

# ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO EN EL PRONÓSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

## Time Series Analysis Forecasting in Sugar Cane Production

Juan Ruiz-Ramírez<sup>1\*</sup>, Gabriela Eréndira Hernández-Rodríguez<sup>2</sup> y Ramón Zulueta-Rodríguez<sup>3</sup>

### RESUMEN

Las entidades económicas en general requieren implementar métodos para hacer pronósticos con la mayor precisión posible sobre su desempeño para permanecer y competir en el mercado. Así, la toma de decisiones en la agroindustria azucarera mexicana necesita prever el comportamiento de su proceso productivo con el fin de planificar y optimizar el uso de los recursos técnicos, humanos y financieros. Para ello, en los ingenios se ocupan las series de tiempo pues permiten inquirir los rendimientos esperados y de este modo determinar demandas futuras sobre sus insumos e inventarios. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue generar un modelo de series de tiempo que sirviese para pronosticar la zafra 2006-2007 del ingenio Independencia. Así, se consideró el volumen de las cosechas obtenidas desde 1949 a 2006 y, mediante el programa Statistica se aplicó el modelo de Box-Jenkins y, con el modelo autoregresivo integrado de medias móviles (1,2,0) obtenido, se pronosticó que la zafra 2006-2007 sería de 11 974 toneladas de azúcar, en contraste con la producción real de 12 736 toneladas, lo que indica que el pronóstico realizado con el modelo es preciso en un 94%, y este resultado estuvo influenciado por la disminución de la superficie sembrada en un 1.5%.

**Palabras clave:** series de tiempo, zafra, modelo ARIMA.

### SUMMARY

Economic entities generally need to implement methods to forecast their performance as accurately as

<sup>1</sup> Facultad de Economía, <sup>2</sup> Facultad de Ciencias Administrativas y Sociales, <sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Av. Xalapa s/n, esquina con Av. Ávila Camacho. 91020 Xalapa, Veracruz, México.

\* Autor responsable (jruiuzv@gmail.com)

Recibido: noviembre de 2009. Aceptado: septiembre de 2010.

Publicado en Terra Latinoamericana 29: 103-109.

possible to stay on top in the competitive market. Thus, decision-making in the mexican sugar industry needs to predict the behavior of its productive process in order to plan and optimize the use of the technical, financial and human resources. To improve the profitability of the sugar cane refineries, time series data sets are used as they allow prediction of the expected returns and thus determine future demands on the inputs and inventories. In this research we used a time series model to forecast the Independencia sugar cane mill 2006-2007 production. The statistica software was used to analyze the volume of harvests from 1949 to 2006, and with the Box-Jenkins methodology to generate an auto-regressive integrated moving average (ARIMA) model. The 2006-2007 sugarcane cycle production forecasted 11 974 tons, in contrast with the obtained production (12 736 tons). Our results indicate that forecasting with the model is 94% accurate. This result was influenced by reducing planting area by 1.5%.

**Index words:** time series model, sugarcane harvest, ARIMA model.

### INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de caña de azúcar es una actividad agrícola de relevancia económica, que se produce en 227 municipios ubicados en 15 estados, en los cuales se concentra el 13% de la población nacional (más de 3 millones de personas dependen directa e indirectamente de su cultivo y transformación); genera el 0.5% del producto interno bruto (PIB) nacional: 8.9% del PIB del sector agropecuario, el 2.4% de la industria manufacturera. México es el séptimo productor mundial de azúcar y en la zafra 2005-2006 la superficie sembrada fue de 659 124 ha, con una producción total de caña molida alrededor de los 47 290 412 Mg, significando una producción azucarera de 5 282 088 Mg, con rendimientos de fábrica del 11.17% y de campo de 71.75 Mg ha<sup>-1</sup> (Aguilar-Rivera, 2007; Aguilar-Rivera *et al.*, 2009).

