

Pronósticos y series de tiempo de rendimientos de granos básicos en México

Forecasts and time series of basic grains yield in Mexico

Olivia Delgadillo-Ruiz*, Pedro Pablo Ramírez-Moreno*, Juan Antonio Leos-Rodríguez*, José María Salas González*, Ricardo David Valdez-Cepeda**

RESUMEN

La metodología de series de tiempo fue empleada en el presente estudio para comparar diferentes métodos de pronósticos en series de rendimiento de granos básicos (maíz, frijol, trigo y arroz) en México, con el objetivo de predecir sus valores en el corto plazo. Los pronósticos se realizaron empleando los modelos *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) (1,0,1) para maíz, Modelo de Brow con $\alpha = 0.202$ para frijol, Suavización Exponencial Simple con $\alpha = 0.7576$ para trigo y Modelo de Holt con $\alpha = 0.5024$ y $\beta = 0.0366$ para arroz. Los resultados indican que en el corto plazo los rendimientos de maíz, frijol y arroz se incrementarán, mientras que los rendimientos de trigo se mantendrán constantes. Respetando estas estimaciones de rendimiento, manteniendo constante la superficie cultivada y el consumo *per cápita* de granos básicos, y considerando diferentes escenarios de población, a largo plazo México solo será autosuficiente en la producción de frijol. Así, los pronósticos obtenidos en este trabajo pueden ser utilizados en la toma de decisiones de producción y compra-venta de granos.

ABSTRACT

Time series methodology was used in this study to compare different methods of forecasting in yields series of basic grains (maize, beans, wheat and rice) in Mexico, with the objective of predict their values in the short term. Forecasts model was ARIMA (1,0,1) for maize, Brow Model with $\alpha = 0.202$ for beans, Simple Exponential Smoothing with $\alpha = 0.757$ for wheat and Holt Model with $\alpha = 0.5024$ and $\beta = 0.0366$ for rice. Results indicate that in the short term yields of maize, beans and rice will increase; while wheat yields remain constant. In addition, under different scenarios of population, keeping constant acreage and per capita consumption of basic grains, Mexico will only be self-sufficient in the production of beans. Forecasts obtained in this study can be used in making production and buy-sale of grains decisions.

Recibido: 7 de julio de 2015
Aceptado: 7 de junio de 2016

Palabras clave:
Modelos estadísticos; Box & Jenkins; ARIMA.

Keywords:
Statistical models; Box & Jenkins; ARIMA.

Cómo citar:
Delgadillo-Ruiz, O., Ramírez-Moreno, P. P., Leos-Rodríguez, J. A., Salas González, J. M., & Valdez-Cepeda, R. D. (2016). Pronósticos y series de tiempo de rendimientos de granos básicos en México. *Acta Universitaria*, 26(3), 23-32. doi: 10.15174/au.2016.882

INTRODUCCIÓN

Los pronósticos se utilizan en diversas áreas de las empresas y del gobierno con el fin de tener una guía en la toma de algunas decisiones. En actividades agropecuarias, como la productiva, se utilizan para decidir qué producir (un producto específico o una combinación de productos), cuándo producir y dónde producir. También se han utilizado en pronósticos de precios y en la disponibilidad de insumos futuros (Boken, 2000; Michel & Makowski, 2013; Suleman & Sarpong, 2012; Tripathi *et al.*, 2014).

Diferentes modelos estadísticos han sido empleados en el pronóstico de rendimientos: con enfoque de series de tiempo y con enfoque agronómico ecológico. Estos últimos incluyen datos de clima —temperatura y precipitación—, suelo, masa vegetal, datos satelitales y fotografías. El enfoque de series de tiempo ha sido utilizado para predecir tendencias de rendimientos

* Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, A.P. 90. Tel.: (595) 952 15 00. Correos electrónicos: odelgadillo@ciestaam.edu.mx; pabloram42@gmail.com; jleos45@gmail.com; jmsalasangonzalez@gmail.com

** Centro Regional Universitario Centro Norte (CRUCEN), Universidad Autónoma Chapingo. Calle Cruz del Sur núm. 100, Col. Constelación, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98060. Tel.: (492) 9246147, ext. 123. Correo electrónico: vacrida@gmail.com

de cultivos anuales, rendimientos de frutales y rendimientos de leche (Amir-Hamjah, 2014; Boken, 2000; Kumar-Sahu & Kumar, 2013).

Entre los investigadores que han explorado diversos métodos de pronósticos podemos mencionar a Boken (2000), quien estimó rendimientos de trigo en Canadá usando diferentes métodos de análisis de series de tiempo. Los métodos utilizados por Boken (2000) implican una regresión lineal, promedios móviles simples, Suavización Exponencial Simple, Suavización Exponencial Doble y modelos *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Por otra parte, Kumar-Sahu & Kumar (2013) emplearon métodos de Suavización Exponencial Simple, Suavización Exponencial Doble, promedios móviles y Método de Naïve para pronosticar las ventas de leche en India.

Los modelos ARIMA han sido utilizados en la estimación de la producción de diversos cultivos en diferentes partes del mundo. Por ejemplo, Amir-Hamjah (2014) pronosticó la producción de cultivos frutales (plátano, guayaba, papaya, piña y mango) en Bangladesh. El autor reporta que la producción de mango disminuirá y que las producciones de plátano y de guayaba se incrementarán en el corto plazo. Tripathi *et al.* (2014) encontraron que la producción de arroz en India se incrementará. Esta región de estudio es considerada con un alto potencial de producción; así, con base en estos resultados, el gobierno del lugar implementó el programa *Bringing Green Revolution in Eastern India*.

