modelo fueron de 201 055, lo cual indica una diferencia de -1,48 % respecto al valor observado que fue de 204 079 unidades. La diferencia entre las unidades tecnificadas estimadas y observadas, fue de 3024, lo cual indica que el modelo se puede usar para hacer escenarios de cambio en las variables independientes.

**Cuadro 2.** Efecto de cambios en las variables independientes sobre la probabilidad de usar sistemas de riego tecnificados en México. 2019.**Table 2.** Effect of the independent variables changes on the probability of using technified irrigation systems in Mexico. 2019.

Variable	Probabilidad estimada (%)	Unidades de riego	Cambio respecto al modelo base	Cambio respecto al modelo base (%)
Observado	24,87	204 079	-	-
Modelo base	24,51	201 055	-	-
Diferencia (%)	-1,48	-1,48	-	-
PEEL aumenta en:				
10 %	25,42	208 556	7501	3,73
20 %	26,37	216 350	15 295	7,61
30 %	27,34	224 308	23 253	11,57
VAG aumenta en:				
10 %	26,17	214 709	13 654	6,79
20 %	27,89	228 821	27 766	13,81
30 %	29,67	243 425	42 370	21,07
PP disminuye en:				
10 %	25,41	208 474	7419	3,69
20 %	26,35	216 186	15 131	7,53
30 %	27,31	224 062	23 007	11,44
TAM aumenta en:				
10 %	24,58	201 664	609	0,30
20 %	24,66	202 321	1266	0,63
30 %	24,74	202 977	1922	0,96
TEM aumenta en:				
5 %	29,40	241 209	40 154	19,97
7,5 %	34,69	284 611	61 486	41,56
10 %	40,24	330 145	83 556	64,21

PEEL: es el precio de la energía eléctrica, VAG: es el valor del agua, PP: es la precipitación pluvial, TAM: es el tamaño del predio, TEM: es la Temperatura / PEEL: is the price of electricity, VAG: is the value of water, PP: is the rainfall, TAM: is the size of the property, TEM: is the temperature.

## Discusión

Con un aumento de 10 % en el precio de la energía eléctrica en todas las regiones con sistemas de riego tecnificadas, la probabilidad nacional promedio de usar dichos sistemas aumentaría de 24,51 a 25,42 %. Un aumento mayor se daría si el precio de la energía eléctrica aumenta en 20 y 30 % (Cuadro 2). El aumento de la probabilidad ocasionaría un aumento en número de unidades que usan sistemas de riego tecnificados, el cual aumentaría en 3,73 %.

El valor que genera una unidad del agua (VAG) es otro factor que afectó de manera positiva la probabilidad o tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados. En el año de análisis, el valor del agua fue de 0,40 USD\$ por m<sup>3</sup> (Cuadro 1). Si este valor del agua aumentara en 10 %, la probabilidad de usar sistemas de riego tecnificado aumentaría de 24,51 a 26,17 % y de 201 055 a 214 709 unidades, respectivamente. La brecha entre las unidades que usan sistemas de riego tecnificado y el número total de unidades disminuiría en 13 654 unidades (Cuadro 2).

Un aumento en el valor del agua podría proceder de un aumento en el precio del producto vendido, o bien de un aumento en la productividad obtenida por hectárea. Con un mayor ingreso, el productor tiene los recursos para mejorar su sistema de producción, lo cual implica que puede llevar a cabo la adopción de sistemas más eficientes en el uso del agua, incluso de otros insumos como semilla mejorada, fertilizantes y plaguicidas, que permitan el aumento de la productividad. El uso de sistemas de riego más eficientes permitiría ahorrar agua, lo cual haría posible ampliar la superficie irrigada en el supuesto de que la cantidad de agua disponible se mantiene constante.