Sin embargo, la operatividad, competitividad y contribución al impulso de la capacidad fabril

para su molienda, presenta enormes desafíos emanados de la histórica crisis estructural y múltiples contradicciones coyunturales aún presentes en el sector cañero mexicano (Banko, 2005; Domínguez, 2005), con consecuencias negativas tales como: infraestructura y tecnología agroproductiva poco eficientes (Aguilar-Rivera, 2007), elevados costos de producción (Enríquez, 2008) y uso exiguo de los productos y subproductos obtenidos en el ingenio azucarero y la destilería (Aguilar-Rivera, 2007), sin desestimar la capacidad organizativa de los productores e insuficiente planificación operativa de la siembra, las labores culturales y la recolección (corte, alza, transportación y recepción) de la caña de azúcar (Infante y Vázquez, 2001).

De este modo, carecer de un programa de planeación y control sistemático de procedimientos de operación, implica el fracaso de cualquier esfuerzo tendiente a fomentar la sustentabilidad de los procesos agroproductivos y de la transformación de la caña de azúcar. En consecuencia, para promover la instalación de un ingenio azucarero exitoso, se requiere la reordenación de la superficie cañera sembrada en sitios donde las condiciones agroecológicas garanticen de algún modo la productividad (GEPLACEA, 1991; Aguilar *et al.*, 1996; Jiménez *et al.*, 2004; Aguilar-Rivera *et al.*, 2009).

Así, cabe señalar que algunos de los programas utilizados para realizar el pronóstico de la producción de caña de azúcar mediante el método de Box-Jenkins han sido EViews (Rodríguez, 2001), TRAMO/SEATS (Kikut *et al.*, 2002) y SPSS (Gómez *et al.* 2007).

En el caso de las aplicaciones para la predicción de cosechas en caña de azúcar, el programa “Pronóstico de riego” permite valorar los requerimientos de agua de las distintas variedades comerciales (tempranas, medianas y tardías), a través de un modelo de regresión múltiple, donde se utilizan variables climáticas con el fin de conocer el rendimiento potencial de este cultivo (Cañamero y Helfgott, 2009). Sin embargo, los autores no pronosticaron el valor futuro de la producción.

En otro estudio, Bonilla *et al.* (2003) incluyeron el excedente económico en los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar, en términos de su comportamiento en el mercado interno y externo, valiéndose de un modelo estocástico para analizar el impacto del fenómeno meteorológico El Niño Oscilación del Sur (ENSO) sobre el sector azucarero colombiano. Así, a partir de su correcta estimación, las ganancias obtenidas han llegado a ser equivalentes al 1% del PIB de Colombia en

el año 2000, situación que de ninguna manera aplica para el sector azucarero de Queensland, Australia, pues no se tiene la certidumbre de que el comportamiento agronómico de la gramínea sólo sea atribuida a la influencia del fenómeno meteorológico citado (Kuhnel, 1993).

En este sentido, Martínez y Martínez (1996) idearon un método computacional a través del cual con datos de precipitación y temperatura registrados durante 38 años en el corredor cañero de Mante-Xicoténcatl, en Tamaulipas, México, pronosticaron la época óptima de zafra en la zona.

Por otro lado, O’Leary (1999, 2000) hizo la revisión de tres modelos de simulación usando datos medioambientales para determinar el rendimiento promedio anual de sacarosa en la caña de azúcar sin aplicar las series de tiempo.

Por otro lado, Rodríguez (2001) analizó el comportamiento de la producción del edulcorante en Cuba tomando como base los datos reales registrados entre 1900-1998, periodo durante el cual tuvieron que subdividir la serie de tiempo en cinco etapas tras detectar que los cambios histórico-políticos y sociales del país son factores que influyeron en la aplicación de los modelos Box-Jenkins para las investigaciones estadísticas y la realización de pronósticos.

En la Dirección de Estudios Agropecuarios y Pesqueros (DGEAP) de la SAGARPA (2009), en colaboración con el AFPC (Agriculture and Food Policy Center) y el FAPRI (Food and Agricultural Policy Research Institute) implementaron un modelo de proyecciones macroeconómicas a favor del sector agropecuario nacional, entre los cuales el escenario base para la caña de azúcar<sup>1</sup> matiza la prospectiva del impacto de cambios en la política pública o en la combinación de factores y circunstancias inherentes al periodo estimado para el 2009 en el ámbito cañero-azucarero.