Amin, Amanullah & Akbar (2014) valoraron la superficie cultivada y la producción de trigo en Pakistán. El trigo es el principal cultivo agrícola del lugar, por lo que la estimación de la producción resulta de gran importancia. Los resultados reportados por los investigadores señalan que la producción se incrementará, y que para el 2060 la producción de trigo duplicará lo cosechado en el 2010. Jambhulkar (2013) predijo la producción de arroz en India. Para este autor, la modelación y pronóstico de la producción de arroz es importante para resolver el problema de la demanda. Sus resultados indican que la producción se incrementará. Debido a lo anterior, el pronóstico puede ser de ayuda para productores, planificadores y tomadores de decisiones de política agrícola.

Suleman & Sarpong (2012) estimaron la producción de arroz molido en Ghana. En este estudio, la producción de arroz tendrá incrementos moderados

que no serán suficientes para que Ghana sea considerado el principal productor de la región. Desde este punto de vista, el pronóstico sirve de base para la implementación de políticas encaminadas a atender el propósito de ser el principal productor de arroz. Badmus & Ariyo (2011) consideraron las variables de superficie cultivada y la producción de maíz en Nigeria; con base en las estimaciones realizadas, la producción y la superficie cultivada se incrementarán. Este resultado es importante para la toma de decisiones relacionadas con precios, producción y consumo.

Falak & Eatzas (2008) evaluaron la producción de trigo en Pakistán. Los resultados obtenidos mostraron un incremento en la producción, a un ritmo de 1.6%, inferior a la tasa de crecimiento esperada de la población, por lo que es probable un déficit en el suministro de trigo. Debido a lo anterior, las políticas implementadas deberán estar relacionadas con la mejora de prácticas agrícolas, cupo de importaciones, entre otras.

Por otro lado, se cree que la población mundial seguirá un comportamiento de crecimiento, razón por la cual la agricultura se enfrentará a grandes retos en las próximas décadas, y existe incertidumbre sobre su capacidad para alimentar a la población. Así, los pronósticos de rendimientos de cultivos estimados a partir del análisis de series de tiempo han sido empleados con frecuencia en estudios de prospectiva sobre seguridad alimentaria de organismos nacionales y regionales (Michel & Makowski, 2013).

En México se realiza la producción de alrededor de 480 cultivos agrícolas a escala comercial. El maíz, frijol, trigo y arroz se clasifican como cultivos de granos básicos. Son considerados como básicos o de consumo directo por la cantidad de superficie (ha) que se destina para su cultivo, su producción para autoconsumo y el valor económico de la producción.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), reporta que la superficie cultivada en México en el ciclo agrícola 2013 fue de 22.1 millones de ha, con un valor de producción de 230 922 millones de pesos, de los cuales el 45% de la superficie fue cultivada con algún grano básico, y representaron el 44% del valor de la producción (SAGARPA-SIACON, 2013).

De los cultivos de granos básicos, en el ciclo agrícola 2013, el cultivo de maíz fue al que más superficie se le asignó para su producción (7.5 millones de ha),

le sigue el frijol (1.8 millones de ha), el trigo (0.6 millones de ha) y el arroz (0.03 millones de ha) (SAGARPA-SIACON, 2013).

La información en México es considerada un factor determinante en la toma de decisiones; por ejemplo, es empleada para orientar la producción y crear condiciones que permitan su transformación competitiva, para generar desarrollo y bienestar de la población. Sin embargo, la mayoría de las ocasiones los productores no cuentan con ella. Esta falta de información incide en los mecanismos de cosecha y producción. Para lograr que los productores tomen las mejores decisiones con base en información veraz y oportuna, los modelos matemáticos han sido aplicados en una amplia gama de situaciones (Escalante, Mayorga & Vergara, 2001). Métodos como el de series de tiempo ayudan a interpretar los datos y permiten predecir su comportamiento en algún momento en el tiempo (Box & Jenkins, 1970).

El objetivo de esta investigación es comparar diferentes métodos de pronósticos para analizar series de tiempo de rendimiento de granos básicos (maíz, frijol, trigo y arroz) en México y predecir sus valores en el corto plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos

Los datos de series de tiempo de rendimiento ($t \text{ ha}^{-1}$) (de 1897 a 2009, 112 años) de granos básicos se obtuvieron de SIACON, dependiente de SAGARPA, así como de la antigua Subsecretaría de Agricultura y Operación, de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1983). Los datos contemplan el año agrícola (primavera-verano más otoño-invierno) y el régimen hídrico de riego más temporal, considerados una sola cifra.

Metodología Box & Jenkins (ARIMA)

En 1976, Box & Jenkins publicaron *Times Series Analysis: forecasting and control*. Esta publicación marcó el inicio de una nueva generación de herramientas de pronóstico, popularmente llamada *metodología Box & Jenkins*, pero técnicamente conocida como *metodología ARIMA* (Stellwagen & Tashman, 2013).

La metodología Box & Jenkins para la construcción de modelos de series de tiempo consiste en modelar el proceso generador de un conjunto de datos. Consta de un procedimiento iterativo de cuatro eta-

pas: identificación, estimación, comprobación y pronóstico (Bowerman, O'Connell, & Koehler, 2009; Kumar & Anand, 2015; Stellwagen & Tashman, 2013).

En la primera etapa (de identificación) se utilizan datos antiguos para proponer en forma tentativa un modelo de Box & Jenkins. En esta segunda etapa se utilizan datos antiguos para estimar los parámetros del modelo descrito en forma tentativa. En la tercera etapa se emplean varios diagnósticos para comprobar si es adecuado el modelo identificado en forma tentativa y, si es necesario, recomendar un modelo mejorado. Una vez que se obtuvo el modelo final, se usa para pronosticar valores futuros de series temporales, lo que corresponde a la cuarta etapa (Bowerman *et al.*, 2009; Gujarati & Porter, 2010; Stellwagen & Tashman, 2013).

