

## ¿ES POSIBLE DISMINUIR LA DEPENDENCIA ALIMENTARIA DE MAÍZ EN MÉXICO?

### IS IT POSSIBLE TO REDUCE FOOD DEPENDENCY OF CORN IN MEXICO?

José Alberto García-Salazar<sup>1\*</sup>, Rocío Ramírez-Jaspeado<sup>2</sup>,  
Enrique Ávila-Soler<sup>3</sup> y Brenda A. Ramírez-Barraza<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Programa de Economía, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Departamento de Sistemas, Azcapotzalco, Ciudad de México, México. <sup>4</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Gustavo A Madero, Departamento de Ciencias Económico Administrativas, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México.

\*Autor de correspondencia (jsalazar@colpos.mx)

#### RESUMEN

Durante las últimas tres décadas la política de seguridad alimentaria de granos en México ha aprovechado los bajos precios internacionales en el mercado mundial y ha permitido que un porcentaje cada vez mayor del consumo sea abastecido con importaciones. En el caso del maíz (*Zea mays* L.), en 2021 las importaciones de 17.4 millones de t ubicaron el índice de dependencia alimentaria (IDA) en 38.8 %. Con el objetivo analizar la posibilidad de disminuir la dependencia alimentaria de maíz se construyeron cuatro escenarios para determinar el aumento necesario en el rendimiento y en la superficie cosechada que permitiría disminuir el IDA a 25 %. Se utilizó información sobre consumo de maíz, importaciones, exportaciones, producción, superficie y rendimiento (en riego, temporal y ciclo de producción) en 2021, y se estimó una función de producción de maíz en las zonas de temporal con datos a nivel estatal. Los resultados indicaron que un aumento en el rendimiento de 2.57 a 3.32 t ha<sup>-1</sup> en las áreas de temporal del ciclo primavera-verano y la modernización de 500 mil ha con sistemas de riego (tecnificados y no tecnificados) podrían disminuir la dependencia alimentaria a 25 %. Por el riesgo en el futuro de un probable aumento en los precios internacionales del maíz, que haría cada vez más difícil lograr la seguridad alimentaria, es recomendable que el Estado mexicano lleve a la práctica las medidas necesarias para aumentar la producción interna y disminuir la dependencia alimentaria.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., consumo, dependencia alimentaria, función de producción, importaciones, seguridad alimentaria.

#### SUMMARY

Over the last three decades, the grain food security policy in Mexico has taken advantage of low international prices in the world market and has allowed an increasing percentage of consumption to be supplied with imports. In the case of corn (*Zea mays* L.), in 2021 imports of 17.4 million tons placed the food dependence index (FDI) at 38.8 %. With the aim of analyzing the possibility of reducing food dependence of corn, four scenarios were devised to determine the necessary increase in yield and harvested area that would allow to reduce FDI to 25 %. Information on corn consumption, imports, exports, production, planted area and yield (in irrigation, rainfed and production cycle) in 2021 was used, and a corn production function in the rainfed zones was estimated with data at the state level. Results indicated that an increase in yield from 2.57 to 3.32 t ha<sup>-1</sup> in the rainfed areas of the Spring-Summer cycle

and the modernization of 500 thousand ha with irrigation systems (technified and non-technified) could reduce food dependency to 25 %. Given the risk in the future of a likely increase in international corn prices, which would make it increasingly difficult to achieve food security, it is recommended that the Mexican State implement the necessary measures to increase domestic production and reduce food dependency.

**Index words:** *Zea mays* L., consumption, food dependency, food security, imports, production function.

#### INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos, a los animales y es una materia prima básica de la industria (ASERCA, 2018). De 1994 a 2021 el consumo nacional aparente (CNA) de maíz en México experimentó un fuerte crecimiento al pasar de 20.9 a 44.8 millones de toneladas, respectivamente (FAOSTAT, 2022). Son varios los factores que explican el crecimiento del CNA de maíz, el primero de ellos es la diversidad de usos que tiene el grano en el consumo humano; son innumerables los platillos en la dieta de los mexicanos donde el ingrediente principal es el maíz. La cadena productiva del maíz involucra a los productores del grano, a las industrias harinera, de cereales y de almidones y féculas, a las tortillerías, a los mercados y tiendas de autoservicio, y a los millones de consumidores que demandan los productos derivados del maíz. Además de su uso en la alimentación humana, el maíz es ingrediente en la alimentación de ganado; es por esa razón que la eliminación de la prohibición de utilizar el maíz para la alimentación animal es otro factor que explica el aumento del consumo de maíz.

El Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), que permitió las importaciones libres de aranceles y cupos

de importación, es otro factor que explica el aumento del consumo. El libre comercio permitió aprovechar los bajos precios del maíz, ocasionando un aumento en la demanda. La mayor parte de las importaciones de maíz son usadas para elaborar alimentos balanceados que son consumidos por el sector ganadero, de ahí que el bajo precio del maíz ocasionó la sustitución de otros granos en la elaboración de alimento animal. Otras industrias usan el maíz como materia prima para obtener productos finales, como la industria de edulcorantes, que elabora el jarabe de maíz de alta fructosa.

El abasto del consumo de maíz se satisface con producción nacional e importaciones. En el Cuadro 1 se presenta la evolución desde 1994; se observa que, aunque la producción de maíz experimentó un crecimiento anual del 1.7 % de 1994/96 a 2019/21, éste fue inferior al crecimiento anual del consumo de 2.9 %. El crecimiento más rápido del consumo, en relación con la producción, originó el crecimiento de las importaciones que en 2019/21 se ubicaron en 16.5 millones de t (Cuadro 1); los cambios anteriores originaron una disminución/aumento de la autosuficiencia/dependencia alimentaria de maíz.