Además, se dispone de la proyección nacional de siembra, producción de azúcar, rendimiento (en campo y fábrica) y consumo (interno y externo) para el periodo 2007-2012 (SAGARPA, 2007), así como también de un estudio donde se puntualizan aspectos cruciales para extraer la mayor cantidad de sacarosa (porcentaje de azúcar) de la caña por el tándem<sup>2</sup> (Gómez *et al.*, 2007).

No obstante, en la literatura consultada, se hace mención respecto a la insuficiente disponibilidad de investigaciones donde se perfeccionan las técnicas y se sistematizan los procedimientos para pronosticar

<sup>1</sup> Donde se incluyen variables de producción, demanda, comercio exterior y precios, entre otros.

<sup>2</sup> Término referido a la sincronización automática de maquinaria (rodillos) utilizados para moler la caña de azúcar.

con mayor precisión la zafra en los ingenios azucareros del mundo (Gómez *et al.*, 2007), encontrándose en la mayor parte de los estudios consultados, muy pocas investigaciones sobre simulación para el sector azucarero, además del inconveniente de que los modelos que se utilizan son estacionarios (Merino *et al.*, 2009). Tal situación, no es distinta en México, pues a pesar de contar con diversos pronósticos relacionados con la producción cañera no se reportan las metodologías aplicadas (SIAP-SAGARPA, 2009). Es por ello, que en el presente trabajo se planteó como objetivo proponer un modelo de series de tiempo que pronostique la zafra 2006-2007 del ingenio Independencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ingenio Independencia se encuentra ubicado en la porción central del estado de Veracruz, y su área de influencia comprende 20 818 ha distribuidas en los municipios de Misantla, Nautla, Vega de Alatorre, Atzálan, Tlapacoyan y Martínez de la Torre, pero principalmente en este último (SAGARPA, 2009), en las coordenadas 20° 04' N 97° 03' O donde prevalecen temperaturas promedio de 24 °C y una precipitación pluvial media anual de 1508.9 mm.

Dicho cañamalar y oficinas de beneficio se han caracterizado por generar fuentes de empleos para todas las comunidades ubicadas a su alrededor, convirtiéndose en la principal fuente de ingresos para más de cinco mil familias asentadas en esa región geográfica. Este Ingenio, se encuentra en una región de gran extensión citrícola que se inició a partir de los años 70's (Hoffman y Velázquez, 1993).

Los métodos de series de tiempo estiman o pronostican el dato más inmediato de la serie de datos estudiada, para lo cual es indispensable trabajar con antecedentes históricos (pasados), los cuales se caracterizan por ser información dispuesta para su tratamiento por una computadora (Martínez, 2005). Así, en este trabajo se utilizó la serie de tiempo conformada por las zafras del ingenio Independencia y, con ellas, se generó una base de datos en el programa Statistica<sup>3</sup> con las siguientes variables: año (periodo del ciclo agrícola) que representa las zafras iniciadas en el mes de noviembre y finalizadas en el mes de julio del año siguiente, motivo por el cual, ésta serie de tiempo incluyó 57 datos, que correspondieron a las zafras del periodo de 1949-1950 a 2005-2006, en las que se registró su correspondiente producción de azúcar (toneladas).

Si bien en este trabajo se rebasa el número de datos requeridos en el programa TRAMO/SEATS para estimar un modelo para el ajuste de criterios y valores de convergencia (36 observaciones) (Kikut *et al.*, 2002), en la SAGARPA se usó una serie que comprende los años 2000 al 2006 para realizar el pronóstico de rendimientos a nivel nacional de la zafra 2006-2007 (SIAP-SAGARPA, 2009); y en Pakistán utilizaron 55 datos correspondientes al periodo de zafras de 1947 al 2002 (Yassen *et al.*, 2005).

Las fuentes consultadas para conocer el volumen de las zafras de 1949 al 2002 y de 2003 al 2006 fueron el archivo personal de la administración general del ingenio Independencia y el informe anual de la CNIAA (2008), respectivamente. La metodología de Box-Jenkins se aplicó a esta serie de tiempo para pronosticar la producción de azúcar, correspondiente a la zafra 2006/2007 (Box *et al.*, 1994).