Las condiciones climáticas también son determinantes en el uso de tecnologías eficientes en el uso del agua. Los resultados del modelo indicaron que la precipitación pluvial y la temperatura afectaron la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados. La precipitación pluvial tiene una influencia negativa sobre la probabilidad de usar sistemas de riego tecnificados; *i. e.*, una disminución de 10 % en la precipitación pluvial originaría un aumento en la tasa de adopción de sistemas de riego eficientes en el uso del agua, que podría pasar de 24,51 a 25,41 %. La brecha entre el número de unidades que usan sistemas de riego tecnificados y las totales en este caso, solo disminuye en 7419 (Cuadro 2). La relación negativa entre la precipitación pluvial y la probabilidad se explica porque en los estados en donde llueve menos, la disponibilidad de agua es menor, haciéndose más necesaria la adopción de sistemas de riego más eficientes en el uso del agua. Lo anterior indica que la escasez de agua induciría al productor a adoptar sistemas más eficientes.

El cambio climático tendrá fuertes efectos sobre la precipitación pluvial. Algunos pronósticos indican que en México, esta disminuirá en 1,10 y 0,81 mm por año por efecto de los cambios ambientales que se esperan, no solo en el país, sino en el mundo entero. Dichos cambios harán más necesario la adopción de sistemas de riego que ahorran más agua.

El escenario de un aumento de 5 % en la temperatura, originaría un aumento en tasa de adopción de sistemas de riego eficientes en el uso del agua, que pasaría de 24,51 a 29,40 %. La brecha entre el número de unidades que usan sistemas de riego tecnificados y las totales disminuiría en 40 154 (Cuadro 2). La relación positiva entre la temperatura y la probabilidad, se explica porque en los estados con una alta temperatura, los niveles de evaporación del agua son mayores, haciéndose más necesaria la adopción de sistemas de riego más eficientes en el uso del agua.

El cambio climático también tendría un efecto a través de la temperatura. Algunos pronósticos indican que la temperatura de México experimentaría un aumento en los próximos años de 5 °C.

Otras variables como el tamaño de predio también afectaron la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados. Los resultados indicaron que la probabilidad de usar estos sistemas, experimenta un aumento de 24,51 a 24,58 % cuando el tamaño del predio aumenta en 10 %. Un aumento de 20 y 30 % en tamaño de predio tendría efectos mayores sobre la probabilidad de usar sistemas de riego tecnificados (Cuadro 2). Unidades de producción con tamaño de predio más grandes están asociadas a productores con mayores niveles de ingresos que adoptan tecnologías modernas y sistemas de riego ahorradores de agua.

Los resultados de la presente investigación indicaron una relación positiva entre el precio de la energía eléctrica y la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados, como la encontrada por Perca Chahua (2013), quien mencionó que si incrementa la tarifa de la energía eléctrica los agricultores de Yarada, Perú, también incrementa la probabilidad de adoptar tecnología de riego. Lo anterior sucede porque el cambio tecnológico genera incentivos de ahorro de agua.

En la investigación se encontró una relación positiva entre la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados y el valor del agua, dicha relación también fue detectada por Ramírez Bojórquez (2016), quien encontró que el ingreso del productor es un factor que impacta en la adopción de sistemas de riego más eficientes en el uso del agua. Lo anterior implicaría que si el precio del agua incrementa, la probabilidad de adoptar un sistema de riego tecnificado aumenta, ya que el sistema les ahorra agua.

Los resultados indicaron que una disminución en la precipitación pluvial induce a incrementar la probabilidad de adoptar sistemas de riego tecnificado. De forma similar, se corroboró esta relación y se reportó que en lugares muy

áridos con escasa precipitación pluvial anual hay escasez de agua y, por lo tanto, existe la necesidad de adoptar sistema de riego tecnificado por parte de los agricultores en Lima, Perú (Dioses Noblecilla & Zapata Seminario, 2017).

