

EL PRECIO DEL DURAZNO PARA LA TOMA DE DECISIONES DE LOS PRODUCTORES MEXICANOS

THE PRICE OF PEACH FOR DECISION MAKING BY MEXICAN PRODUCERS

María I. Ortiz-Rivera¹, J. de Jesús Brambila-Paz^{1*}, Daniel Barrera-Islas¹, E. de Jesús Arjona-Suárez²,
Glaforo Torres-Hernández³, M. del Carmen López-Reyna⁴

¹Economía (ortiz.maria@colpos.mx) (jbrambilaa@colpos.mx) (dbarrera@colpos.mx)

²Estadística. ³ Genética. ⁴Agronegocios. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo.
Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

RESUMEN

Los productores de durazno en México forman sus expectativas de producción basadas en el precio futuro; estos esperan que el precio aumente para seguir con la actividad agrícola, razón por la cual no toman la decisión de buscar otros usos y mercados para la fruta, diferentes al mercado en fresco. El objetivo fue analizar la dinámica de la formación del precio de mercado del durazno en México, su tendencia y volatilidad a fin de pronosticar la trayectoria de este en el tiempo. La hipótesis fue que los precios del durazno presentan alta volatilidad y tendencia negativa que convergen a un precio con constante. Con la metodología de un modelo dinámico bajo un mercado simple, una ecuación diferencial de segundo grado y una ecuación browniana se obtuvo que el precio real del durazno presentó severas oscilaciones con tendencia negativa; que la trayectoria del tiempo condujo al precio de la fruta hacia un precio constante de equilibrio, pero que este fue bajo con respecto a los niveles de los periodos anteriores, por lo que se comprobó que el precio del fruto no aumentará en los próximos 15 años y en consecuencia, ante este escenario de incertidumbre, los productores de dicho fruto podrían dejar de seguir invirtiendo en la actividad.

Palabras clave: economía dinámica, *Prunus persica* (L.) Batsch, precios agrícolas.

INTRODUCCIÓN

En México, la producción de durazno es una actividad agrícola importante en el desarrollo económico y social del país; esta labor emplea alrededor de cuatro millones de jornales, promueve el arraigo de los productores, minimiza la migra-

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: febrero, 2017. Aprobado: octubre, 2020.

Publicado como ARTÍCULO en ASyD 18: 321-334. 2021.

ABSTRACT

Peach producers in Mexico form their production expectations based on the future price; they wait for the price to increase in order to continue with the agricultural activity, reason why they do not make the decision of seeking other uses and markets for the fruit, different from the fresh market. The objective of this study was to analyze the dynamics of the formation of the market price of peach in Mexico, its trend and volatility, in order to predict its trajectory through time. The hypothesis was that peach prices present high volatility and a negative trend that converges in a price with a constant. With the methodology of a dynamic model under a simple market, a differential second degree equation and a Brownian equation, it was found that the real price of peach presented severe fluctuation with negative trend; that the trajectory in time led the price of the fruit towards a constant equilibrium price, although it was low compared to the levels in previous periods. Thus, it was confirmed that the future price will not increase in the next 15 years and, as consequence, facing this scenario of uncertainty, the producers of this fruit could cease to continue investing in the activity.

Key words: dynamic economy, *Prunus persica* (L.) Batsch, agricultural prices.

INTRODUCTION

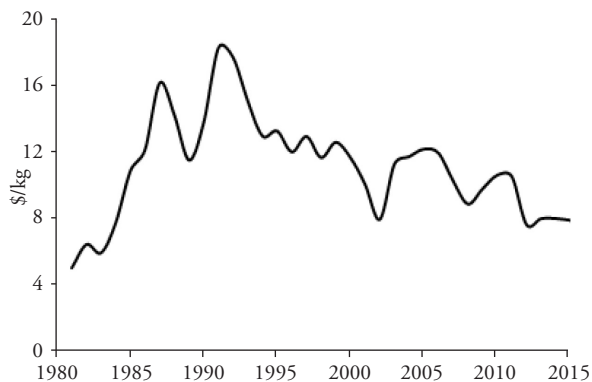
In Mexico, peach production is an important agricultural activity for the economic and social development of the country; this task uses around four million hourly employees, promotes rooting of producers, minimizes migration, and reduces abandonment and change in land use (Sánchez *et al.*, 2012). Presently, the country has a surface sown of 35 thousand ha that produces around 176 thousand tons (SIAP, 2016); however, these amounts have been

ción, reduce el abandono y el cambio de uso de suelo (Sánchez *et al.*, 2012). Actualmente, el país tiene una superficie sembrada de 35 mil ha que producen alrededor de 176 mil t (SIAP, 2016); no obstante, estas cantidades se han reducido 19 y 15% respectivamente, en los últimos diez años. De acuerdo a cifras emitidas por la FAO (2016), la cantidad de durazno producida en el territorio mexicano no alcanza a satisfacer la demanda interna por lo que se tiene que recurrir a importaciones; en el 2015, estas ascendieron a más de 20 mil t. Es importante mencionar que el consumo *per cápita* anual es de 1.6 kg, cantidad que también se ha reducido en los últimos años. En cuanto a los precios recibidos por el productor, se observa que el precio real del durazno ha presentado severas fluctuaciones con tendencia a la baja (Figura 1).

Los productores de durazno forman sus expectativas de producción basadas en los precios futuros, esperando que estos se incrementen o mejoren y lleguen a los niveles de los años pasados donde el precio era relativamente alto para seguir produciendo. Bajo esta premisa, los agricultores no toman la decisión de buscar otras opciones, usos y mercados para la fruta diferentes al mercado en fresco.

Por esta razón, es de suma importancia analizar la tendencia y la volatilidad de los precios pagados al productor de durazno y calcular el precio de equilibrio de mercado y examinar si durante la trayectoria del precio en el tiempo este tiende a convergir a un precio de equilibrio, ya que esto afecta no sólo al desarrollo agrícola, la comercialización y al consumo del fruto, sino al nivel de ingresos de los productores (Su *et al.*, 2014). Para indagar detalladamente en el mercado del durazno, se necesita de un análisis dinámico de la oferta y demanda, de la tendencia y la volatilidad de los precios; así que, discutir la estabilidad y el precio de equilibrio del mercado tiene importancia para los gobiernos, los encargados de la formulación de políticas, los agentes intermediarios y, por supuesto, los agricultores a fin de que estos últimos puedan tomar decisiones con respecto a su producción (Fu *et al.*, 2015), es decir, puedan optar por seguir bajo la misma línea de producción y comercialización, o bien, buscar nuevas alternativas u opciones que contribuyan a mejorar su participación en el mercado e incrementar sus ingresos (Ortiz-Rivera *et al.*, 2020).