En el modelo autoregresivo integrado de medias móviles (ARIMA) (p, d, q) utilizado en este estudio, se consideró a p como el parámetro autoregresivo, d al número de fases de diferenciación no estacionales y q al parámetro de medias móviles (Yassen *et al.*, 2005); a este modelo se le evaluaron los siguientes supuestos: 1) la media de los residuales es igual a cero; 2) varianza constante de los residuales; 3) independencia de los residuales; 4) normalidad de los residuales; 5) observaciones aberrantes; 6) el modelo es parsimonioso; 7) el modelo es admisible, y 8) el modelo es estable (Rodríguez, 2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de azúcar durante las zafras 1949-2006 del ingenio Independencia se presentan en la Figura 1, contrario a las series de tiempo que utilizaron 38 y 39 datos (Martínez y Martínez, 1996; Sinha y Cherkauer, 2008), en este análisis se usaron 57 datos. Las zafras del ingenio Independencia no tienen tendencia alguna, estacionalidad, ni tampoco observaciones aberrantes, pero muestra un comportamiento no estacionario en media ni tampoco en varianza (Cuadro 1). Por ello, se realizó una transformación a la variable producción.

En el Cuadro 1 se presentan las estadísticas descriptivas de la serie de tiempo, desde que se describió la serie original ( $x = \text{PROD}$ ), se le aplicó la transformación logaritmo natural  $\ln(x)$ ; además se realizó la diferenciación  $\ln(x)$ ;  $D(-1)$ , y por último

<sup>3</sup> McCallum, B. 1999. A carnival of stats. Science 284:1291-1292.

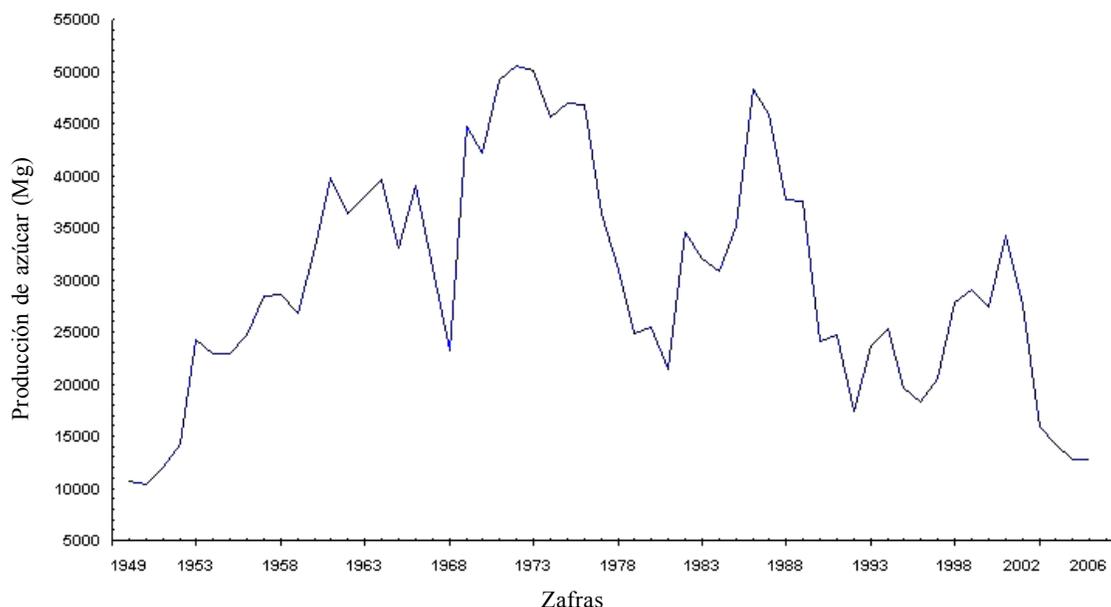


Figura 1. Producción de azúcar de las zafras 1949-2006 del ingenio Independencia, Veracruz, México.

se volvió a aplicar otra diferenciación  $\ln(x)$ ;  $D(-1)$ ;  $D(-1)$  (Nochai y Nochai, 2010).

De este modo, cuando a la serie se le aplicó cada una de las diferenciaciones a la variable transformada, la desviación estándar fue disminuyendo (Cuadro 1), lo cual indica que es más apropiado trabajar la serie solamente con dos transformaciones. Sin embargo, en la Figura 2 se aprecia que el comportamiento de la transformación  $\ln(x)$ ;  $D(-1)$ ;  $D(-1)$  es apropiada para generar la serie, ya que no sigue ningún patrón, es decir, no presenta tendencia alguna y ello indica que la serie es estacionaria en media y varianza (Nochai y Nochai, 2010).