Los modelos de pronósticos de Box & Jenkins son empleados en el análisis de series temporales estacionarias. Una serie de tiempo es estacionaria si las propiedades estadísticas (media y varianza) son constantes a través del tiempo. Un proceso es estacionario en dos sentidos: sentido estricto o fuerte es cuando la distribución de probabilidad conjunta de cualquier parte de la secuencia de variables aleatorias es invariante del tiempo (ecuación 1); sentido débil si los momentos de primer y segundo orden de la distribución (esperanzas, varianzas, covarianzas) son constantes a lo largo del tiempo.

$$F(x_t, x_{t+1}, \dots, x_{t+k}) = F(x_{t+\tau}, x_{t+1+\tau}, \dots, x_{t+k+\tau}). \quad (1)$$

Cuando las variables, objeto de estudio, no se mantienen alrededor de un mismo nivel, sino que van creciendo o disminuyendo conforme se hacen nuevas mediciones, se dice que las series no son estacionarias (Ventosa-Santaularia, 2006).

Si la serie no es estacionaria, se deben transformar los datos hasta tener un registro temporal estacionario. Uno de los métodos empleados para transformar una serie temporal no estacionaria en estacionaria es obteniendo las primeras diferencias de los valores de la serie temporal no estacionaria (Bowerman *et al.*, 2009).

Al igual que los modelos Box & Jenkins, existen diferentes procedimientos, como Suavización Exponencial Simple, Suavización Exponencial Doble o Método de Brown, Método de Holt, entre otros, para encontrar un modelo que permita hacer pronósticos de los valores de una serie de tiempo.

Suavización Exponencial. Es un método empleado para pronosticar una serie temporal cuando no hay tendencia o patrón estacional, pero la media cambia lentamente en el tiempo (Bowerman *et al.*, 2009).

El procedimiento de Suavización Exponencial Simple inicia con el cálculo de una estimación inicial l_0 de la media de la serie en el periodo $t = 0$. La ecuación de suavización está dada por:

$$l_T = \alpha y_T + (1-\alpha) l_{T-1}. \quad (2)$$

En este caso, α es una constante de suavización entre 0 y 1. La ecuación (2) plantea que l_T , la estimación del nivel efectuada en el periodo T , es igual a una fracción α de la observación y_T apenas observada de la serie temporal, más una fracción $(1-\alpha)$ de l_{T-1} , la estimación del nivel efectuada en el periodo $T-1$. A medida que cambia el nivel del proceso más influye en la estimación un valor de la serie temporal recientemente observado y, por consiguiente, más grande debe ser la constante de suavización α (Bowerman *et al.*, 2009; Choudhury & Jones, 2014).

Método de Holt de Suavización Exponencial. Para utilizar este modelo se supone que todos los movimientos de tendencia futuros continuarán a partir del último nivel suavizado. Sea l_{T-1} la estimación del nivel de la serie temporal en el periodo $T-1$, y con b_{T-1} la estimación de la tasa de crecimiento de la serie temporal en el tiempo $T-1$.

Con un nuevo valor y_T de la serie temporal en el periodo T , se aplican dos ecuaciones de suavización para actualizar las estimaciones l_{T-1} y b_{T-1} . La estimación del nivel en el periodo T utiliza la constante de suavización α . La ecuación de estimación es:

$$l_T = \alpha y_T + (1-\alpha) [l_{T-1} + b_{T-1}]. \quad (3)$$

El Método de Holt se utiliza cuando existe la presencia de una tendencia en la serie de tiempo. La elección de las constantes de suavización α y b afecta al valor de los resultados.

Un valor pequeño de α da mayor peso a los valores más antiguos, y un mayor valor en dicha constante da mayor peso a los niveles más recientes. Igualmente, un valor pequeño de b da mayor peso a las tendencias más antiguas en la serie y un menor valor de la constante da mayor peso a las tendencias de la serie más recientes.

Método de Brown. En este método se calcula primero una Suavización Exponencial Simple para cada valor de la serie. Con los datos resultantes se calcula otra Suavización Exponencial. Una doble técnica de suavización es usada cuando la serie presenta un componente de tendencia.

$$l_t = \alpha y_t + (1-\alpha) [l_{t-1} + T_{t-1}], \quad (4)$$

$$T_t = \alpha(L_t - L_{t-1}) + (1-\alpha) T_{t-1}. \quad (5)$$

Al elegir un modelo de pronóstico para la serie de tiempo es necesario validarlo.

Se reconoce la presencia de incertidumbre en el pronóstico, por lo que se incluye un componente irregular en la descripción de la serie de tiempo. La presencia de esta componente indica la presencia de algún error en el pronóstico (Bowerman *et al.*, 2009).

La exactitud con la que se puede predecir cada uno de los componentes de la serie de tiempo influye en la magnitud del error de los pronósticos. Los errores de predicción grandes indicarían que el componente irregular es tan grande que ninguna técnica de predicción podrá generar pronósticos exactos. Con frecuencia, un examen de los errores de pronóstico en el tiempo indica si la técnica de predicción va de acuerdo o no con el patrón de la serie. Para medir la magnitud de los errores y determinar si es posible el pronóstico exacto, se puede considerar el valor del error cuadrático medio (ECM).

Esta medida es el promedio de los errores cuadráticos de todos los pronósticos (6).

$$ECM = \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{n}. \quad (6)$$

El mejor modelo resultará ser aquel cuyo valor de ECM sea menor.