La autosuficiencia alimentaria es la capacidad de producir la mayoría de los alimentos que precisa una nación o un hogar, y de confiar en ella para satisfacer sus necesidades alimentarias (FAO, 2009), mientras que la autosuficiencia es un indicador que muestra la fortaleza de un país en materia de alimentos, la no autosuficiencia alimentaria o dependencia alimentaria, como lo maneja Jönsson (2010), es la incapacidad de una nación para proveer de alimento a los ciudadanos por medio de la producción doméstica. Una nación debe producir al menos el 75 % de los granos que consume (Rubio, 2015), de lo contrario, se considera que un país se encuentra en niveles críticos de dependencia alimentaria (FAO, 2014).

La seguridad alimentaria y la soberanía alimentaria se centran en abastecer el consumo con producción nacional o importaciones. La seguridad alimentaria se orienta a la accesibilidad física y económica de alimento suficiente, seguro y nutritivo para satisfacer las necesidades alimenticias con el objetivo de llevar una vida sana y activa (FAO, 2009), ésta se logra si se cumplen los siguientes cuatro componentes: a) disponibilidad de alimentos en cantidad y calidad suficiente obtenidos a través de la producción interna, importaciones o ayuda alimentaria; b) accesibilidad de recursos para adquirir alimentos; c) la utilización, que implica que los alimentos tienen un uso biológico a través de una alimentación adecuada, agua potable, sanidad y atención médica, para lograr un estado de bienestar nutricional que satisfaga las necesidades fisiológicas y; d) estabilidad, lo que significa que la población debe tener acceso a alimentos adecuados en todo momento (FAO, 2013). La seguridad alimentaria, plantea asegurar una producción cuantitativamente suficiente de alimentos con garantías de inocuidad, sin tener en cuenta aspectos culturales locales como qué, quiénes, cómo, dónde y a qué escala se hará la producción de alimentos (Almeida Filho y Scholz, 2008).

La soberanía alimentaria se puede definir como el derecho de un país a definir sus propias políticas y estrategias sustentables de producción, distribución y consumo de alimentos, que garanticen el derecho a la alimentación sana y nutritiva para toda la población, respetando sus propias culturas y la diversidad de los sistemas productivos, de comercialización y de gestión de los espacios rurales (FAO, 2013), incluye el acceso a los recursos y su control para la producción de alimentos. La soberanía alimentaria se enmarca en un contexto formulado como una postura alternativa de políticas a la agricultura industrial liberalizada y conjuga elementos de diferentes áreas de políticas, planteando asegurar una

**Cuadro 1. Índices de dependencia y autosuficiencia alimentaria del maíz en México, 1994-2021.**

Años	S	R	P	M	X	C	IDA	IAA
	(ha × 1000)	(t ha <sup>-1</sup> )		(t × 1000)			(%)	(%)
1994/1996	8,088	2	18,204	3,759	66	21,897	17.2	82.8
1999/2001	7,327	3.17	23,242	8,237	169	31,310	26.3	73.7
2010/2012	6,714	3	21,002	8,947	478	29,471	30.4	69.6
2019/2021	6,995	4	27,379	16,452	383	43,448	37.9	62.1
TC1994/95-19/21	-13.5	73.8	50.4	337.7	482.8	98.4	120.6	-24.7
TCMA1994/95-19/21	-0.6	2.3	1.7	6.3	7.6	2.9	3.4	-1.2

S: superficie, R: rendimiento, P: producción, M: importaciones, X: exportaciones, C: consumo, IDA: índice de dependencia alimentaria, IAA: índice de autosuficiencia alimentaria. Elaboración propia con datos de FAOSTAT (2022).

producción cuantitativamente suficiente de alimentos (Almeida Filho y Scholz, 2008).

Los dos primeros conceptos son de interés en esta investigación y podrían medirse a través del índice de autosuficiencia alimentaria (IAA) y del índice de dependencia alimentaria (IDA). En el Cuadro 1 se presenta la evolución de ambos índices en tres décadas, y se observó una disminución en el IAA, al pasar de 82.8 % en 1994/96 a 62.1 % en 2019/21, y un aumento en el IDA, el cual pasó de 17.2 a 37.9 %.

El comportamiento de los índices anteriores depende del crecimiento de la demanda y de la oferta de maíz en el futuro. El crecimiento de la población humana y animal indica que, si no aumenta la producción, el IDA aumentará y el IAA seguirá disminuyendo. La caída de dicha tendencia sólo se puede detener con un aumento de la oferta. En el Cuadro 1 se observa que en el periodo de 1994/96 a 2019/21 la producción experimentó un crecimiento anual de 1.7 %. Analizando los dos componentes que generan tal crecimiento se observa que la superficie de maíz disminuyó anualmente en 0.6 % y el rendimiento por hectárea experimentó un crecimiento anual del 2.3 %. Los datos anteriores indican que el crecimiento observado en la producción de maíz se debe al aumento de la productividad por hectárea.

El comportamiento de los índices de dependencia y autosuficiencia alimentaria indican la política que se ha seguido durante el modelo secundario exportador para asegurar al abasto de maíz en México, con la finalidad de aprovechar los bajos precios internacionales del maíz, el país ha preferido abastecer el consumo con importaciones. Desde el punto de vista económico pudiera justificarse en un ambiente de bajos precios internacionales, como probablemente sucedió desde 1994; sin embargo, si el mercado internacional del maíz cambia y los precios internacionales aumentan en un futuro, el país debe hacer esfuerzos por aumentar la producción y depender menos de las importaciones.