Para explicar las causas de la volatilidad y la tendencia de los precios agrícolas, algunas investigaciones han discutido el tema usando modelos



Los precios reales se deflactaron con el INPP. Base 2015=100.
 ♦ The real prices were deflated with the INPP. Base 2015=100.
 Fuente: elaboración propia con información del SIAP (2016).
 ♦ Source: prepared by the authors with information by SIAP (2016).

Figura 1. Precio medio rural real del durazno en México, 1980-2015 (\$/kg).

Figure 1. Average real rural price of peach in Mexico, 1980-2015 (\$/kg).

reduced 19 and 15%, respectively, in the last ten years. According to the figures issued by FAO (2016), the amount of peach produced in the Mexican territory does not manage to satisfy the domestic demand which is why there is a need to resort to imports; in the year 2015, they reached more than 20 thousand tons. It is important to mention that the annual *per capita* consumption is 1.6 kg, amount that has also decreased in recent years. When it comes to the prices received by the producer, it is observed that the real price of peach has presented severe fluctuations with a decreasing trend (Figure 1).

The peach producers form their expectations for production based on future prices, expecting for these to increase and improve and to reach the levels of previous years, when the price was relatively high, to continue producing it. Under this premise, the farmers do not make the decision of seeking other options, uses and markets for the fruit different from the fresh market.

For this reason, it is of utter importance to analyze the trend and the volatility of the prices paid to the peach producer and to calculate the equilibrium market price, as well as to examine whether the trajectory of the price in time tends to converge at an equilibrium price, since this affects not only the agricultural development,

dinámicos económicos. Particularmente, estos modelos se pueden aplicar a todos los aspectos de la economía, puesto que con base en los resultados que se obtienen de la simulación dinámica del modelo, se puede determinar si la economía tenderá a ser estable (Fu *et al.*, 2015). El modelo clásico de la telaraña, estudiado por Kaldor (1934) y Ezekiel (1938), representa uno de los primeros intentos de caracterizar la dinámica no lineal en la teoría económica. Diversas contribuciones literarias centradas en la dinámica de precios han abordado este tema en modelos de tiempo discretos (Gallas y Nusse, 1996; Dieci y Westerhoff, 2010), y rara vez en tiempo continuo (Gandolfo, 2010). Mitra y Boussard (2012) investigaron la dinámica de los precios en un modelo de telaraña no lineal con almacenamiento privado para tratar de explicar y predecir las fluctuaciones de los mismos. Fu *et al.* (2015) propusieron un modelo nuevo de telaraña para conocer la estabilidad del mercado de la electricidad en China. Zhou (2009) construyó un modelo de telaraña del mercado de bienes raíces de China. Su *et al.* (2014) estudiaron si los precios de los productos agropecuarios son caóticos.

El objetivo de la investigación fue analizar la tendencia, la volatilidad y la dinámica de la formación del precio de mercado del durazno a fin estudiar la trayectoria del mismo en el tiempo para proporcionar una valiosa referencia en la toma de decisiones de los productores mexicanos. Para ello, se empleó un modelo dinámico simple, una ecuación diferencial de segundo orden y una ecuación browniana. La hipótesis fue que los precios del durazno, en los próximos años, presentarán alta volatilidad y tendencia negativa que convergirán a un precio constante.

METODOLOGÍA

Modelo de un mercado dinámico simple

La dinámica de la formación del precio de mercado del durazno que se aborda en este trabajo, se halla relacionado con el llamado modelo de la telaraña (Lange, 1969), el cual describe cómo la dinámica de los precios evoluciona en un mercado de productos perecederos que toman cierto tiempo para producirse (Gori *et al.*, 2015). Así que, dada una brecha entre las decisiones de producción y el momento en el que los productos están disponibles en el mercado, los mecanismos de creación de expectativas se convierten en

commercialization and consumption of fruit, but also at the level of producers' income (Su *et al.*, 2014). To investigate the peach market in detail, a dynamic analysis of the supply and demand, and of the trend and volatility of the prices is required; therefore, discussing the stability and the equilibrium market price is important for governments, those in charge of policy formulation, intermediary agents and, naturally, the farmers in order for the latter to make decisions regarding their production (Fu *et al.*, 2015). That is, they can opt for continuing under the same production and commercialization line, or else to seek new alternatives or options that contribute to improving their participation in the market and increasing their income (Ortiz-Rivera *et al.*, 2020).

To explain the causes of the volatility and the trend of agricultural prices, some studies have discussed the theme using economic dynamic models. In particular, these models can be applied to every aspect of the economy, since whether the economy will tend to be stable can be determined based on the results that are obtained from the model's dynamic simulation (Fu *et al.*, 2015). The classical model of the spider web, studied by Kaldor (1934) and Ezekiel (1938), represents one of the first attempts to characterize the non-linear dynamics in economic theory. Various literary contributions centered in the price dynamics have addressed this theme in discrete time models (Gallas and Nusse, 1996; Dieci and Westerhoff, 2010), and rarely in continuous time (Gandolfo, 2010). Mitra and Boussard (2012) researched the price dynamics in a non-linear spider web model with private storage to try to explain and predict the fluctuations of these. Fu *et al.* (2015) suggested a new spider web model to understand the market stability of electricity in China. Zhou (2009) constructed a spider web model of the real estate market in China. Su *et al.* (2014) studied whether the agriculture and livestock product prices are chaotic.

The objective of the research was to analyze the trend, the volatility and the dynamics of price formation of the peach market, in order to study its trajectory through time to provide a valuable reference in decision making of Mexican producers. For this purpose, a simple dynamic model, a second order differential equation, and a Brownian equation were used. The hypothesis was that prices of peach in the coming years will present high volatility and a negative trend that will converge to a constant price.

un determinante importante de los movimientos de los precios.

El modelo considera el desequilibrio de los precios reales con expectativas estáticas (es decir, los productores agrícolas suponen que el precio actual depende de uno de sus valores pasados observados), donde el ajuste de los precios es impulsado por el exceso de demanda en el mercado del producto considerado (Gori *et al.*, 2015).

Se empleó el presente modelo dinámico para seguir la trayectoria del precio del durazno en el tiempo, así como determinar si, dado un tiempo suficiente, esta variable tenderá a convergir a un cierto valor (equilibrio) (Chiang y Wainwright, 2006). El modelo admite que la oferta y demanda dependen del precio del durazno. Como lo mencionan Dieci y Westerhoff (2010), este supuesto lleva a establecer resultados más generales sobre las propiedades de estabilidad del mercado.