Criterio de Información de Akaike (AIC). Es una medida de bondad de ajuste. Este criterio mide el balance entre la bondad de ajuste y el grado de complejidad del modelo.

$$AIC = -2 \ln(l) + 2k, \quad (7)$$

donde L es el valor de la función de verosimilitud valorada en el estimador del parámetro y k es el número de parámetros estimados. El mejor modelo será aquel cuyo valor de AIC sea menor (Amin *et al.*, 2014). Este valor señala un mejor ajuste del modelo e indica un modelo más parsimonioso.

Se aplicaron métodos univariantes a series de tiempo de 1897-2009, registros de 112 años para estimar rendimiento de granos básicos (maíz, frijol, trigo y arroz) en México. Los modelos fueron seleccionados, utilizando los criterios de ECM y de Akaike. Los datos se computaron en el software estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI (2009).

RESULTADOS

En las figuras 1 - 4 se observa el patrón de comportamiento de las series de rendimiento de maíz, frijol, trigo y arroz en México de 1897 a 2009; y en la tabla 1 se presenta un resumen con los estadísticos descriptivos de las series de rendimientos de granos básicos en México.

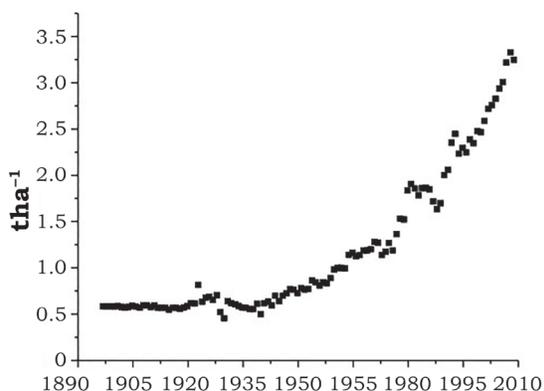


Figura 1. Rendimiento de maíz en México de 1897-2009.

Fuente: Elaboración propia (software estadístico OriginPro 8) con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

El mejor modelo para estimar rendimientos de maíz en México fue ARIMA (1,0,1). Para rendimientos de frijol, el Modelo de Brow con $\alpha = 0.202$; para rendimientos de trigo, Suavización Exponencial Simple con $\alpha = 0.7576$; y para rendimientos de arroz el Modelo de Holt con $\alpha = 0.5024$ y $\beta = 0.0366$ (tabla 2).

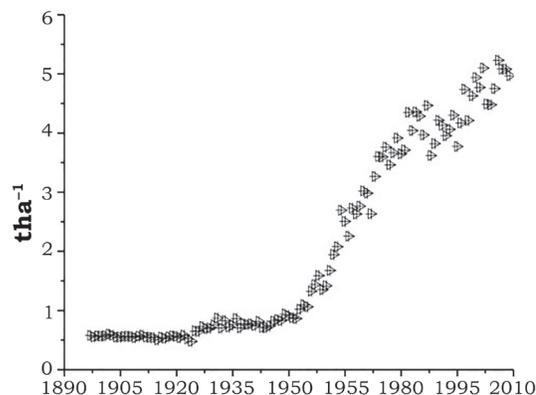


Figura 3. Rendimiento de trigo en México de 1897-2009

Fuente: Elaboración propia (software estadístico OriginPro 8) con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

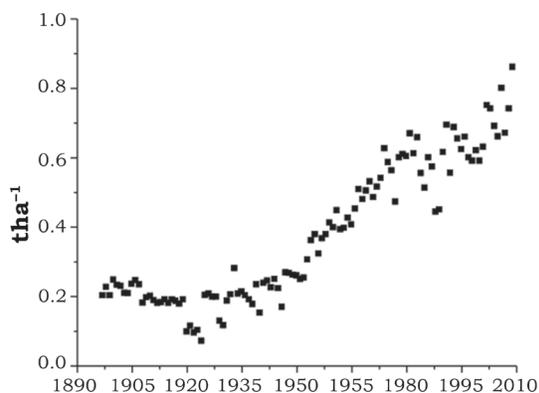


Figura 2. Rendimiento de frijol en México de 1897-2009.

Fuente: Elaboración propia (software estadístico OriginPro 8) con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

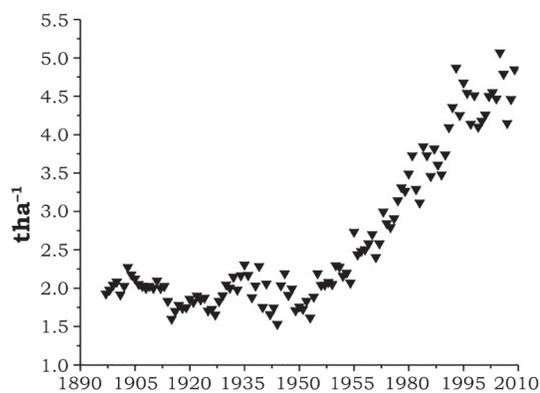


Figura 4. Rendimiento de arroz en México de 1897-2009.

Fuente: Elaboración propia (software estadístico OriginPro 8) con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

Tabla 1.

Resumen de estadísticos de las series de rendimientos de granos básicos en México.

Variable rendimiento (t ha ⁻¹)	n	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo	Desviación estándar	Coefficiente variación (%)
Maíz	112	0.45	1.18	3.32	0.77	65.28
Frijol	112	0.07	0.38	0.86	0.20	53.22
Trigo	112	0.48	2.07	5.23	1.65	79.49
Arroz	112	1.53	2.65	5.07	0.99	37.53

n = total de datos de la serie de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

Los rendimientos estimados para maíz, frijol, trigo y arroz en el ciclo agrícola 2014 son: 3.70 t ha⁻¹, 0.85 t ha⁻¹, 4.99 t ha⁻¹ y 4.89 t ha⁻¹, con una precisión de los pronósticos de 9.53%, 16.51%, 16.08% y 13.41%, respectivamente (tabla 3). Los rendimientos de maíz, frijol y arroz estimados para los años de

2010-2020 parecen tener una tendencia de incremento. Se estima que los rendimientos de maíz crecerán un 25%, los de frijol 17% y los de arroz 9%. En el mismo periodo de tiempo, los rendimientos de trigo estimados se mantendrán constantes con un valor de 4.99 t ha⁻¹ (figuras 5-8).