El modelo ARIMA (1, 2, 0) que se representa en la Ecuación 1 y el modelo estimado mostrado en la Ecuación 2, cumplió con los ocho supuestos, como ocurrió en el trabajo realizado en Cuba

**Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de la serie de tiempo y de sus transformaciones de la producción del ingenio Independencia, situado en el estado de Veracruz, México.**

Transformación y diferenciación	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Producción (x)	29841.1414	11029.3094	10370	50521
$\ln(x)$	10.22684	0.4136	9.2467	10.83
$\ln(x)$ ; $D(-1)$	0.00302	0.2204	-0.5498	0.6587
$\ln(x)$ ; $D(-1)$ ; $D(-1)$	0.00061	0.3204	-0.7173	0.953

Fuente: Elaboración propia realizada con el programa Statistica.

en la aplicación de las series de tiempo estructuradas a un proceso industrial para contribuir a la reducción de variabilidad de extracción de la empresa azucarera Melanio Hernández (Gómez *et al.*, 2007).

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \delta + u_t \quad (1)$$

donde:

$Z_t$  = producción de caña de azúcar pronosticada para la próxima zafra

$\phi_1$  = valor estimado del parámetro del modelo autoregresivo de orden 1

$\delta$  = constante

$u_t \sim N(0, \sigma^2)$ ;  $u_t = 0$

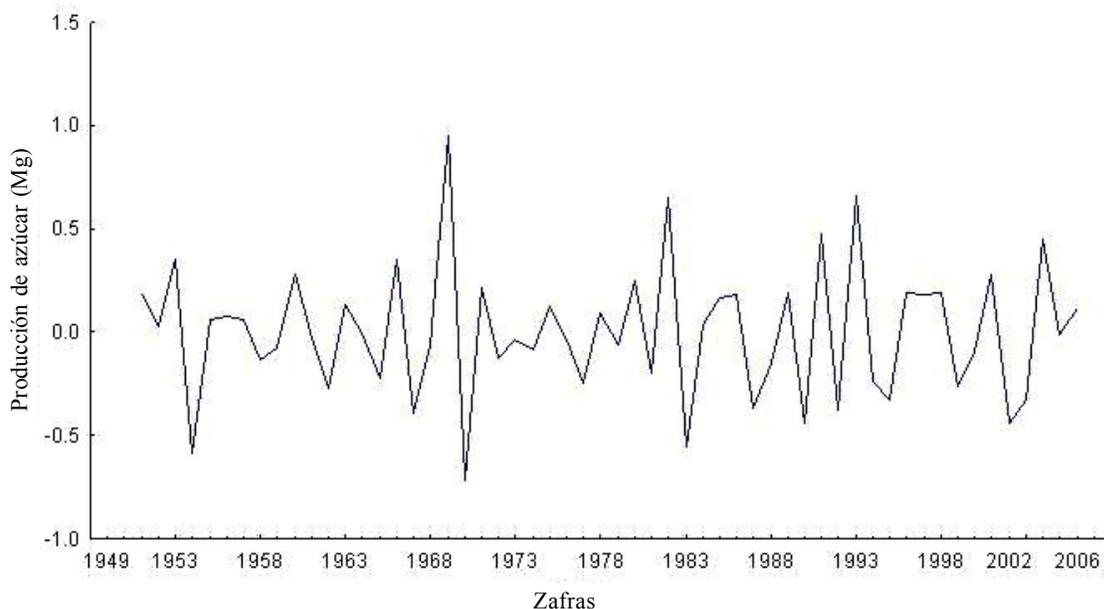
En el Cuadro 2 se presenta la estimación de los parámetros del modelo ARIMA (1, 2, 0), obtenido con el programa Statistica.