Se asume una economía de libre competencia para describir el comportamiento de dicho mercado. La demanda del durazno está determinada por la disposición marginal de los consumidores a adquirir el producto y depende negativamente del precio actual (t). La oferta obedece positivamente a las expectativas de los precios y está en función del precio en el periodo anterior ($t-1$); se considera la existencia de un retraso en el precio debido a que las decisiones de producción se toman hasta el momento en que la producción está lista para la venta. Como lo propone Lange (1969), las funciones de oferta y demanda quedan establecidas de la siguiente manera

$$Q_d = \alpha + bP_t \quad \alpha < 0, \quad \alpha > 0 \quad (1)$$

$$Q_0 = \beta + bP_{t-1} \quad b < 0 \text{ y } \beta > 0 \quad (2)$$

donde Q_d ; indica la cantidad demandada; Q_0 ; es la cantidad ofertada; P_t y P_{t-1} ; se refieren al precio en el periodo t y en el periodo anterior $t-1$. La elasticidad precio de la demanda es $a < 0$. No se señala la relación inversa entre cantidad y precio porque α es negativa. $\beta > 0$ es la elasticidad precio de la oferta; α y β : son la demanda y la oferta mínimas.

En lo que se refiere a las expectativas de los precios, se supone que los productores basan su decisión de producción en el precio observado, asumiendo que este prevalecerá cuando su bien este disponible para su venta, esto es, $P(t) = P(t_{-1})$, donde $t \geq 0$;

METHODOLOGY

Simple dynamic market model

The formation dynamics of the peach market price addressed in this study is related to the so-called spider web model (Lange, 1969), which describes how the price dynamics evolve in a market of perishable products that take a certain amount of time to be produced (Gori *et al.*, 2015). Therefore, given a gap between the production decisions and the moment when products are available in the market, the mechanisms of creation of expectations become an important determinant of price changes.

The model considers the imbalance of real prices with static expectations (that is, when agricultural producers assume that the current price depends on one of its past values observed), where the price adjustment is driven by the excess in market demand of the product considered (Gori *et al.*, 2015).

The present dynamic model was used to follow the trajectory of the peach price in time, as well as to determine whether this variable will tend to converge to a certain value (equilibrium), given sufficient time (Chiang and Wainwright, 2006). The model admits that the supply and the demand depend on the price of peach. As mentioned by Dieci and Westerhoff (2010), this assumption leads to establishing more general results about the stability properties of the market.

A free trade economy is assumed to describe the behavior of such a market. The demand for peach is determined by the marginal disposition of consumers to acquire the product and depends negatively on the current price (t). The supply obeys positively to the expectations of the prices and is in function of the price in the previous period ($t-1$); the existence of a delay in the price is considered because the production decisions are taken at the time when the production is ready for sale. As proposed by Lange (1969), the functions of the supply and the demand are established as follows:

$$Q_d = \alpha + bP_t \quad \alpha < 0, \quad \alpha > 0 \quad (1)$$

$$Q_0 = \beta + bP_{t-1} \quad b < 0 \text{ y } \beta > 0 \quad (2)$$

where Q_d ; indicates the amount demanded; Q_0 ; is the

esta hipótesis contempla el comportamiento de los mercados agrícolas, donde la producción requiere de cierto periodo de tiempo t para desarrollarse y obtener productos disponibles para el mercado. Por lo que, el proceso de ajuste de los precios, considerando el tiempo discreto basado en el exceso de demanda (Gandolfo, 2010), se describe mediante la ecuación diferencial:

$$P_t = c_1 + c_2 P_{t-1} \tag{3}$$

De tal manera que el precio de equilibrio P_t^* esta determinado por

$$P_t^* = \frac{c_1}{1 - c_2} \tag{4}$$

donde P_t : es el precio de mercado actual; P_{t-1} : es el precio de mercado rezagado un periodo.

De acuerdo con la metodología propuesta por Lange (1969) para encontrar el equilibrio periódico, la solución general está determinada por:

$$\bar{P}_t = \left(\frac{b}{a}\right)^t \bar{P}_0 \tag{5}$$

donde P_0 significa la desviación inicial del precio de equilibrio final (perturbación). Gracias a la solución general se establece si el proceso de formación del precio de mercado es estable, si $b/a < 1$.

Cabē señalar que debido a que la función de oferta es decreciente, el operador de la proporcionalidad b/a es negativo, así que su coeficiente da sentido $a < 0$; por lo que se tiene $b/a < 0$ lo que indica que el precio tendrá un comportamiento oscilatorio alrededor del valor del equilibrio (Gandolfo, 2010).

En consecuencia, las desviaciones del precio de equilibrio final P_1, P_2, \dots, P_t son alternativamente positivas y negativas, es decir los precios de unos años oscilan alrededor del punto de equilibrio.

La amplitud de estas oscilaciones del nivel del precio de equilibrio indican si 1) es creciente, cuando $b/a > 1$ y entonces el proceso es inestable; 2) es decreciente cuando $b/a < 1$ y entonces el proceso de la formación de los precios tiende al equilibrio, es decir,

amount offered; P_t and P_{t-1} : refer to the price in the period t and in the previous period $t-1$. The price elasticity of demand is $a < 0$. The inverse relation between the amount and the price is not mentioned because α is negative. $\beta > 0$ is the price elasticity of supply; α and β : are minimal demand and supply.

In what refers to the price expectations, it is supposed that producers base their production decisions on the price observed, assuming that it will prevail when their good is available for sale, that is, $P(t) = P(t-1)$, where $t \geq 0$. This hypothesis contemplates the behavior of agricultural markets, where the production requires certain period of time t to develop and to obtain products available for the market. Therefore, the process of price adjustment, considering the discreet time based on the excess of demand (Gandolfo, 2010), is described through the differential equation:

$$P_t = c_1 + c_2 P_{t-1} \tag{3}$$

Therefore, the equilibrium price P_t^* is determined by:

$$P_t^* = \frac{c_1}{1 - c_2} \tag{4}$$

where P_t : is the current market price; P_{t-1} : is the market price delayed one period.

According to the methodology proposed by Lange (1969) to find the periodic equilibrium, the general solution is determined by:

$$\bar{P}_t = \left(\frac{b}{a}\right)^t \bar{P}_0 \tag{5}$$

where P_0 means the initial deviation of the price from the final equilibrium (disturbance). Thanks to the general solution, it is established whether the formation process of the market price is stable, if $b/a < 1$.