Tabla 2. Modelos de pronósticos estimados para series de rendimientos de granos básicos en México.

Variable rendimiento	Modelo pronóstico	Parámetro	Estimado	Error estándar	t	EMC	AIC
Maíz	ARMA (1,1)	AR (1)	1.022	0.012	86.70*	0.007	-4.90
		MA(1)	0.127	0.096	1.33		
Frijol	Suavización exponencial de Brown	$\alpha = 0.2027$	----	----	----	0.002	-5.99
Trigo	Suavización exponencial simple	$\alpha = 0.7576$	----	----	----	0.048	-3.02
Arroz	Suavización exponencial de Holt	$\alpha = 0.5024$ $b = 0.0366$	----	----	----	0.046	-3.02

t=; * valores estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 95%.
Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

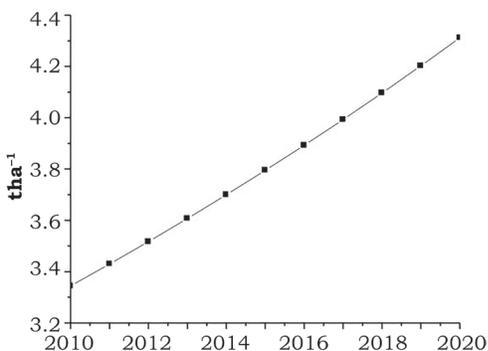


Figura 5. Estimación de rendimiento de maíz en México de 2010-2020.
Fuente: Elaboración propia (software estadístico OriginPro 8) con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

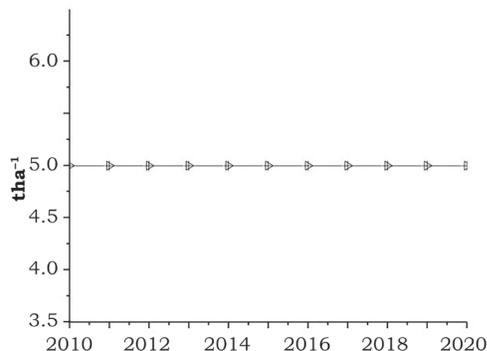


Figura 7. Estimación de rendimiento de trigo en México de 2010-2020.
Fuente: Elaboración propia (software estadístico OriginPro 8) con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

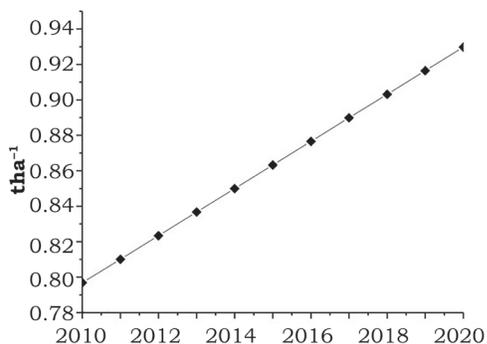


Figura 6. Estimación de rendimiento de frijol en México de 2010-2020.
Fuente: Elaboración propia (software estadístico OriginPro 8) con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

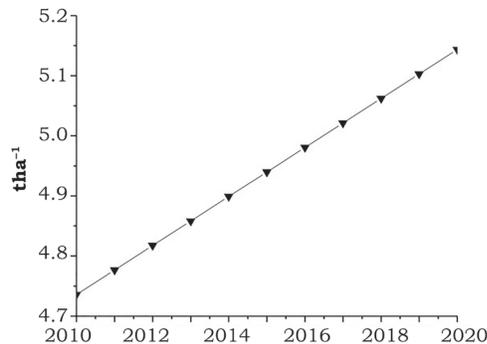


Figura 8. Estimación de rendimiento de arroz en México de 2010-2020.
Fuente: Elaboración propia (software estadístico OriginPro 8) con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

Tabla 3.

Valor de pronósticos para las series de rendimientos de granos básicos en México.

Variable	Ciclo	Valor	%	Valor reportado	Diferencia
Rendimiento	Agrícola	Pronóstico	Precisión	SIACON-SAGARPA	(Valor reportado menos Valor pronóstico)
(t ha ⁻¹)					
Maiz	2010	3.34	5.62	3.26	-0.08
	2011	3.43	6.53	2.91	-0.52
	2012	3.52	7.71	3.19	-0.33
	2013	3.61	8.69	3.19	-0.41
	2014	3.7	9.53	-----	-----
Frijol	2010	0.79	12.85	0.71	-0.087
	2011	0.81	13.63	0.63	-0.18
	2012	0.82	14.52	0.693	-0.134
	2013	0.83	15.48	0.738	-0.099
	2014	0.85	16.51	-----	-----
Trigo	2010	4.997	8.86	5.42	0.423
	2011	4.997	11.11	5.48	0.483
	2012	4.997	12.98	5.66	0.663
	2013	4.997	14.61	5.293	0.296
	2014	4.997	16.08	-----	-----
Arroz	2010	4.736	9.34	5.19	0.454
	2011	4.777	10.45	5.1	0.319
	2012	4.817	11.48	5.623	0.806
	2013	4.858	12.47	5.425	0.567
	2014	4.899	13.41	-----	-----

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA-SIACON (2013).