De esta manera, se sustituyeron los valores de los parámetros del modelo en la Ecuación 1 y se obtuvo el siguiente modelo ARIMA(1,2,0)

$$Z_t = -0.000845 + u_t - 0.526202 Z_{t-1} \quad (2)$$

Donde:  $u_t \sim N(0, 0.07566)$

Los resultados obtenidos del programa Statistica del modelo ARIMA (1, 2, 0) se muestran en el Cuadro 3 y se representaron en la Ecuación 1. El pronóstico



**Figura 2. Representación del logaritmo natural y la doble diferenciación de la producción de azúcar de las zafras 1949-2006 del ingenio Independencia.**

de la producción se realizó con los datos de la serie estudiada y con ella se pronosticó la zafra 2006-2007 y posteriormente, el modelo incluyó ese dato y al utilizar éste junto con los anteriores, se obtuvo el pronóstico del siguiente año, y así sucesivamente se realizaron los pronósticos de las zafras de los años siguientes (Yassen *et al.*, 2005).

Se observa que la producción del ingenio Independencia disminuye año tras año, lo cual se asocia a la baja producción mundial y nacional de la caña de azúcar, aunado al incremento de precios en el corto y mediano plazo, como lo manifiestan Vergara y Díaz (2010) al plantear un escenario poco optimista para México.

**Cuadro 2. Estimación de los parámetros del modelo autoregresivo ARIMA (1,2,0).**

Producción de azúcar				
Transformaciones: Ln(x), (D-1), (D-1)				
	Parámetros	p	Límite inferior al 95%	Límite superior al 95%
Constante	-0.000845	0.972548	-0.049873	0.048182
AR(1)	-0.526202	0.000037	-0.760788	-0.291616

Fuente: Elaboración propia a través del análisis de series de tiempo con el programa Statistica. p = valor verdadero de probabilidad para rechazar H0; AR(1) = valor del modelo autorregresivo de orden 1.

De acuerdo con el modelo ARIMA (1, 2, 0), el pronóstico de la zafra correspondiente al ciclo 2006-2007 para el ingenio Independencia de Martínez de la Torre, es de 11 974.06 Mg de azúcar y la producción real de la zafra de referencia 2006-2007 fue de 12 736 Mg (SIAP-SAGARPA, 2010). El presente modelo fue diferente en los parámetros al modelo ARIMA (2, 1, 2) utilizado en Pakistán, el cual analizó los datos de las zafras 1947 a 2002, y se obtuvieron pronósticos aproximados a los reales como ocurrió en este estudio (Yassen *et al.*, 2005).

El pronóstico de la producción se aproximó en un 94% a la producción real, lo cual muestra que el modelo es eficiente. Al comparar el valor de la producción pronosticada con el valor real, se deben de considerar los aspectos que influyen en la variable analizada como ocurrió en el ciclo 2005-2006 con la superficie industrializada que fue de 2848 ha (SIAP, 2010) en relación al ciclo 2006-2007, de 2804 ha. Esta situación hizo que disminuyera en un 1.5% la superficie industrializada.

Otro pronóstico a nivel nacional, lo obtuvo la SAGARPA en la zafra 2006-2007 en el que se incrementó la producción de 47 290.4 a 48 620 miles de toneladas, los rendimientos de 71.750 a 73.767 (Mg ha<sup>-1</sup>) y la superficie cultivada de 659.1 (miles de hectáreas) permaneció constante (SIAP-SAGARPA, 2009).

Otros factores que de una u otra manera pudieren influir en la estimación de la zafra son la interacción

**Cuadro 3. Pronóstico y producción de las zafras 2006-2011 del ingenio Independencia, Veracruz, México.**

Zafra	Pronóstico de la producción de azúcar	Límite al 95%		Producción real de azúcar producida <sup>†</sup>	Superficie industrializada <sup>†</sup>	Porcentaje de disminución de la superficie industrializada <sup>†</sup>
		Inferior	Superior			
----- Mg -----					ha	
2005 - 2006				12 720.8	2848	
2006 - 2007	11 974.06	6898.190	20784.9	12 736	2804	1.55
2007 - 2008	11 621.44	4352.025	31033.4	10 672	2622	6.49
2008 - 2009	11 077.75	2301.157	53328.1	5 736	2040	22.20
2009 - 2010	10 646.36	1162.523	97499.1			
2010 - 2011	10 174.62	536.944	192799.8			

Fuente: Elaboración propia y <sup>†</sup> datos tomados del sistema INFOazúcar (SIAP-SAGARPA, 2010).

genotipo-ambiente (Marcano *et al.*, 2003; Bonilla *et al.*, 2003; Jiménez *et al.*, 2004; Lawes y Lawn, 2005).