It should be pointed out that because the supply function is decreasing, the operator of proportionality b/a is negative, so its coefficient gives sense to $a < 0$; therefore, there is $b/a < 0$ which indicates that the

es estable; cuando $b/a=1$, la amplitud de las oscilaciones alrededor del punto de equilibrio es constante.

El valor de β y b se obtiene de operar las siguientes ecuaciones

$$C_1 = \frac{-a}{a} + \frac{\beta}{a} \tag{6}$$

$$C_2 = \frac{b}{a} \tag{7}$$

Ecuaciones diferenciales de segundo orden

De acuerdo con Chiang y Wainwright (2006), el objetivo de resolver una ecuación diferencial es encontrar una trayectoria de tiempo $y(t)$, y esta trayectoria es una función del tiempo.

Una ecuación diferencial de segundo orden no homogénea de coeficiente constante toma la forma general

$$Y_{t+2} + a_1Y_{t+1} + a_2Y_t = c \tag{8}$$

Si $Y_t=Y$, entonces obtenemos la solución particular

$$Y = \frac{c}{1 + a_1 + a_2}$$

La solución o componente complementario es la solución de la parte homogénea de la ecuación recursiva, esta queda

$$Y_{t+2} + a_1Y_{t+1} + a_2Y_t = c$$

De donde resulta:

$$Ab^{t+2} + a_1Ab^{t+1} + a_2Ab^t = 0$$

Por lo tanto, la solución general

$$Y_t = A_1(b_1)^t + A_2(b_2)^t + \frac{c}{1 + a_1 + a_2}$$

De acuerdo con el modelo, la ecuación diferencial de segundo orden del precio del durazno se formó de la siguiente manera:

$$P_t = a + b_1P_{t-1} + b_2P_{t-2} + b_3Q_t + b_4T + b_5IM$$

donde P_t : es el precio medio rural real de durazno; P_{t-1} : es el precio medio rural real rezagado un periodo;

price will have an oscillatory behavior around the equilibrium value (Gandolfo, 2010).

As consequence, the price deviations from the final equilibrium P_1, P_2, \dots, P_t are alternatively positive and negative, that is, the prices from some years oscillate around the equilibrium point.

The amplitude of these oscillations of the equilibrium price level indicate if: 1) it is growing, when $b/a > 1$ and then the process is unstable; 2) it is decreasing when $b/a < 1$ and then the formation process of the prices tend to equilibrium, that is, it is stable; when $b/a = 1$, the amplitude of the oscillations around the equilibrium point is constant.

The values of β and b are obtained from operating the following equations:

$$C_1 = \frac{-a}{a} + \frac{\beta}{a} \tag{6}$$

$$C_2 = \frac{b}{a} \tag{7}$$

Second order differential equations

According to Chiang and Wainwright (2006), the objective of solving a differential equation is to find a trajectory of time $y(t)$, and this trajectory is a function of time.

A non-homogeneous second order differential equation of constant coefficient adopts the following form:

$$Y_{t+2} + a_1Y_{t+1} + a_2Y_t = c \tag{8}$$

If $Y_t=Y$, then we obtain the particular solution:

$$Y = \frac{c}{1 + a_1 + a_2}$$

The solution or complementary component is the solution of the homogeneous part of the recursive equation, and it remains as:

$$Y_{t+2} + a_1Y_{t+1} + a_2Y_t = c$$

From which the following results:

$$Ab^{t+2} + a_1Ab^{t+1} + a_2Ab^t = 0$$

Therefore, the general solution is:

P_{t-2} ; es el precio medio rural real rezagado dos periodos; Q_t ; es la cantidad (en miles de toneladas) de durazno demandada en México; T ; es el tiempo; IM ; se refiere a la cantidad (miles de toneladas) de durazno importado.

La demanda de durazno *per cápita* anual se obtuvo de restar a la oferta las exportaciones y dividir el resultado entre la población; la oferta se definió al sumar la producción nacional más las importaciones.

La información del precio y la producción nacional de durazno se obtuvo del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2016). El dato de la población mexicana se adquirió a través del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2016).

Ecuación browniana

$$r = \alpha + \Gamma(dt)$$

donde α : es la tasa continua del movimiento promedio o la media ($x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X)$) del precio, Γ es la desviación estándar ($\sqrt{r^2}$) y dt es un movimiento aleatorio.

En este caso, la media se entenderá como la tendencia que siguen los precios y la desviación estándar es la volatilidad de los mismos.

La tasa continua es

$$r = \ln \left(\frac{VP_{t+1}}{VP_t} \right)$$

donde r : tasa continua; \ln : logaritmo natural; VP_{t+1} : valor final; VP_t : valor inicial.

El valor de los parámetros usados en las ecuaciones se fijó con un modelo econométrico de regresión lineal simple a través de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) (Gujarati y Porter, 2010), con el paquete estadístico Gretl y Microsoft Excel. Con el fin de lograr especificaciones satisfactorias del modelo, y por lo tanto coeficientes precisos y confiables, se utilizaron criterios estadísticos como el coeficiente de determinación (R^2) para probar la significación de las mismas. La significancia global de los coeficientes de cada ecuación se validó con la prueba de F y la de cada coeficiente con la prueba de t de Student o la razón de t . Al elegir el modelo, se consideró tanto la

$$Y_t = A_1(b_1)^t + A_2(b_2)^t + \frac{c}{1 + a_1 + a_2}$$

According to the model, the second order differential equation of the peach price was formed in the following way:

$$P_t = a + b_1P_{t-1} + b_2P_{t-2} + b_3Q_t + b_4T + b_5IM$$

where P_t ; is the average real rural price of peach; P_{t-1} ; is the average real rural price delayed for one period; P_{t-2} ; is the average real rural price delayed two periods; Q_t ; is the amount (in thousands of tons) of peach demanded in Mexico; T ; is the time; IM ; refers to the amount (thousands of tons) of imported peach.

The annual *per capita* demand for peach was obtained from subtracting the supply from the exports and dividing the result by the population; the supply was defined by adding the national production plus the imports.

The information on the price and the national production of peach was obtained from the System of Agrifood and Fishing Information (*Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera*, SIAP, 2016). The data from the Mexican population was acquired through the National Population Council (CONAPO, 2016).

Brownian equation

$$r = \alpha + \Gamma(dt)$$

where α : is the continuous rate of average movement or the mean ($x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X)$) of the price, Γ is the standard deviation ($\sqrt{r^2}$) and dt is a random movement.