DISCUSIÓN

El cultivo de mayor importancia en México es el maíz. En el ciclo agrícola 2013, los rendimientos de maíz fueron en promedio de 3.1 t ha⁻¹ (tabla 1), los cuales son inferiores en comparación con aquellos obtenidos en países productores del grano como Estados Unidos de América (9.9 t ha⁻¹), Argentina (6.6 t ha⁻¹), China (6.01 t ha⁻¹) y Brasil (5.2 t ha⁻¹) (*Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database [FAOSTAT]*, 2015).

En relación con los rendimientos de frijol, los resultados indican una media de 0.38 t ha⁻¹ (tabla 1). Los rendimientos de frijol, al igual que los rendimientos de maíz, son bajos en comparación con aquellos obtenidos en países productores como Estados Unidos de América,

China, Indonesia, Myanmar y Brasil, los cuales registran rendimientos de 1.86 t ha⁻¹, 1.53 t ha⁻¹, 0.99 t ha⁻¹, 0.99 t ha⁻¹ y 0.80 t ha⁻¹, respectivamente (Secretaría de Economía, 2012).

Los rendimientos de trigo fueron en promedio de 2.07 t ha⁻¹ (tabla 1). En el ámbito mundial, estos tienen una media de 2.8 t ha⁻¹. A diferencia de los rendimientos de maíz y frijol, los de trigo en México son superiores a los de países como Australia y Brasil (1.5 t ha⁻¹ y 1.9 t ha⁻¹, respectivamente); similares a los de Canadá, India, Estados Unidos de América y Argentina (2.4 t ha⁻¹, 2.7 t ha⁻¹, 2.7 t ha⁻¹ y 2.3 t ha⁻¹, respectivamente) e inferiores a los de China, Alemania, Francia y Chile (4.2 t ha⁻¹, 7.4 t ha⁻¹, 6.9 t ha⁻¹ y 4.3 t ha⁻¹, respectivamente) (Rondanini, Gómez, Agosti & Miralles, 2012).

China, India, Indonesia, Bangladesh y Vietnam son los principales países productores de arroz. Generan el 73% del total de la producción mundial, con rendimientos de 6.7 t ha⁻¹, 3.6 t ha⁻¹, 5.1 t ha⁻¹, 4.3 t ha⁻¹ y 5.5 t ha⁻¹, respectivamente (FAOSTAT, 2015). En México, los rendimientos promedio en el periodo 1987-2009 fueron de 2.65 t ha⁻¹. En el ciclo agrícola 2013, los rendimientos fueron de 5.4 t ha⁻¹, superiores a los rendimientos de India y Bangladesh.

Las series de rendimientos que se utilizaron fueron con valores anuales desde 1897-2009, sin embargo se cuenta con los registros reportados por SIACON-SAGARPA hasta el año agrícola 2013. Ello permitió hacer un comparativo entre el valor pronosticado y el valor verdadero (dato oficial) de la producción.

Los valores de pronósticos estimados para las series de rendimientos de maíz, frijol, trigo y arroz para los años 2010, 2011, 2012 y 2013 se observan en la tabla 3. Para el año agrícola 2013 se estimaron rendimientos de maíz de 3.61 t ha⁻¹ (con un porcentaje de precisión del 8.69). Para este ciclo agrícola el valor reportado por SAGARPA, a través de SIACON, fue de 3.19 t ha⁻¹. La diferencia entre el valor reportado en SIACON y el valor pronosticado fue de -0.41 t ha⁻¹. Para el ciclo agrícola 2014 se pronostica que los rendimientos serán de 3.70 t ha⁻¹ con un porcentaje de precisión de 9.53.

En relación con el cultivo de maíz, se estima que los rendimientos pasarán de 3.3 t ha⁻¹ a 4.15 t ha⁻¹ en el periodo de tiempo de 2010 a 2020. De acuerdo con Ray, Ramankutty, Mueller, West & Foley (2012), los rendimientos de maíz se han mantenido constantes, sin embargo se estima que el rendimiento aumentará hasta en un 70% en regiones del oeste y centro de México.

Los rendimientos de frijol estimados pasarán de 0.79 t ha⁻¹ (en 2010) a 0.85 t ha⁻¹ (en 2020). Estos resultados coinciden con lo reportado por Brambila-Paz, Martínez-Damián, Rojas-Rojas & Pérez-Cerecedo (2015), quienes estiman que si la frontera agrícola y las importaciones y exportaciones del grano en relación con la producción en México en los ciclos agrícolas 2008-2012 no se incrementan, será necesario que el rendimiento de frijol oscilen entre los 0.74 t ha⁻¹ y 1.27 t ha⁻¹ para satisfacer la demanda.

En el mismo periodo de tiempo, los rendimientos de trigo estimados se mantendrán constantes con un valor de 4.99 t ha⁻¹ (figura 7). Autores como Brisson *et al.* (2010), Michel & Makowski (2013), Oury *et al.* (2012) y Rondanini *et al.* (2012) señalan que los rendi-

mientos de trigo se han mantenido constantes, debido a las prácticas agrícolas que se realizan y a los efectos del cambio climático. Para Ray *et al.* (2012), el estancamiento en los rendimientos puede ser por la falta de extensión de la superficie agrícola. Sin embargo, no hay un consenso de la comunidad científica sobre las causas de tal estancamiento en la producción.

Los rendimientos de arroz en México se incrementarán de 4.7 t ha⁻¹ a 5.2 t ha⁻¹ (9%). De acuerdo con Tripathi *et al.* (2014), factores como las prácticas agrícolas, factores abióticos y bióticos influyen en el rendimiento del cultivo. Este incremento "discreto" será generalizado en las zonas arroceras del mundo, como en el noroeste de Brasil, Grecia, India, Gambia, República del Congo y Corea del Norte (Ray *et al.*, 2012).