El actual ambiente mundial caracterizado por la guerra en Europa, el desabasto de fertilizantes y el probable aumento en los precios internacionales de maíz plantean un escenario en el cual será difícil alcanzar la seguridad alimentaria. En 2021 el valor de las importaciones de maíz ascendió a 5,052 millones de dólares (Carbajal, 2022; Com. Pers.)<sup>1</sup> y si los precios internacionales del grano aumentan, esta cifra aumentará de manera considerable, originando

<sup>1</sup>Carbajal B. (2022) Sin precedente, importación de granos básicos el año pasado. La Jornada. Ciudad de México. 31 de enero de 2022. <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/01/31/economia/sin-precedente-importacion-de-granos-basicos-el-ano-pasado/> (Octubre 2022).

un fuerte gasto de divisas.

¿Qué debe hacer el país para enfrentar el desafío de abastecer el consumo de 44.8 millones de t? Debe abastecer su consumo con importaciones a precios bajos, o debe instrumentar una política para aumentar la producción del grano. La FAO (2022) señala que el 90 % de las expectativas de incremento de la producción es previsto mediante el incremento en los rendimientos, además de la intensificación y el incremento de la tierra cultivable. El aumento de producción se puede lograr con la innovación y la tecnología para aumentar el rendimiento (SADER, 2020a), orientada al mejoramiento genético del cultivo, a la mejora en el uso de energía y nutrientes, a una menor necesidad de agua durante el ciclo productivo y a la resistencia a plagas y vientos. Algunos autores señalan que la seguridad y soberanía alimentaria se pueden recuperar, e incluso que México puede lograr la autosuficiencia alimentaria (Turrent, 2013; Turrent-Fernández *et al.*, 2016).

Considerando la importancia de maíz en la alimentación humana y animal, este estudio tiene por objetivo analizar la posibilidad de disminuir el índice de dependencia alimentaria del maíz en México. Se plantearon varios escenarios que consideran aumentos separados y simultáneos en la superficie y en el rendimiento para disminuir el IDA a 25 %, nivel recomendado por la FAO; posteriormente, se analizó la viabilidad de lograr tales incrementos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Formulación del modelo

El modelo propuesto para alcanzar el objetivo consideró las principales variables del mercado de maíz. La formulación del modelo se basó en el estudio de García-Salazar y Ramírez-Jaspeado (2012) para analizar la demanda de semilla mejorada de maíz en México y la identificación de usos y zonas de producción con mayor potencial de crecimiento. La Identidad 1 del modelo indica que el consumo nacional aparente de maíz es la suma de la producción nacional más las importaciones, menos las exportaciones de maíz.

$$C_a = P_a + M_a - X_a \quad \text{Ec. 1)}$$

Donde para el año  $a$ ,  $C_a$  es el consumo nacional, en t;  $P_a$  es la producción nacional, en t;  $M_a$  son las importaciones nacionales de maíz, en t, y  $X_a$  son las exportaciones, en t.

La Identidad 2 establece que la producción de maíz es igual a la superficie multiplicada por el rendimiento observado en los diferentes regímenes hídricos y ciclos de

producción.

$$P_a = S_a^{rp} \times R_a^{rp} + S_a^{ro} \times R_a^{ro} + S_a^{tp} \times R_a^{tp} + S_a^{to} \times R_a^{to} \quad \text{Ec. 2)}$$

Donde para el año  $a$ ,  $S_a^{rp}$  y  $R_a^{rp}$  son la superficie cosechada y el rendimiento en riego en el ciclo primavera-verano (PV), en ha y t ha<sup>-1</sup>;  $S_a^{ro}$  y  $R_a^{ro}$  se refieren a la superficie cosechada y al rendimiento en riego en el ciclo otoño-invierno (OI), en ha y en t ha<sup>-1</sup>;  $S_a^{tp}$  y  $R_a^{tp}$  son la superficie cosechada y el rendimiento en temporal en el ciclo PV, en ha y en t ha<sup>-1</sup>;  $S_a^{to}$  y  $R_a^{to}$  denotan la superficie cosechada en temporal en el ciclo OI, en ha y en t ha<sup>-1</sup>.

Para alcanzar el objetivo se calculó el *IDA* aplicado al mercado de maíz. La Identidad 3 indica que el *IDA* en el año  $a$  se obtiene al dividir las importaciones sobre el consumo anual de maíz; esto es:

$$IDA_a = M_a/C_a \times 100 \quad \text{Ec. 3)}$$

La disminución del *IDA* dependerá del comportamiento de la superficie y el rendimiento. Con un consumo constante, el aumento de la producción de maíz originará una disminución en el *IDA*. ¿En cuánto debe aumentar el rendimiento para lograr disminuir el *IDA* a un porcentaje determinado? o bien, ¿En cuánto tiene que aumentar la superficie cosechada para lograr el mismo objetivo? Para dar respuesta a tales interrogantes es necesario despejar el rendimiento y la superficie y expresarlos en términos del *IDA* deseado o hipotético y de las variables que permanecerán constantes, como el consumo y las exportaciones, y el rendimiento o la superficie, según sea el caso.