In this case, the mean will be understood as the trend that prices follow and the standard deviation is their volatility.

The continuous rate is

$$r = \ln \left(\frac{VP_{t+1}}{VP_t} \right)$$

where r : continuous rate; \ln : natural logarithm; VP_{t+1} : final valor; VP_t : initial value.

importancia de los coeficientes, así como la lógica, basada en la teoría económica.

Una vez obtenidos los valores de los parámetros, se procedió a validarlos de acuerdo con resultados teóricos.

Finalmente, los valores nominales se transformaron a valores reales con el índice nacional de precios al consumidor y productor, ambos, base 2015. El periodo de estudio comprendió desde 1980 hasta 2015.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo dinámico del mercado simple

Las regresiones lineales de la demanda del durazno (1) y la ecuación diferencial del precio (3) son:

$$P_t = 1.019 + 0.88P_{t-1}$$

$$Q_d = 250.40 - 7.6P_t$$

Se obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.80 y 0.72 para la ecuación diferencial del precio y la demanda respectivamente, lo que indica que las variables explicativas y la variable dependiente están estrechamente relacionadas. Los signos esperados de los coeficientes de las variables que conforman el modelo de las ecuaciones estudiadas concuerdan con la teoría económica.

El valor del precio de equilibrio (P_t^*) fue de 8.49 \$/kg.

La solución de las ecuaciones (6) y (7) para encontrar los valores de β y b fueron 242.90 y -6.47 , los cuales representan los coeficientes de la ecuación (2). Una vez obtenidos estos resultados, se calculó el valor de las cantidades de equilibrio de las ecuaciones de demanda (1) y la oferta (2), el resultado fue el siguiente:

$$Q_d = 250.40 - 7.36(8.49) = 187.91$$

$$Q_o = 242.90 - 6.4768(8.49) = 187.91$$

Finalmente, para saber si el proceso de formación del precio del mercado es estable, se ayuda de la ecuación (7):

$$\frac{b}{a} = \frac{-6.9768}{-7.36} = 0.92$$

The value of the parameters used in the equations was fixed with an econometric model of simple linear regression through ordinary least square (OLS) (Gujarati and Porter, 2010), with the statistical package Gretl and Microsoft Excel. With the aim of achieving satisfactory specifications of the model, and therefore accurate and reliable coefficients, statistical criteria were used to test their significance, such as the determination coefficient (R^2). The global significance of the coefficients of each equation was validated with the F test and of each coefficient with the Student-t test or the t-rate. When selecting the model, both the importance of the coefficients and the logic, based on economic theory, were considered.

Once the values of the parameters were obtained, they were validated according to theoretical results.

Finally, the nominal values are transformed into real values with the national price index to the consumer and the producer, both with base 2015. The study period covered from 1980 to 2015.

RESULTS AND DISCUSSION

The simple market dynamic model

The linear regressions of the peach demand (1) and the differential equation of the price (3) are:

$$P_t = 1.019 + 0.88P_{t-1}$$

$$Q_d = 250.40 - 7.6P_t$$

Determination coefficients (R^2) of 0.80 and 0.72 were obtained for the differential equation of the price and the supply, respectively, which indicates that the explicative variables and the dependent variable are closely related. The expected signs of the coefficients of the variables that make up the model of the equations studied agree with the economic theory.

The equilibrium price value (P_t^*) was 8.49 \$/kg.

The solution for equations (6) and (7) to find values of β and b were 242.90 and -6.47 , which represent the coefficients of the equation (2). Once these results were obtained, the value of the equilibrium amounts of the demand (1) and supply (2) equations was calculated, and the result was the following:

El resultado obtenido en esta investigación indica que el mercado del durazno está orientado hacia un comportamiento de convergencia, que muestra que el mercado es estable o el equilibrio es dinámicamente estable (Chiang y Wainwright, 2016), en el cual, el precio permanece constante.

La convergencia del mercado implica que cada alteración del estado de equilibrio, es decir, cada perturbación, se anula automáticamente y el proceso tiende al equilibrio. Esto es, el verdadero precio se moverá alrededor del precio de equilibrio en un rango cada vez mayor y finalmente se desviará al precio de equilibrio. Por lo tanto, permitir que el mercado se ajuste por sí sólo conducirá a que las variables que afectan al mercado se desvíen al equilibrio.

El resultado derivado se respalda del hecho de que si estos precios se aproximan o no a un nivel de equilibrio depende de las elasticidades relativas de las curvas de demanda y oferta. Si la decisión de oferta de los productores en el período t depende del precio de mercado que prevaleció en el período $t-1$; se distinguen tres posibilidades (Finkenstädt y Kuhbier, 1992). Primero, si la elasticidad de la demanda es mayor que la elasticidad de la oferta, los precios y las cantidades convergerán hacia un equilibrio. Por el contrario, una demanda relativamente inelástica que interactúa con una oferta bastante elástica hace que los precios oscilen explosivamente, y finalmente, la tercera eventualidad, es que la oferta y la demanda tengan las mismas elasticidades, lo que implica una oscilación sostenida del precio sobre el precio de equilibrio.

Analizando el primero de los casos, cuando la elasticidad de la demanda es mayor que la elasticidad de la oferta, obedece a que el producto tiene una amplia gama de productos sustitutos, razón por la cual el consumidor final puede elegir comprar entre un producto y otro. En el caso del durazno, los consumidores pueden sustituir diversas frutas como la manzana, el mango, la pera, entre otras, en lugar de comprar el durazno.