En el pasado, el crecimiento del sector agrícola se basaba en la expansión de las áreas de cultivo (Ríos-Flores, Torres-Moreno, Ruiz-Torres & Torres-Moreno, 2016), sin embargo, de acuerdo con diversos autores, la frontera agrícola llegó a su máxima capacidad, por lo que la expansión de la superficie cultivada no es una estrategia sostenible en las próximas décadas. La capacidad para alimentar a una población mexicana de 112.3 millones en el 2010 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2011), estimada en 130.3 millones de personas para el año 2030 y 140.2 millones de personas en 2050 (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2015; Consejo Nacional de Población [Conapo], 2015), se deberá a mejoras en el manejo o medidas que permitan un incremento notable de la producción (Monteagudo, 2014), que garanticen la seguridad alimentaria y de subsistencia de miles de personas que dependen de la agricultura (Ríos-Flores *et al.*, 2016).

De acuerdo con las cifras anteriores, y suponiendo que la superficie agrícola no se incrementará con el tiempo y que el consumo nacional *per cápita* se mantendrá constante, se obtiene que en el corto y mediano plazos México solo será autosuficiente en la producción de frijol (tabla 4).

Finalmente, en la literatura especializada hay consenso sobre si los modelos con enfoque agronómico-ecológico de pronóstico de rendimientos de cultivos son sensibles a la inconsistencia de la precipitación y la temperatura, propiedad de la tierra, plagas y enfermedades (Choudhury & Jones, 2014; Guzmán-Mendoza, Salas-Araiza, Calzontzi-Marín, Martínez-Yañez & Pérez-Moreno, 2016). Sin embargo, en este estudio se utilizó el enfoque de series de tiempo univariantes.

Tabla 4.
 Supuestos de producción de granos básicos en México bajo diferentes escenarios de población.

Año	Población (millones)	Superficie cultivada (ha)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Consumo per cápita (2015, t, persona)	Producción estimada (t)	Consumo estimado (t, población, año)	Producción menos consumo estimado (millones)	
2020	115	maíz	7 500 000	3.7	0.254	27 750 000	29 210 000	-1.46
		frijol	1 800 000	0.86	0.011	1 548 000	1 265 000	0.28
		trigo	700 000	4.9	0.076	3 430 000	8 740 000	-5.31
		arroz	35 000	4.9	0.007	171 500	805 000	-0.63
2030	130.3	maíz	7 500 000	3.7	0.254	27 750 000	33 096 200	-5.35
		frijol	1 800 000	0.86	0.011	1 548 000	1 433 300	0.11
		trigo	700 000	4.9	0.076	3 430 000	9 902 800	-6.47
		arroz	35 000	4.9	0.007	171 500	912 100	-0.74
2050	140.22	maíz	7 500 000	3.7	0.254	27 750 000	35 615 880	-7.87
		frijol	1 800 000	0.86	0.011	1 548 000	1 542 420	0.01
		trigo	700 000	4.9	0.076	3 430 000	10,656,720	-7.23
		arroz	35 000	4.9	0.007	171 500	981 540	-0.81

Fuente: Elaboración propia con datos de ONU (2015), Conapo (2015) y SAGARPA-SIACON (2013).

CONCLUSIÓN

En el corto plazo (2010-2020), los rendimientos de cultivos de maíz, frijol y arroz se verán incrementados. Por su parte, el modelo de Suavización Exponencial Simple con $\alpha = 0.7576$ indica que los rendimientos de trigo se mantendrán constantes. Considerando estas estimaciones de rendimiento bajo diferentes escenarios de población, manteniendo constante la superficie cultivada y el consumo *per cápita* de granos básicos en el corto plazo, México sólo será autosuficiente en la producción de frijol.

Dada la incertidumbre generalizada sobre la capacidad de la agricultura para alimentar a una población creciente, el valor de los pronósticos de rendimientos de granos básicos puede ser utilizado como indicador en estudios de prospectiva sobre temas de seguridad alimentaria, y/o de oferta y demanda.

El análisis de series de tiempo se utiliza para proyectar los datos a periodos futuros como pronósticos. Quienes toman decisiones lo harán mejor si a partir de la comprensión de las técnicas de pronóstico las emplean de manera adecuada, en lugar de que se vean forzados a planear el futuro sin el beneficio de esta valiosa información complementaria. Es poco probable que los pronósticos coincidan totalmente con el futuro; una

vez llegado este punto, quienes pronostican solo pueden intentar que los inevitables errores sean tan pequeños como sea posible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias de los árbitros de la revista *Acta Universitaria*.

REFERENCIAS

- Amin, M., Amanullah, M., & Akbar, A. (2014). Time Series Modeling for forecasting wheat production of Pakistan. *Plant Sciences*, 24(5), 1444-1451.
- Amir-Hamjah, M. (2014). Forecasting Major Fruit Crops Productions in Bangladesh using Box & Jenkins ARIMA Model. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 5(7), 96-108.
- Badmus, M. A., & Ariyo, O. S. (2011). Forecasting Cultivated Areas and Production of Maize in Nigeria Using ARIMA model. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 3(3), 171-176.
- Boken, V. K. (2000). Forecasting spring wheat yield using time series analysis: a case study for the Canadian Prairies. *Agronomy Journal*, 92(6), 1047-1053.
- Bowman, B. L., O'Connell, R. T., & Koehler, A. B. (2009). *Pronósticos, series de tiempo y regresión. Un enfoque aplicado* (4ta. edición). México: C. Learning editores. Recuperado el 10 de mayo de 2015 de <http://latinoamericana.cengage.com>