Utilizando las ecuaciones 1 a 3 se obtuvo la Ecuación 4, la cual permite determinar el rendimiento que se requiere para disminuir el *IDA*; el consumo, las exportaciones y la superficie son conocidos. De manera similar se obtuvo la Ecuación 5, que permite determinar la superficie requerida para lograr un *IDA*; en este caso el rendimiento es conocido.

$$R_a^{tp} = \frac{C_a - IDA_a C_a + X_a - S_a^{rp} \times R_a^{rp} - S_a^{ro} \times R_a^{ro} - S_a^{to} \times R_a^{to}}{S_a^{tp}} \quad \text{Ec. 4)}$$

$$S_a^{tp} = \frac{C_a - IDA_a C_a + X_a - S_a^{rp} \times R_a^{rp} - S_a^{ro} \times R_a^{ro} - S_a^{to} \times R_a^{to}}{R_a^{tp}} \quad \text{Ec. 5)}$$

Las Ecuaciones 4 y 5 indican que el rendimiento, o la superficie, deberán aumentar si se quiere disminuir el *IDA*, y para disminuir el *IDA* a niveles hipotéticos de 35, 30, 25 y 20 % se plantearon los siguientes escenarios: 1) en el ciclo PV se determinó el rendimiento necesario en las zonas de temporal manteniendo constante el rendimiento observado en riego y la superficie en riego y temporal; 2) en el ciclo PV, se determinó la superficie necesaria en las

zonas de temporal manteniendo constante la superficie en riego y el rendimiento observado en riego y temporal; 3) en el ciclo PV se determinó el cambio necesario en la superficie de temporal a riego manteniendo constante el rendimiento observado en riego y temporal; y 4) en el ciclo PV se determinó el cambio de la superficie de temporal a riego considerando el rendimiento potencial en las zonas de temporal y manteniendo constante el rendimiento observado en riego. Se usaron datos de 2021 y el consumo, las exportaciones, la producción y el rendimiento en riego y temporal del ciclo OI se mantuvieron constantes en los cuatro escenarios.

Para analizar la posibilidad real de disminución en el *IDA* se comparó el rendimiento potencial de maíz con rendimiento necesario para obtener un *IDA* deseado. El rendimiento potencial fue tomado de García-Salazar y Skaggs (2015). Para determinar los factores que afectan el crecimiento del rendimiento también se estimó una función de producción donde el rendimiento nacional anual depende de la mano de obra, fertilizantes, semilla mejorada y precipitación pluvial. Una función de producción es una relación matemática que describe cuanto producto se puede conseguir a partir de distintas combinaciones de insumos. La formulación de la función de producción se basó en la teoría microeconómica, particularmente en la teoría de la empresa (Goolsbee *et al.*, 2015). Se usó información a nivel de entidad federativa de las variables mencionadas, y la función de producción tipo Cobb-Douglas es la siguiente:

$$R_i = \delta E_i^\beta F_i^\gamma L_i^\theta H_i^\sigma \quad \text{Ec. 6)}$$

Donde para el estado  $i$ ,  $R_i$  es el rendimiento de maíz en temporal, en t ha<sup>-1</sup>;  $E_i$  es el uso de semilla mejorada, en kg ha<sup>-1</sup>;  $F_i$  es el uso de fertilizantes, en kg ha<sup>-1</sup>;  $L_i$  es el uso de mano de obra, en jornales por ha, y  $H_i$  es la precipitación pluvial, en mm.

La estimación del modelo requirió la transformación de la función de producción (Ecuación 6) a un modelo doble logarítmico donde la variable dependiente es el logaritmo del rendimiento de maíz y las variables independientes son el logaritmo de las cantidades empleadas de semilla mejorada, fertilizante, mano de obra y precipitación pluvial.

Para la estimación del modelo se usó el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (Gujarati y Porter, 2010). Los parámetros estimados de cada insumo a través del modelo doble logarítmico son los exponentes de la Ecuación 6, y corresponden a las elasticidades que relacionan el rendimiento de maíz con cada insumo considerado en la función de producción.

Una vez estimado el modelo se planteó un escenario que estima el rendimiento, considerando que el 100 % de la superficie sembrada usa semilla mejorada y fertilizantes, principales insumos que determinan la productividad por hectárea.

### Fuentes de información

La información usada para obtener los indicadores anteriores provino de las siguientes fuentes: la serie histórica de los datos anuales y nacionales sobre superficie, rendimiento, producción, importaciones y exportaciones provinieron de las bases de datos de FAOSTAT (2022); el rendimiento potencial de maíz provino de García-Salazar y Skaggs (2015) y del SIAP (2022).

Los datos para estimar la función de producción provinieron de las siguientes fuentes: el rendimiento de maíz por estado en temporal provino del SIAP (2022), la precipitación pluvial provino de SEMARNAT (2022). El uso de semilla mejorada, fertilizante y mano de obra se obtuvo usando el siguiente procedimiento: la superficie estatal de maíz sembrada con semilla mejorada (ha) se multiplicó por la densidad de siembra ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), el resultado fue dividido por la superficie estatal total (ha), obteniendo la cantidad promedio de semilla mejorada obtenida por hectárea en cada estado. La superficie estatal de maíz fertilizada (ha) se multiplicó por el uso de fertilizantes por hectárea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), y el resultado fue dividido por la superficie estatal total (ha), obteniendo la cantidad promedio de fertilizantes por hectárea en cada estado. El uso de jornales usados en maíz por estado se calculó de manera similar, sólo que usando la superficie mecanizada y jornales por hectárea. La información usada se obtuvo de SAGARPA-SIAP (2016), SIAP (2022), García-Salazar y Skaggs (2015) y García-Salazar *et al.* (2012). Para la estimación de la función de producción de maíz se usó el software Statistical Analysis System (SAS Institute, 2008).