El tamaño de predio influyó de manera directa y conservadora en la probabilidad de adoptar sistemas de riego tecnificados. Al respecto, en fincas o tamaños de predio pequeños difícilmente se adoptan tecnologías que requieren de mayor superficie de tierra como lo es el caso de los sistemas de riego (Pantaleón Santa María, 2015). El gobierno mexicano ha proporcionado incentivos para adoptar sistemas de riego tecnificados como los de aspersión, microaspersión, goteo, entre otros; sin embargo, estos apoyos van destinados para personas físicas que tengan hasta 44 ha y 117 ha para empresas o asociaciones legalmente constituidas (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, 2022). El problema radica en que el promedio tamaño del predio por productor en México es de apenas 9,60 ha, lo que pudiera explicar el impacto moderado del tamaño de predio sobre la adopción de sistemas de riego tecnificado en el país. No obstante, para poder acceder al apoyo gubernamental los productores tienen la posibilidad de congregarse para tener mayor superficie de tierra y, de esta manera, conseguir el incentivo.

En los meses de más calor en Bolivia (abril-junio y julio-noviembre), se tiene la necesidad de usar sistemas de riego tecnificado (Rojas & Orsag Céspedes, 2017). Estos resultados tienen sentido, porque cuando la temperatura incrementa, aumenta la evapotranspiración y se requiere más cantidad de agua para no afectar el desarrollo de los cultivos.

## Conclusiones

El análisis económico y pruebas estadísticas realizadas a la estimación de un modelo logit aplicado a la probabilidad de usar sistemas eficientes en el uso del agua en los 32 estados mexicanos, indicaron que variables económicas y climáticas tienen un fuerte impacto sobre dicha probabilidad.

El cambio climático provocará situaciones adversas como aumento de la temperatura y la disminución en la precipitación pluvial de México. Por lo tanto, se espera que los agricultores mexicanos adopten sistemas de riego tecnificados para hacer frente a estos efectos negativos.

Los resultados de esta investigación arrojan una guía sobre algunos factores socioeconómicos y climáticos que condicionan la adopción de sistemas de riego en México y permite derivar medidas de política económica para hacer un uso más eficiente del agua en el sector agrícola de riego.

## Referencias

- Alcón, F., de Miguel, M. D., & Burton, M. (2008). Adopción de tecnología de distribución y control del agua en las Comunidades de Regantes de la Región de Murcia. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 8(1), 83–102. <https://doi.org/10.7201/earn.2008.01.05>
- Banco de México. (2022). *Sistema de Información Económica*. <https://bit.ly/3ItzVGu>
- Banco mundial. (2017). *El agua en la agricultura*. <https://bit.ly/3VPktaD>
- Berihun Kassa, H., Bihon Kassa, A., & Kibrom Aregawi, W. (2014). Adoption and Impact of Agricultural Technologies on Farm Income: Evidence from Southern Tigray, Northern Ethiopia. *International Journal of Food and Agricultural Economics*, 2(4), 91–106. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.190816>
- Brambila Paz, J. J., Martínez Damían, M. Á., Rojas Rojas, M. M., & Pérez Cerecedo, V. (2015). Medición del esfuerzo tecnológico necesario para aumentar el rendimiento de productos agropecuarios en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 841–854. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i4.623>