Examinado desde otro punto de vista, la convergencia del modelo se debe a que, si a medida que avanza en el tiempo, la desviación de P_2 tiende a ser cero, el mercado tiende al equilibrio, esto es porque la desviación del precio tiende a desaparecer (Brambila, 2011) y se llega al precio de equilibrio (Figura 2). Por el contrario, en caso de que la desviación P_2 tendiera a aumentar significaría que el mercado es divergente

$$Q_d = 250.40 - 7.36(8.49) = 187.91$$

$$Q_0 = 242.90 - 6.4768(8.49) = 187.91$$

Finally, to understand whether the formation process of the market price is stable, equation (7) is used:

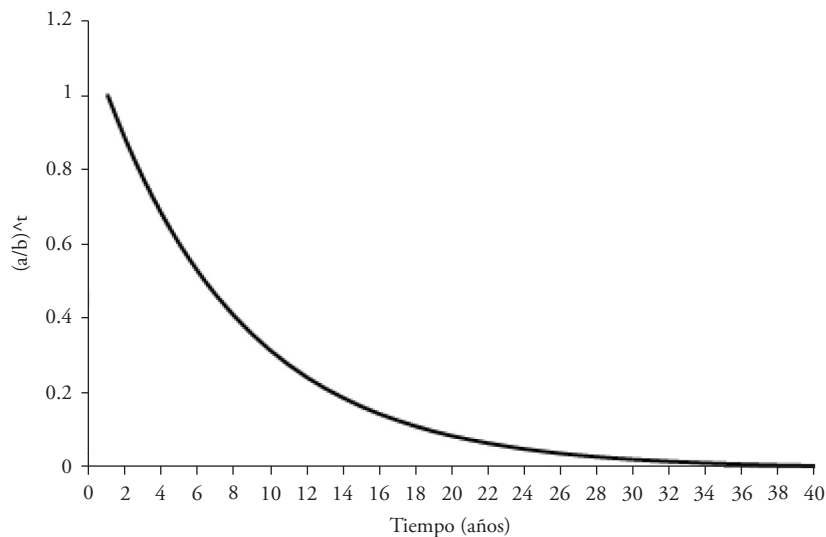
$$\frac{b}{a} = \frac{-6.9768}{-7.36} = 0.92$$

The result obtained in this study indicates that the peach market is directed towards a convergence behavior, which shows that the market is stable or the equilibrium is dynamically stable (Chiang and Wainwright, 2016), in which the price remains constant.

The market convergence implies that each alteration of the state of equilibrium, that is each disturbance, is annulled automatically and the process tends towards equilibrium. That is, the real price will move around the equilibrium price in an increasingly greater range and will finally divert towards the equilibrium price. Therefore, allowing for the market to adjust on its own will lead to the variables that affect the market diverting to the equilibrium.

The result derived is backed by the fact that if these prices approach a level of equilibrium or not will depend on the relative elasticities of demand and supply curves. If the supply decision of producers in the period t depends on the market price that prevailed in the period $t-1$; three possibilities are distinguished (Finkenstädt and Kuhbier, 1992). First, if the elasticity of demand is higher than the elasticity of supply, the prices and the amounts will converge towards equilibrium. On the contrary, a relatively inelastic demand that interacts with a rather elastic supply makes the prices oscillate explosively, and finally, the third eventuality is that the supply and the demand will have the same elasticities, which implies a sustained oscillation of the price on the equilibrium price.

Analyzing the first of the cases, when the elasticity of demand is higher than the elasticity of supply, it is because the product has a broad range of substitute products, reason why the final consumer can choose to purchase between one product and another. In the case of peach, consumers can substitute various fruits



Fuente: elaboración propia con información del modelo. ♦ Source: prepared by the authors with information from the model.

Figura 2. Convergencia del mercado de durazno en México.
Figure 2. Convergence of the peach market in Mexico.

o tiende al desequilibrio, es decir, hay periodos de excedentes y otros de escasez.

Como se ha mencionado anteriormente, en un mercado competitivo, el equilibrio se determina en el momento en que la oferta y la demanda son iguales. Sin embargo, estas condiciones de estabilidad no permanecen siempre (Gori, 2015); pueden existir fuerzas, o causas accidentales, como las llaman Dieci y Westerhoff (2010), por las que el sistema deja de estar en equilibrio. Por ejemplo, cuando los agricultores observan que el precio del durazno aumenta, entonces estos comenzarán a expandir su producción tal como lo predice el modelo dinámico estudiado. Sin embargo, cuando la oferta aumenta demasiado, el precio del fruto disminuirá de nuevo. En consecuencia, los productores abandonarán este mercado. Habría que considerar que este modelo no explora qué hacen los productores cuando su producción o precio es bajo. Quizá comiencen a sondear en otro mercado, por ejemplo, el mercado del aguacate.

Ecuación diferencial de segundo orden del precio del durazno

Los coeficientes obtenidos de la regresión mostraron los signos esperados. Aunque algunos de los parámetros no fueron estadísticamente significativos,

such as apple, mango, pear, among others, instead of purchasing peach.

Examined from another point of view, the convergence of the model happens because as time advances, the deviation of P_2 tends to be zero, the market tends to equilibrium, and this is because the price deviation tends to disappear (Brambila, 2011) and the equilibrium price is reached (Figure 2). On the contrary, in the case that the deviation P_2 tends to increase, it would mean that the market is divergent or tends towards imbalance; that is, there are periods of surplus and others of scarcity.

As has been mentioned before, in a competitive market, the equilibrium is determined the moment when the supply and the demand are equal. However, these conditions of stability do not always remain (Gori, 2015); there can be strengths or accidental causes, as Dieci and Westerhoff (2010) call them, which is why the system ceases to be in equilibrium. For example, when farmers observe that the peach price increases and then they begin to expand their production as the dynamic model studied predicts. However, when the supply increases too much, the price of the fruit will decrease again. As consequence, the producers will abandon this market. It should be considered that this model does not explore what the producers do when their production or the price is

se consideraron aceptables de acuerdo a la teoría económica. Se obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.92.

Con los valores obtenidos de la regresión se formó la siguiente ecuación:

$$P_t - 0.541189P_{t-1} - 0.0499P_{t-2} = 8.5158 - 0.004173Q_t - 0.03070IM - 0.1281T$$

La solución particular o de equilibrio quedó integrada de la siguiente manera

$$Y(1 - 0.541189 - 0.0499) = 8.5158 - 0.004178Q_t - 0.03070IM - 0.1281T$$

Los valores promedio de Q_t e IM se obtuvieron de la serie de datos, estos fueron $Q_t = 165.42$ e $IM = 19.87$, los cuales se sustituyeron en la ecuación anterior, y se obtuvo:

$$Y = 17.64 - 0.3132t$$

Posteriormente, se calculó la solución complementaria

$$P_t - 0.541189P_{t-1} - 0.0499P_{t-2} = 0$$

$$P^2 - 0.541189P - 0.0499 = 0$$

Por lo que:

$$b_1 = 0.6215$$

$$b_2 = -0.0803$$

Es importante mencionar que la función complementaria determina si el equilibrio es dinámicamente estable, esto es, la función complementaria va a tender a cero cuando t tienda al infinito. En este sentido, el valor de b es de suma importancia en este aspecto. La expresión de b genera un tipo diferente de trayectoria de tiempo, es decir, si $|b| > 1$ el sistema es divergente, cuando $|b| < 1$ refleja un sistema convergente.