### RESULTADOS

En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos. El escenario 1 considera el rendimiento necesario en la superficie de temporal del ciclo PV para lograr un determinado grado de dependencia alimentaria. El rendimiento observado en 2021 en las áreas señaladas se ubicó en  $2.57 \text{ t ha}^{-1}$  y la superficie cosechada fue de 5.21 millones de ha, para generar una producción de 27.48 millones de t de maíz; en 2021 el *IDA* fue de 38.8 %. Si el rendimiento creciera en 46.3 % para ubicarse en  $3.76 \text{ t ha}^{-1}$  la producción de maíz aumentaría a 33.7 millones de t, ocasionando una disminución en las importaciones a 11.2 millones de t; con los nuevos datos de importaciones, el *IDA* disminuiría a 25 %, nivel

recomendado por la FAO. Un rendimiento de  $4.19 \text{ t ha}^{-1}$ , que significaría un incremento de 63.0 % respecto al observado en el año base ocasionaría una caída del *IDA* a 20 %.

En el escenario 2, el rendimiento de temporal en el ciclo PV se mantuvo y es la superficie la que experimentó cambios. Para alcanzar un *IDA* de 25 % sería necesario aumentar la producción en 6.2 millones de t y esto se podría lograr aumentando la superficie en 2.41 millones de ha. Lograr un *IDA* de 20 % requeriría enormes esfuerzos para aumentar la producción en 8.44 millones de t, lo cual se requeriría ampliando la superficie de temporal en el ciclo PV.

Una tercera vía para incrementar la producción y disminuir la dependencia alimentaria de maíz podría lograrse a través de la introducción de riego en la superficie de temporal que se siembra en el ciclo PV. La acción anterior aumentaría el nivel de rendimiento promedio de  $2.57$  a  $7.91 \text{ t ha}^{-1}$ , rendimiento observado en la superficie de riego en PV. Si el objetivo fuera disminuir el *IDA* a 25 % se tendrían que reconvertir con riego 1.16 millones de ha; si el objetivo fuera más ambicioso y se quisiera disminuir la dependencia alimentaria a 20 %, entonces 1.58 millones de ha que actualmente se siembran bajo temporal tendrían que transformarse a riego (Cuadro 2).

La vía más recomendable para disminuir la dependencia alimentaria sería a través del aumento simultáneo en el rendimiento y en la superficie cosechada de maíz, situación que se analiza en el cuarto escenario. Si el rendimiento de temporal obtenido en P-V aumentara de  $2.57$  a  $3.32 \text{ t ha}^{-1}$  la dependencia alimentaria disminuiría a 25 % más la incorporación de 500 mil ha del temporal a los sistemas de riego. Un aumento en el rendimiento de  $2.57$  a  $3.32 \text{ t ha}^{-1}$  y la incorporación del riego a 988 mil ha de temporal en el ciclo PV lograría una disminución en el *IDA* a 20 %.

Con la finalidad de analizar el efecto de la precipitación pluvial y otros factores que afectan el nivel de rendimiento en las zonas de temporal del ciclo P-V se estimó la función de producción de la Ecuación 6. Los resultados de la estimación del modelo se presentan en el Cuadro 3. El coeficiente de determinación  $R^2$  fue 0.58, el valor de la F calculada ( $F_c$ ) fue de 8.31 y la  $Pr > F$  fue de 0.0002.

Los resultados de la estimación indican que los parámetros de la semilla mejorada y agua son muy significativos, que el parámetro de la mano de obra es significativo al 90 %, y que el fertilizante no es significativo al 90 %. Se observa que todos los valores de  $t$  fueron mayores a la unidad, lo cual significa que para los cuatro insumos el parámetro estimado fue mayor que el error estándar.

**Cuadro 2. Aumento en la superficie y rendimiento para disminuir el IDA de maíz en México.**

Variable	Índices de dependencia alimentaria hipotéticos				
	IDA en 2021	35.0%	30.0%	25.0%	20.0%
Escenario 1: Rendimiento en temporal en el ciclo PV requerido para alcanzar el IDA hipotético					
C (miles t)	44,782	44,782	44,782	44,782	44,782
M (miles t)	17,396	15,674 <sup>+</sup>	13,435 <sup>+</sup>	11,196 <sup>+</sup>	8,956 <sup>+</sup>
X (miles t)	97	97	97	97	97
P (miles t)	27,484	29,206 <sup>+</sup>	31,445 <sup>+</sup>	33,684 <sup>+</sup>	35,923 <sup>+</sup>
S <sup>tp</sup> (miles ha)	5,208	5,208	5,208	5,208	5,208
R <sup>tp</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	2.57	2.90 <sup>+</sup>	3.33 <sup>+</sup>	3.76 <sup>+</sup>	4.19 <sup>+</sup>
Escenario 2: Superficie en temporal en el ciclo PV requerido para alcanzar el IDA hipotético					
C (miles t)	44,782	44,782	44,782	44,782	44,782
M (miles t)	17,396	15,674 <sup>+</sup>	13,435 <sup>+</sup>	11,196 <sup>+</sup>	8,956 <sup>+</sup>
X (miles t)	97	97	97	97	97
P (miles t)	27,484	29,206 <sup>+</sup>	31,445 <sup>+</sup>	33,684 <sup>+</sup>	35,923 <sup>+</sup>
S <sup>tp</sup> (miles ha)	5,208 <sup>+</sup>	5,878 <sup>+</sup>	6,749 <sup>+</sup>	7,621 <sup>+</sup>	8,492 <sup>+</sup>
R <sup>tp</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57
Escenario 3: Cambio de la superficie de temporal a riego en el ciclo PV requerido para alcanzar el IDA hipotético					
C (miles t)	44,782	44,782	44,782	44,782	44,782
M (miles t)	17,396	15,676 <sup>+</sup>	13,434 <sup>+</sup>	11,196 <sup>+</sup>	8,956 <sup>+</sup>
X (miles t)	97	97	97	97	97
P (miles t)	27,484	29,204 <sup>+</sup>	31,446 <sup>+</sup>	33,683 <sup>+</sup>	35,923 <sup>+</sup>
S <sup>tp</sup> (miles ha)	5,208	4,886	4,466	4,047	3,627
R <sup>tp</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57
Cambio de S <sup>tp</sup> a					
S <sup>rp</sup> (miles ha)	0	322 <sup>+</sup>	742 <sup>+</sup>	1,161 <sup>+</sup>	1,581 <sup>+</sup>
R <sup>rp</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	7.91	7.9 <sup>+</sup>	7.91	7.91	7.91
Escenario 4. Cambio en la superficie de temporal a riego en el ciclo PV y rendimiento potencial para alcanzar el IDA hipotético					
C (miles t)	44,782	44,782	44,782	44,782	44,782
M (miles t)	17,396	15,676 <sup>+</sup>	13,434 <sup>+</sup>	11,196 <sup>+</sup>	8,956 <sup>+</sup>
X (miles t)	97	97	97	97	97
P (miles t)	27,484	29,207 <sup>+</sup>	31,445 <sup>+</sup>	33,684 <sup>+</sup>	35,924 <sup>+</sup>
S <sup>tp</sup> (miles ha)	5,208	5,208	5,196 <sup>+</sup>	4,708 <sup>+</sup>	4,220 <sup>+</sup>
R <sup>tp</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	2.57	2.90 <sup>+</sup>	3.32 <sup>+</sup>	3.32 <sup>+</sup>	3.32 <sup>+</sup>
Cambio de S <sup>tp</sup> a					
S <sup>rp</sup> (miles ha)	0	0	12 <sup>+</sup>	500 <sup>+</sup>	988 <sup>+</sup>
R <sup>rp</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	7.91	7.91	7.91	7.91	7.91