En el análisis de la serie de tiempo considerada en este estudio se tomó en cuenta el periodo completo de zafras (1949-2006), a diferencia de Rodríguez (2001), quien en su investigación la subdividió en cinco etapas al considerar el impacto de los aspectos políticos y socioeconómicos que han prevalecido en Cuba, lo cual no tiene sentido, al pronosticar un valor del pasado, cuando la finalidad de los modelos de series de tiempo son pronosticar el dato futuro inmediato a través de los datos de esa variable considerados en el periodo de la serie de tiempo estudiada. En relación a los resultados obtenidos y a los registrados en bibliografía, se concluye que el uso de los métodos estadísticos en la estimación o pronóstico de la producción de la caña de azúcar, son útiles en la toma de decisiones y en la planeación del sistema de producción de caña de azúcar (Lawes y Lawn, 2005).

### CONCLUSIONES

- Se concluye que el modelo autoregresivo integrado de medias móviles (ARIMA) (1, 2, 0) propuesto, fue el apropiado en el pronóstico de la zafra 2006/2007 del ingenio Independencia de Martínez de la Torre, Veracruz, México, y este resulta de gran utilidad en la toma de decisiones para el mismo.

- Este trabajo muestra la importancia de introducir los métodos de series de tiempo en el análisis de pronósticos productivos de la agroindustria azucarera, con el objetivo de contribuir a una mejora sustancial en la planeación

productiva de los ingenios azucareros, optimizando los recursos existentes y evitando pérdidas futuras en el mercado.

### LITERATURA CITADA

- Aguilar A., J. L., R. Zulueta, R. Palma G., R. López M., E. Romero P. y A. Márquez D. 1996. Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en el estado de Veracruz. *La Ciencia y El Hombre* 22: 51-69.
- Aguilar-Rivera, N., 2007. Bioetanol de la caña de azúcar. *Avance Invest. Agrop.* 11: 25-39.
- Aguilar-Rivera, N., G. M. Galindo, J. M. Fortanelli y C. S. Contreras. 2009. ¿Por qué diversificar la agroindustria azucarera en México? *Universia* 3: 62-75.
- Banko, C. 2005. La industria azucarera en México y Venezuela; un estudio comparativo. *Carta Económ. Reg.* 17: 41-54.
- Bonilla, A., R. Rosales y J. Maldonado. 2003. El valor económico de la predicción del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en el sector azucarero colombiano. *Desarrollo y Sociedad* 52: 1-38.
- Box, G. E. P., G. M. Jenkins, and G. C. Reinsel. 1994. *Time series analysis. Forecasting and control.* Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Cañamero, K. M. y S. Helfgott. 2009. Software: KPRONOSTICO. Pronóstico de riego en caña de azúcar. [http://www.lamolina.edu.pe/agronomia/Software/PRONOSTICO\\_CANA\\_AZUCAR.htm](http://www.lamolina.edu.pe/agronomia/Software/PRONOSTICO_CANA_AZUCAR.htm). (Consulta: octubre 28, 2009).
- CNIAA (Cámara Nacional de la Agroindustria Azucarera y Alcohólera) 2008. *Agroindustria de la caña de azúcar. Desarrollo agroindustrial de la industria de la caña de azúcar 1998-2008.* CNIAA (Informe anual). México, D. F.
- Domínguez R., L. 2005. Desarrollo regional y competitividad: La agroindustria azucarera en México. *Nóesis* 15: 227-250.
- Enriquez, P., M. 2008. Mexico: A sweet challenge for the NAFTA? *Sugar Journal*, september, 6, 10. <http://www.sugarjournal.com/index.html> (Consulta: abril 23, 2010).

- GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar). 1991. La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar. GEPLACEA/PNUD. Serie: Diversificación. México, D. F.
- Gómez A., B., C. Sebrango R. y G. Pérez. 2007. Aplicación de las series de tiempo estructuradas a un proceso industrial para contribuir a la reducción de variabilidad. <http://www.gestiopolis.com/operaciones/control-estadistico-y-series-de-tiempo-en-un-proceso-industrial.htm>. (Consulta: octubre 31, 2009).
- Hoffmann, O. y E. Velázquez. 1993. Sistema de producción e historia: una propuesta para el análisis regional (centro Veracruz, México). pp. 119-129. In: H. Navarro, J. P. Colin y P. Milleville (eds.). Sistemas de producción y desarrollo agrícola. Orstom-Conacyt-CP. México, D. F.
- Infante, R. R. y X. Vázquez C. 2001. Planificación eficiente del proceso de recolección de la caña de azúcar (mediante la aplicación de técnicas de avanzada). *Econ. Desarrollo* 2: 98-117.
- Jiménez C., A., V. Vargas T., W. E. Salinas C., M. J. Aguirre B. y D. Rodríguez C. 2004. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Investig. Geográf.* 53: 58-74.
- Kikut V., A. C., E. Muñoz S. y J. C. Quirós S. 2002. Aspectos conceptuales sobre series de tiempo: Nociones básicas. Nota Técnica (DIE/02-2002-NT). Departamento de Investigaciones Económicas. Banco Central de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Kuhnel, I. 1993. Impacts of extreme climatic conditions on sugar cane production in northeastern Australia. *IAHS Publ.* 213: 157-163.
- Lawes, R. A. y R. J. Lawn 2005. Applications of industry information in sugarcane production system. *Field Crops Res.* 92: 353-363.
- Marcano M., M. García y L. Caraballo. 2003. Evaluación de doce variedades de caña de azúcar (*Sacharum* spp.) bajo condiciones de secano en un suelo de sabana del oeste del estado Monagas, Venezuela. *Rev. UDO Agríc.* 3: 65-73.
- Martínez T., M. E. 2005. Series de tiempo: Modelos ARIMA. *Med. Univer.* 7: 49-51.
- Martínez G., A. y M. A. Martínez D. 1996. Método de cómputo para pronosticar la época de zafra en caña de azúcar con base en datos de temperatura y precipitación. *Agrociencia* 30: 487-494.
- Merino, A., L. F. Acebes, R. Mazaeda y C. de Prada. 2009. Modelado y simulación del proceso de producción del azúcar. *Rev. Iberoamericana Automát. Informát. Indust.* 6: 21-31.
- Nochai, R. and T. Nochai. 2010. Arima model for forecasting oil palm price. The 2<sup>nd</sup> IMT-GR regional conference on mathematics, statistics and applications. Universiti Sains Malaysia. Penang, Malaysia.
- O'Leary, G. J. 1999. A review of three sugarcane simulation models in their prediction of sucrose yield. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.* 73: 33-34.
- O'Leary, G. J. 2000. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. *Field Crops Res.* 68: 97-111.
- Rodríguez R., C. 2001. Modelos Box-Jenkins: Aplicación de su metodología a la producción de azúcar en Cuba. *Econ. Desarrollo* 1: 167-179.
- Sinha, T. and K. A. Cherkauer. 2008. Time series analysis of soil freeze-thaw processes in Indiana. *J. Hydrometeor.* 9: 936-950.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2007. Programa nacional de la agroindustria de la caña de azúcar 2007-2012. México: SAGARPA. México, D. F.
- SAGARPA-AFPC-FAPRI (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Agriculture and Food Policy Center-Food and Agricultural Policy Research Institute). 2009. Proyecciones para el sector agropecuario de México; Escenario Base 09-18. SAGARPA. México, D. F.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. Proyección 2007 de caña de azúcar. <http://www.azucar.gob.mx/index.php?portal=cania>. (Consulta: octubre 31, 2009).
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación). 2010. Sistema infocaña. <http://www.campomexicano.gob.mx/azcf/reportes/reportes.php?tipo=CIERRE>. (Consulta: abril 23, 2010).
- Vergara G., R. y M. A. Díaz C. 2010. El mercado del azúcar en México. *Rev. Trimestral Anál. Coyuntura Económ.* 3: 17-19.
- Yassen M., M. Zakria, Islam-Ud-Din-Shahzad, M. Imran Khan, and M. Aslam Javed. 2005. Modeling and forecasting the sugarcane yield of Pakistan. *Intern. J. Agric. Biol.* 7: 180-183.