En este caso, los valores que se obtuvieron de b indican que se trata de un sistema divergente al equilibrio, es decir, el precio oscilará en el precio de equilibrio de mercado.

Ahora bien, la solución total se resolvió de la siguiente manera

low. Perhaps they begin to probe in another market, for example, the avocado market.

Second order differential equation of the peach price

The coefficients obtained from the regression showed the expected signs. Although some of the parameters were not statistically significant, they are considered acceptable according to the economic theory. A coefficient of determination (R^2) of 0.92 was obtained.

With the values obtained from the regression, the following equation was formed:

$$P_t - 0.541189P_{t-1} - 0.0499P_{t-2} = 8.5158 - 0.004173Q_t - 0.03070IM - 0.1281T$$

The particular or equilibrium solution was integrated as follows:

$$Y(1 - 0.541189 - 0.0499) = 8.5158 - 0.004178Q_t - 0.03070IM - 0.1281T$$

The average values of Q_t and IM were obtained from the series of data; they were $Q_t = 165.42$ and $IM = 19.87$, which were substituted in the previous equation, and the following was obtained:

$$Y = 17.64 - 0.3132t$$

Then, the complementary solution was calculated:

$$P_t - 0.541189P_{t-1} - 0.0499P_{t-2} = 0$$

$$P^2 - 0.541189P - 0.0499 = 0$$

Thus:

$$b_1 = 0.6215$$

$$b_2 = -0.0803$$

It is important to mention that the complementary function determines whether the equilibrium is dynamically stable, that is, the complementary function will tend to zero when t tends to infinite. In this sense, the value of b is of utmost importance in this aspect. The expression of b generates a

$$Y_t = A_1(0.6215)^t + A_2(-0.0803)^t + 17.64 - 0.3132t$$

Nuevamente, se tomaron valores originales de la serie de datos para sustituirlos en las condiciones iniciales, en este caso, se trata del precio medio rural real de los años 1980 y 1981 estos son, $Y_0 = 24.28$ y $Y_0 = 22.82$, respectivamente.

De esta manera, se trabajó con la solución total o general

$$Y_t = A_1(0.6215)^t + A_2(-0.0803)^t + 17.64 - 0.3132t$$

$$Y_0 = 24.28 = A_1(0.6215)^0 + A_2(-0.0803)^0 + 17.64 - 0.3132(0)$$

Operando, se obtuvo

$$A_1 = 6.64 - A_2$$

Para encontrar el valor de A_2 :

$$Y_1 = 24.28 = (6.64 - A_2)(0.6215)^1 + A_2(-0.0803)^1 + 17.64 - 0.3132(1)$$

$$A_2 = -1.9465$$

Luego, se sustituyeron los valores de A_2 para encontrar el valor de A_1 , que nos dio el precio de equilibrio

$$A_1 = 6.64 - (-1.9465) = 8.58472$$

Finalmente, la solución general quedó definida

$$Y_t = 8.58472(0.6215)^t - 1.9465(-0.0803)^t + 17.64 - 0.3132(t)$$

Como lo muestra la ecuación anterior, el valor inicial de Y_t es el precio inicial de la serie (24.80 \$/kg). Se puede notar que este precio tiende a converger (Figura 3). Este comportamiento ya se había pronosticado con el valor de b .

El precio de equilibrio obtenido del modelo del mercado simple y ahora, el de la ecuación diferencial, son similares, 8.49 y 8.58 \$/kg respectivamente. Lo que demuestra que el precio de equilibrio en el corto y mediano plazo oscilará entre esas cantidades. Es necesario destacar que este valor de equilibrio se

different time trajectory, that is, if $|b| > 1$ the system is divergent, when $|b| < 1$ it reflects a convergent system.

In this case, the values of b that were obtained indicate that there is a system divergent from equilibrium, that is, the price oscillated in the market equilibrium price.

Having said that, the total solution was solved in the following way:

$$Y_t = A_1(0.6215)^t + A_2(-0.0803)^t + 17.64 - 0.3132t$$

Again, the original values from the series of data were taken to substitute them in the initial conditions; in this case, it is the average real rural price from the years 1980 and 1981 which are $Y_0 = 24.28$ and $Y_0 = 22.82$, respectively.

Thus, there was work with the total or general solution:

$$Y_t = A_1(0.6215)^t + A_2(-0.0803)^t + 17.64 - 0.3132t$$

$$Y_0 = 24.28 = A_1(0.6215)^0 + A_2(-0.0803)^0 + 17.64 - 0.3132(0)$$

Operating, the following was obtained:

$$A_1 = 6.64 - A_2$$

To find the value of A_2 :

$$Y_1 = 24.28 = (6.64 - A_2)(0.6215)^1 + A_2(-0.0803)^1 + 17.64 - 0.3132(1)$$

$$A_2 = -1.9465$$

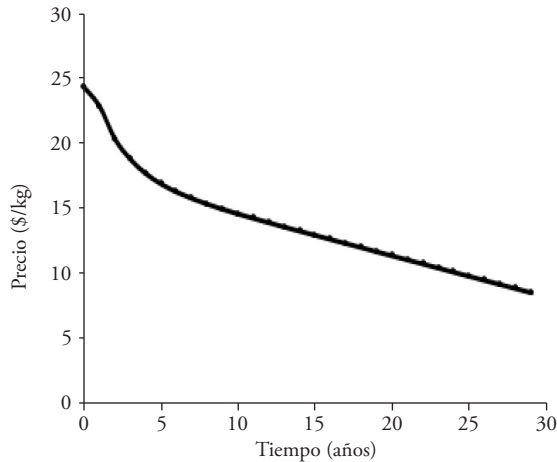
Then, the values of A_2 were substituted to find the value of A_1 , which resulted in the equilibrium price:

$$A_1 = 6.64 - (-1.9465) = 8.58472$$

Finally, the general solution was defined:

$$Y_t = 8.58472(0.6215)^t - 1.9465(-0.0803)^t + 17.64 - 0.3132(t)$$

As the prior equation shows, the initial value of Y_t is the initial price of the series (24.80 \$/kg). It can be noted that this price tends to converge (Figure 3).



Fuente: elaboración propia con los resultados obtenidos de la ecuación general. ♦ Source: prepared by the authors with the results obtained from the general equation.

Figura 3. Comportamiento del precio medio rural del durazno.
Figure 3. Behavior of the average rural price of peach.

encuentra por debajo del precio de mercado presentado en los años anteriores, el cual, en promedio ha sido de 9.54 \$/kg en los últimos 10 años. Por lo que existe evidencia para corroborar que el precio medio rural del durazno continuará desplazándose a la baja (Figura 3).