- Carrillo-Huerta, M. M., & Gómez Bretón, E. (2020). La tecnología en el uso sostenible del agua para riego en México. El caso del acuífero de Tecamachalco, Puebla, 2017. *Panorama Económico*, 15(30), 27–56. <https://doi.org/10.29201/peipn.v15i30.33>
- Consejo Nacional de Población. (2018). *Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas, 2016–2050*. <https://bit.ly/2PZ7e9s>
- Comisión Nacional del Agua. (2018). *Estadísticas del agua en México (2018 ed.)*. [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2014, julio 4). *Consumo energético del suministro de agua potable- Sistemas de agua potable- Bombeo de agua potable municipal Estados y municipios*. <https://bit.ly/3adRyEl>
- Dioses Noblecilla, F. F., & Zapata Seminario, R. E. (2017). *Sistema de riego tecnificado por goteo para cultivo de quinua, financiado por Fondo Contravalor Perú-Francia; en el distrito Tauripampa, provincia Yauyos. Lima. 2017* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Digital de la Universidad Privada Antenor Orrego. <http://200.62.226.186/handle/20.500.12759/5741>
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2022). *Incentivo sistema de riego tecnificado 2018*. <https://www.fira.gob.mx/Nd/PagTecnificacion.jsp>
- Flores Vichi, F. (2013). Adopción de tecnología de riego para el uso sustentable del recurso hídrico en México. *Trayectorias*, 15(36), 65–82.
- Food and Agriculture Organization of United Nations. (2020). *The state of food and agriculture 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría (5ª ed.)*. McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022a). *Encuesta nacional agropecuaria 2019*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022b). *Publicaciones por entidad federativa*. <https://www.inegi.org.mx/app/publicaciones/>
- Mattoussi, W., & Mattoussi, F. (2022). Adoption of modern irrigation technologies in the presence of water theft and corruption: evidence from public irrigated areas in Medjez-el-Bab. *Water Policy*, 24(3), 534–568. <https://doi.org/10.2166/wp.2022.204>
- Montero-Martínez, M. J., Ojeda-Bustamante, W., Santana-Sepúlveda, J. S., Prieto-González, R., & Lobato-Sánchez, R. (2013). Sistema de consulta de proyecciones regionalizadas de cambio climático para México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(2), 113–128. <http://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/356>
- Ojeda Bustamante, W., Sifuentes Ibarra, E., Rojano Aguilar, A., & Íñiguez Covarrubias, M. (2012). Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. En P. F. Martínez Austria, & C. Patiño Gómez (Ed.), *Adaptación al cambio climático: efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México* (Vol. IV, pp. 71–119). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1110>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *AQUASTAT - Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura*. <https://www.fao.org/aquastat/es/databases/maindatabase/metadata>

- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Informe de los objetivos de desarrollo sostenible 2020*. <https://bit.ly/3vI5mFy>
- Pantaleón Santa María, A. L. (2015). *Factores limitantes en la adopción del sistema de riego tecnificado por los agricultores del valle Chancay Lambayegue 2009-2012* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/943>
- Perca Chahua, R. (2013). *Impacto económico de la tarifa eléctrica subsidiada sobre la adopción de tecnología de riego presurizado en La Yarada – Tacna* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <https://bit.ly/3GHCMsm>
- Ramírez Bojórquez, O. H. (2016). *Rentabilidad de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) asociada a la implementación de riego tecnificado en el Callejón de Huaylas* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://bit.ly/3zeuM0n>
- Rojas, F., & Orsag Céspedes, V. (2017). Condiciones de riego campesino en la localidad de Inquisivi, La Paz-Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(2), 7–19. <https://riiar.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/88>
- Santos-Hernández, A. L., Palacios-Velez E., Mejía-Sáenz E., Matus-Gardea J. A., Galvis-Spíndola A., Vásquez-Soto D., Ascencio-Hernández R., & Peña-Díaz S. A. (2019). Análisis del uso del agua del acuífero Cuauhtémoc, Chihuahua, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(3), 156–189. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-03-07>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017). *Producción y consumo*. <https://bit.ly/3xbnzwJ>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Acuíferos por región hidrológico-administrativa*. [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_AGUA02\\_04&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREANIO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AGUA02_04&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREANIO=*)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Servicio Meteorológico Nacional. (2022). *Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia*. <https://bit.ly/3aq8jD5>
- Sosa Baldivia, A., & Ruíz Ibarra, G. (2017). La disponibilidad de alimentos en México: un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. *Papeles de Población*, 23(93), 207–230. <https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/9111>
- Statistical Analysis System Institute. (1999). *SAS/ETS user's guide, version 8*. Statistical Analysis System Publishing.
- Villanueva Vargas, F. G. (2010). *Factores que influyen en la adopción del riego presurizado en el distrito de Ilabaya* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <https://bit.ly/3t7SYO4>
- Zermeño González, A., Cruz Santes, C. I., Munguía López, J. P., Catalán Valencia, E. A., Campos Magaña, S. G., & Cortés Bracho, J. J. (2014). Efecto del sistema de riego y clima en la eficiencia del uso de agua de nogal pecanero. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 23–33. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/16>