<sup>+</sup>Nivel requerido de las variables que experimentan cambio para alcanzar el IDA hipotético, considerando los supuestos de cada escenario.

## DISCUSIÓN

¿Es posible disminuir la dependencia alimentaria de maíz en México? En relación con esta interrogante Turrent (2013) sostiene que no sólo se puede disminuir la dependencia alimentaria, sino que es posible incluso lograr la autosuficiencia alimentaria. Tal conclusión fue derivada de estudios sobre el potencial productivo de maíz en México realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias desde 1963. A continuación, se presentan algunos datos que apoyan el planteamiento anterior.

Usando la superficie cosechada de temporal en P-V registrada en 2021 y el rendimiento potencial reportado por García-Salazar y Skaggs (2015), se estimó un rendimiento potencial ponderado de 3.32 t ha<sup>-1</sup>, mismo dato que fue seleccionado y usado en el cuarto escenario. Lo anterior indica que sí es posible elevar el rendimiento a niveles en que se puede disminuir la dependencia alimentaria a 25 %.

Los resultados que se presentan en el Cuadro 3 indican que la función de producción de maíz en la zona de temporal presenta rendimientos crecientes a escala. El exponente de cada insumo es la elasticidad que mide la respuesta del rendimiento en porcentaje ante un cambio porcentual en el nivel de insumo. Se observa que el agua es el factor que más impacto tiene sobre el rendimiento de maíz en las zonas de temporal con una elasticidad de 0.866; si la precipitación pluvial aumenta en 10 %, entonces el rendimiento de maíz aumentará en 8.66 %, lo cual deja de manifiesto el fuerte impacto del uso del agua en la productividad.

Los resultados también permiten analizar el efecto de un mayor uso de semilla mejorada y fertilizantes. Si el 100 % de la superficie sembrada de maíz usara semilla mejorada y fuera fertilizada, el uso de ambos insumos aumentaría en 96.7 y 36.3 %, respectivamente; tales cambios simultáneos ocasionarían un aumento de 31.8

% en el nivel de rendimiento, lo cual indica que sí existen posibilidades reales de acercar el rendimiento actual al rendimiento necesario para disminuir la dependencia alimentaria de maíz. Usar semilla mejorada y fertilización en el 100 % de la superficie sembrada de maíz significaría un enorme desafío, debido a la fuerte dependencia de los fertilizantes nitrogenados.

El análisis de la evolución del rendimiento en el pasado indica que es posible un aumento en el futuro. Datos del SIAP (2022) señalan que en el periodo 1980-2021 el crecimiento medio anual nacional del rendimiento fue de 1.8 %; sin embargo, este comportamiento es muy heterogéneo y las tasas de crecimiento varían según la región, ciclo y tecnología implementada, como son los casos de Sinaloa (5.78%) y Jalisco (2.28 %), los cuales tienen tasas arriba del promedio nacional. Otros autores han reportado que las estimaciones de incremento de los rendimientos para México pueden ir desde 5 hasta 22 % (Noriega-Navarrete *et al.*, 2021), lo cual indica que el rendimiento de maíz aún puede crecer.

Aunque la perspectiva de un incremento importante de los rendimientos a nivel nacional se podría ver opacada por las bajas tasas de penetración de tecnologías de producción (como las semillas mejoradas) y por la dificultad para adquirir crédito (Cadet-Díaz y Guerrero-Escobar, 2018), dentro de los pequeños y medianos productores, sobre todo de temporal, se encuentra el mayor potencial de incremento de productividad. El rendimiento se puede incrementar si se implementan para este tipo de productores la combinación de todos los recursos disponibles para alcanzar una mayor productividad. Se puede llegar a un tope en el rendimiento a través de la implementación de alta tecnología (FAO, 2022). La brecha entre el rendimiento real y el potencial es difícil de acortar; sin embargo, las combinaciones de prácticas tecnológicas apuestan hacia una perspectiva positiva de reducir el diferencial en cultivos como maíz, los cuales pueden incrementar el rendimiento del grano (Capurro y Montico, 2022).