- Box, G. E. P., & Jenkins, G. M. (1970). Time series analysis: forecasting and control. In *Operational Research Quarterly* (537 pp.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Brambila-Paz, J. de J., Martínez-Damián, A. M., 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.
- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charret, G., Oury, F. X., & Huard, F. (2010). Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, 119(1), 201-212. doi:10.1016/j.fcr.2010.07.012.
- Choudhury, A., & Jones, J. (2014). Crop yield prediction using time series. *Journal of Economic and Economic Education Research*, 15(3), 53-68.
- Consejo Nacional de Población (Conapo) (2015). *Proyecciones de la población 2010-2050. México en cifras*. Recuperado 10 de mayo de 2015 de <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>
- Escalante, R. D., Mayorga, M. W., & Vergara, S. J. C. (2001). *Econometría básica con STATA 9.0, STATA 10.0, EVIEWS 5.0, SSPS 11. Manual de aplicación del modelo de regresión lineal con STATA 9.0*. España: Académica Española.
- Falak, S., & Eatzas, A. (2008). Forecasting wheat production in Pakistan. *The Lahore Journal of Economic*, 3(1), 57-85.
- Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT) (2015). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Dirección de estadística*. Recuperado el 12 de abril de 2015 de <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría*. México: McGrawHill/Interamericana.
- Guzmán-Mendoza, R., Salas-Araiza, M. D., Calzontzi-Marín, J., Martínez-Yáñez, R., & Pérez-Moreno, L. (2016). Efectos de la fertilización en cultivos de maíz sobre la abundancia y distribución de *Macrodactylus nigripes* (Coleóptera: Melolonthidae) de las tierras altas del centro de México. *Acta Universitaria*, 26(1), 3-11. doi: 10.15174/au.2016.802
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2011). *Población, hogares y vivienda. Indicadores de demografía y población*. Recuperado el 19 abril de 2015 de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484>
- Jambhulkar, N. N. (2013). Modeling of Rice Production in Punjab using ARIMA Model. *International Journal of Scientific Research*, 2(8), 2-3.
- Kumar, M., & Anand, M. (2015). An application of time series ARIMA forecasting model for predicting sugarcane production in India. *Studies in Business and Economics*, 9(1), 81-95.
- Kumar-Sahu, P., & Kumar, R. (2013). Demand Forecasting For Sales of Milk Product (Paneer) In Chhattisgarh. *International Journal of Inventive Engineering and Sciences*, 1(9), 10-13. Recuperado el 10 de mayo de 2015 de <http://www.ijes.org/attachments/File/v1i9/I0277081913.pdf> <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.675.6067&rep=rep1&type=pdf>
- Michel, L., & Makowski, D. (2013). Comparison of Statistical Models for Analyzing Wheat Yield Time Series. *PLoS ONE*, 8(10), 1-11.
- Monteagudo, C. A. (2014). Siembra comercial de cultivos genéticamente modificados en el campo mexicano: una herramienta viable para el desarrollo rural sustentable y la seguridad alimentaria. *Cotidiano - Revista de la Realidad Mexicana*, 30(188), 103-110.
- Organización de Naciones Unidas (ONU) (2015). *World Population in 2300. Country Tables*. Recuperado el 10 de mayo de 2015 de <http://www.un.org/en/development/desa/population/events/expert-group/6/index.shtml>
- Oury, F. X., Godin, C., Mailliard, A., Chassin, A., Gardet, O., Giraud, A., Heumez, E., Morlais, J. Y., Rolland, B., Rousset, M., Trotter, M., & Charret, G. (2012). A study of genetic progress due to selection reveals a negative effect of climate change on bread wheat yield in France. *European Journal of Agronomy*, 40, 28-38.
- Ray, D. K., Ramankutty, N., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2012). Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications*, 3, 1293. doi: 10.1038/ncomms2296
- Ríos-Flores, J. L., Torres-Moreno, M., Ruiz-Torres, J., & Torres-Moreno, M. A. (2016). Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México. *Acta Universitaria*, 26(1), 20-29. doi: 10.15174/au.2016.825
- Rondanini, D. P., Gómez, N. V., Agosti, M. B., & Miralles, D. J. (2012). Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *European Journal of Agronomy*, 37(1), 56-65. doi: 10.1016/j.eja.2011.10.005
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SAGARPA-SIACON) (2013). *Programa Informático. Base de datos agrícola, pecuaria y pesquera*. Recuperado el 18 de abril de 2015 de http://infosiap.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=286&Itemid=428
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) (1983). Consumos aparentes de productos agrícolas 1925-1982. *Econotecnia Agrícola*, 7(9), 3-120.
- Secretaría de Economía (2012). *Análisis de la cadena de valor del frijol*. Recuperado el 20 agosto de 2014 de http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/analisis_cadena_valor_frijol.pdf
- STATGRAPHICS Centurion XVI (2009). Recuperado el 12 de abril de 2015 de http://www.statgraphics.com/downloads_XV.htm
- Stellwagen, E., & Tashman, L. (2013). ARIMA: The models of Box & Jenkins. *International Journal of Applied Forecasting*, (30), 28-33.
- Suleman, N., & Sarpong, S. (2012). Forecasting Milled Rice Production in Ghana Using Box & Jenkins Approach. *International Journal of Agricultural Management and Development*, 2(2), 79-84.
- Tripathi, R., Nayak, A. K., Raja, R., Shahid, M., Kumar, A., Mohanty, S., Panda, B. B. Lal, B., & Gautam, P. (2014). Forecasting Rice Productivity and Production of Odisha, India, Using Autoregressive Integrated Moving Average Models. *Advances in Agriculture*, 1, 1-9.
- Ventosa-Santaularia, D. (2006). ¿Qué es la econometría? *Acta Universitaria*, 16(3), 47-51.