**Cuadro 3. Parámetros estadísticos de la estimación de la función de producción de maíz en temporal.**

Variable	Estimador del parámetro	Error estándar	Valor de t	Pr> t	R <sup>2</sup>	Fc	Pr > F
Intercepto	-7.265	1.678	-4.33	0.0002	0.581	8.31	0.0002
LnE	0.359	0.137	2.62	0.0150			
LnF	0.107	0.103	1.04	0.3092			
LnL	0.321	0.183	1.75	0.0920			
LnH	0.866	0.242	3.58	0.0015			

Ln: logaritmo natural, E: uso de la semilla mejorada, F: uso de fertilizantes, L: uso de mano de obra, H: precipitación pluvial.

Para el caso de los pequeños y medianos productores, una de las iniciativas ha sido promover un tipo de agricultura sostenible aprovechando la energía solar, los microorganismos y la materia orgánica, lo que permitiría incrementar los rendimientos y reducir o eliminar los fertilizantes químicos (SADER, 2019), además de aprovechar la combinación de avances tecnológicos con los sistemas tradicionales de la milpa, con lo cual se pretende pasar de 3.4 t ha<sup>-1</sup> (promedio nacional actual) a 6 t ha<sup>-1</sup> (SADER, 2020b).

La fuerte elasticidad que relaciona el agua y el rendimiento de maíz conduce a la conclusión de que un aumento significativo en el rendimiento de maíz se podría lograr a través del uso de tecnologías de riego en las áreas de temporal. La tecnología de riego incluye sistemas tecnificados como riego por goteo, aspersión, microaspersión y riego en tiempo real, y no tecnificados como riego por gravedad; aunque sería preferible la adopción de sistemas de riego tecnificados por dos razones: a) el ahorro de agua por el uso de un sistema de riego más eficiente que permitiría incrementar la superficie sembrada, y b) el mayor rendimiento que se obtendría por unidad de superficie.

La tecnificación de las superficies de temporal con sistemas de riego se puede lograr si se continuara con la tendencia mostrada de 2013 a 2017, periodo en el cual el Gobierno Federal realizó la tecnificación de cerca de 564 mil ha de riego, rebasando la meta de tecnificar 480 mil ha de riego en todo el país (SAGARPA, 2018). Los datos anteriores indican que sí es posible lograr la meta de disminuir la dependencia alimentaria a un 25 %.

En el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 se estableció como objetivo lograr la autosuficiencia en los alimentos básicos y el rescate al campo (SADER, 2022), y varios argumentos se pueden presentar a favor para instrumentar las políticas necesarias a fin de disminuir la dependencia alimentaria; el primero de ellos es el riesgo de aumento en el precio internacional de maíz, si esto pasara el país tendría que desembolsar una enorme cantidad de divisas para lograr los cuatro componentes que implica alcanzar la seguridad alimentaria, sobre todo la disponibilidad de maíz. El escenario mundial actual caracterizado por la guerra en Europa ha traído como consecuencia el desabasto de fertilizantes y la reducción en la producción de granos, lo que seguramente los convertirá en factores importantes que eleven el precio mundial de maíz. Probables depreciaciones del peso en un futuro harían más difícil la situación.

Debido a la alta dependencia alimentaria, el aumento en el precio mundial de maíz ocasionaría un aumento en el

precio del grano en los mercados nacionales, presionando al aumento del índice nacional de precios al consumidor (INPC), principal indicador de la inflación, el cual considera cuatro productos derivados del maíz. El mantenimiento de la estabilidad de los precios con una inflación por debajo de dos dígitos, que fue uno de los objetivos macroeconómicos principales del modelo de secundario exportador, ya no se alcanzaría.

Una alta tasa de inflación tendría efectos negativos sobre todos los sectores de la sociedad, disminuiría el poder adquisitivo de la clase trabajadora por la contracción del salario real, afectaría de forma negativa a los ahorradores, etc. A nivel macroeconómico, la inflación presionaría para un aumento en las tasas de interés, lo cual afectaría de manera negativa a la inversión y a la reserva de capital, principal factor para lograr crecimiento económico del país.

El aumento en el precio del maíz tendría un efecto multiplicador muy fuerte sobre otros sectores alimenticios; puesto que el maíz es el principal insumo en la elaboración de alimentos balanceados para la alimentación del sector ganadero, el aumento en el precio de este producto elevaría el costo de producción de los productos pecuarios (carnes, leche y huevo), ocasionando contracción en la oferta y una elevación en el precio de estos productos, lo que aumentaría aún más el INPC. Efectos similares se presentarían en otras industrias como la de cereales, la harinera y la industria productora de jarabe de maíz de alta fructosa, las cuales utilizan como materia prima principal al grano de maíz.

## CONCLUSIONES

Las importaciones de 17.4 millones de t de maíz en 2021 determinaron un índice de dependencia alimentaria cercano al 40 %. El análisis de cuatro escenarios permitió determinar el rendimiento y la superficie necesaria para disminuir la dependencia alimentaria. Una disminución del índice de dependencia alimentaria a 25 % implicaría que las importaciones sólo abastecerían la cuarta parte del consumo nacional, sería necesario un incremento de 29.2 % en rendimiento bajo temporal del ciclo primavera-verano y 500 mil ha tendrían que adoptar sistemas de riego. Lograr la meta anterior es un enorme desafío; sin embargo, el probable aumento de los precios internacionales del maíz en un futuro, ocasionado por el agitado entorno internacional, harán cada vez más difícil lograr la seguridad alimentaria a través de importaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

Almeida Filho N. y V. Scholz (2008) Soberanía alimentaria y seguridad alimentaria: ¿Conceptos complementarios? XLVI Congresso do



- Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 20 a 23 de julho de 2008. Rio Branco, Acre, Brazil. 18 p. <https://ageconsearch.umn.edu/record/109996/> (Julho 2023).
- ASERCA, Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados (2018)** Maíz grano cultivo representativo de México. Alimento, forraje y materia prima para la industria. Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados, SAGARPA. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico?idiom=es> (Septiembre 2022).
- Cadet-Díaz S. y S. Guerrero-Escobar (2018)** Factores que determinan los rendimientos de la producción de maíz en México: evidencia del censo agropecuario 2007. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 15:311-337.
- Capurro J. E. y S. Montico (2022)** Efectos de cultivos de cobertura sobre el agua del suelo, el aporte de carbono al sistema y el rendimiento de soja en diferentes ambientes. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 21:49-65, <https://doi.org/10.14409/fa.v21i1.11114>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2009)** Glosario de Agricultura Orgánica. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma, Italia. 163 p.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013)** Ley Marco: Derecho a la Alimentación, Seguridad y Soberanía Alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Panamá, Panamá. 41 p.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2014)** Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe 2014. Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago, Chile. 159 p.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2022)** 2050: un tercio más de bocas que alimentar. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. <https://www.fao.org/news/story/es/item/35675/icode/> (Octubre 2022).
- FAOSTAT, División de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2022)** Cultivos y productos de ganadería. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. <https://www.fao.org/faostat/es/#home> (Septiembre 2022).
- García-Salazar J. A. y R. Ramírez-Jaspeado (2012)** Demanda de Semilla Mejorada de Maíz en México: Identificación de Usos y Zonas de Producción con Mayor Potencial de Crecimiento. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Texcoco, Estado de México. 156 p.
- García-Salazar J. A. and R. Skaggs (2015)** Strategies for white and yellow maize cultivar improvement research and technology transfer in Mexico. *Agronomy Journal* 107:1425-1439, <https://doi:10.2134/agronj14.0429>
- García-Salazar J. A., R. K. Skaggs and T. L. Crawford (2012)** World price, exchange rate and inventory impacts on the Mexican corn sector: a case study of the market volatility and vulnerability. *Interciencia* 37:498-505.
- Goolsbee A., S. D. Levitt y C. Sylverson (2015)** Microeconomía. Traducido del inglés por P. Pérez-Asurmendi. Reverté. Barcelona, España. 702 p.
- Gujarati D. N. y D. C. Porter (2010)** Econometría. 5ª edición. Traducido del inglés por P. Carril V. McGraw-Hill. México, D. F. 921 p.
- Jönsson M. M. E. (2010)** La dependencia alimentaria. Una problemática contemporánea para la población mexicana. In: Desafíos de la Globalización a los Sistemas Agroalimentarios en América Latina. J. P. Böhrh (comp.). Imprenta Punto de Encuentro. La Paz Bolivia. pp:99-109.
- Noriega-Navarrete J. L., R. Salazar-Moreno e I. L. López-Cruz (2021)** Revisión: modelos de crecimiento y rendimiento de maíz en escenarios de cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12:127-140, <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2552>
- Rubio B. (2015)** La soberanía alimentaria en México: una asignatura pendiente. *Mundo Siglo XXI* 36:55-70.
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2019)** Ciencia y conocimiento campesino, base para la autosuficiencia alimentaria. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/ciencia-y-conocimiento-campesino-base-para-la-autosuficiencia-alimentaria> (Septiembre 2022).
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020a)** Incrementar producción de maíz y demás granos básicos, una de las metas relevantes del Gobierno de México: Agricultura. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/incrementar-produccion-de-maiz-y-demas-granos-basicos-una-de-las-metas-relevantes-del-gobierno-de-mexico-agricultura> (Septiembre 2022).
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020b)** Suman esfuerzos para alcanzar autosuficiencia alimentaria en maíz. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/suman-esfuerzos-para-alcanzar-autosuficiencia-alimentaria-en-maiz> (Septiembre 2022).
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022)** Reglas de operación del programa producción para el bienestar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural para el ejercicio fiscal 2022. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México. 18 de marzo de 2022.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2018)** Se supera tecnificación de riego 30 por ciento la meta programada en la actual administración. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/agricultura/chiapas/articulos/se-supera-tecnificacion-de-riego-30-por-ciento-la-meta-programada-en-la-actual-administracion-182248?idiom=es> (Mayo 2022).
- SAGARPA-SIAP, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016)** Uso de Tecnología y de Servicios en el Campo. Cuadros Tabulares 2016. SAGARPA-SIAP. Ciudad de México. 941 p.
- SAS Institute (2008)** SAS/ETS® 9.2 User's Guide. Statistical Analysis System Institute. Cary, North Carolina, USA. 2876 p.
- SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2022)** Compendio de estadísticas ambientales 2021. Precipitación media histórica por entidad federativa (milímetros). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet9e2d.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet9e2d.html) (Abril 2022).
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022)** Anuario estadístico de la producción agrícola (1980-2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Marzo 2022).
- Turrent F. A. (2013)** Potencial productivo del campo mexicano para producir maíz no transgénico en los próximos 25 años. *Revista Análisis Plural* 2012:188-204.
- Turrent-Fernández A., J. I. Cortés-Flores, A. Espinosa-Calderón, C. Turrent-Thompson y H. Mejía-Andrade (2016)** Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1727-1739, <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.165>