Ecuación browniana

Los valores obtenidos de la ecuación browniana son

$$r = -0.0107 + 0.1583 dt$$

Lo anterior indica que la tendencia de los precios reales del durazno presenta una propensión negativa, o bien, que los precios tienden a la baja. En lo que respecta a la volatilidad (desviación estándar entre la media) se aprecia que esta es de -14.76 .

Este porcentaje podría deberse a que las series temporales de los precios de los productos agrícolas perecederos y no almacenables están sujetas a fluctuaciones de corto y largo plazo (Gori *et al.*, 2015). Esto es consecuencia, por ejemplo, de que los agricultores no pueden ajustar su producción inmediatamente cuando los precios sufren alteraciones repentinas, a la creciente demanda de alimentos, al clima, al tipo de cambio, las cantidades de exportación e importación, los precios de la energía (Su *et al.*, 2014) entre otros.

This behavior had already been predicted with the value of b .

The equilibrium price obtained from the simple market model, and now the differential equation, are similar: 8.49 and 8.58 \$/kg respectively. This shows that the equilibrium price in the short and medium term will oscillate between these amounts. It is necessary to highlight that this equilibrium value will be under the market price presented in the previous years, which on average has been 9.54 \$/kg in the last 10 years. Therefore, there is evidence to corroborate the average rural price of peach will continue to move on the decline (Figure 3).

Brownian equation

The values obtained from the Brownian equation are:

$$r = -0.0107 + 0.1583 dt$$

This indicates that the trend of the real prices of peach presents a negative propensity, or else, that the prices tend to decrease. Concerning the volatility (standard deviation divided by the mean), it can be seen that it is -14.76 .

This percentage could be because the temporal series of the prices of perishable and non-storable agricultural products are subject to fluctuations in the short and long term (Gori *et al.*, 2015). This is consequence, for example, of the farmers not being able to adjust their production immediately when prices suffer sudden alterations, of the growing demand for foods, the climate, the exchange rate, the amounts of exports and imports, and the energy prices (Su *et al.*, 2014), among others.

Finally, the producer could think that because of the great volatility that prices experience, these will tend to increase in a coming period of time. However, the evidence shows that the trend is on the decline. This is why if they continue with the same production and commercialization practices, they will hardly be able to compete for a more equitable and reasonable price. Facing this situation, it is possible to propose several alternatives, such as converting the conventional production system to organic, and using the byproducts and residues generated in the production and trading of the fruit (Ortiz-Rivera *et al.*, 2020); however, considering these new forms of

Finalmente, el productor podría pensar que debido a la gran volatilidad que experimentan los precios, estos tenderían a subir en un próximo periodo de tiempo. No obstante, las evidencias demuestran que la tendencia es a la baja. Por lo que si continúan con las mismas prácticas de producción y comercialización difícilmente podrán competir por un precio más equitativo y razonable. Ante esta situación, es posible proponer varias alternativas, como son, convertir el sistema de producción convencional a orgánico y aprovechar los subproductos y residuos originados en la producción y mercadeo de la fruta (Ortiz-Rivera *et al.*, 2020), sin embargo, considerar estas nuevas formas de producción y comercialización implica adoptar nuevos modelos, patrones y prácticas productivas que requieren de un mediano y largo periodo de tiempo para implantarse.

CONCLUSIONES

El precio de durazno convergió al precio de equilibrio, lo que indica que será constante pero bajo en relación con los años pasados; la alta volatilidad que presentaron los precios podría hacer pensar al productor que estos van a aumentar, sin embargo, la tendencia fue a la baja. Así que, es de esperarse que el precio recibido por los agricultores no aumente en los últimos años.

LITERATURA CITADA

Brambila, P. J. J. 2011. Bioeconomía: Instrumentos para su análisis económico. SAGARPA-COLPOS, México. 312 p.

Chiang, Alpha y Wainwright Kevin. 2006. Métodos Fundamentales de Economía Matemática. México: McGraw-Hill. 708 p.

CONAPO (Consejo Nacional de Población). *In*: http://www.conapo.gob.mx/ES/CONAPO/Mexico_en_cifras. Consultado el 23 de noviembre de 2016.

Dieci, R., and Westerhoff F. 2010. Interacting cobweb markets. *Journal of Economic Behavior and Organization* 3: 461-481.

Ezekiel, M. 1938. The cobweb theorem. *Q. J. Econ.* 52: 255-280.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2016. Consultado el 27 de noviembre de 2016. *In*: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>

Finkenstädt, B., and Kuhbier P. 1992. Chaotic dynamics in agricultural markets. *Annals Of Operations Research* 37: 73-96.

Fu M., Xia J., Fan X., Tian L., and Wang M. 2015. New non-equilibrium cobweb dynamical evolution model and its application. *Economic Modelling* 51: 544-550.

Gallas, J. A. C., and Nusse H. E. 1996. Periodicity versus chaos

production and commercialization implies adopting new productive models, patterns and practices that require a medium and long period of time to be implemented.

CONCLUSIONS

The price of peach converged to the equilibrium price, which indicates that it will be constant although low in relation to past years; the high volatility that the prices presented could make the producer think that they will increase, although the trend was on the decline. Therefore, it is to be expected that the price received by the farmers will not have increased in recent years.

—End of the English version—



in the dynamics of cobweb models. *J. Econ. Behav. Organ.* 29: 447-464.

Gandolfo, G. 2010. *Economic Dynamics*. 4th Edition. Springer, Berlin. 829 p.

Gori, L., Guerrini L., and Sodini M. 2015. Equilibrium and Disequilibrium Dynamics in Cobweb Models with Time Delays. *International Journal of Bifurcation and Chaos* 25(6): 1-14.

Gujarati, Damodar, y Porter Dawn. 2010. *Econometría*. McGraw-Hill Interamericana. 944 p.

Kaldor, N. 1934. A classificatory note on the determination of equilibrium. *Rev. Econ. Stud.* 1: 122-136.

Lange, Oskar. 1969. *Introducción a la economía cibernética*. México: Siglo XXI. 192 p.

Mitra, S., and Boussard J. 2012. A simple model of endogenous agricultural commodity price fluctuations with storage. *Agric. Econ* 43: 1-15.

Ortiz-Rivera, M. I., Brambila-Paz J. D. J., Barrera-Islas D., Arjona-Suárez E. D. J., Torres-Hernández G., López-Reyna M. del Carmen, and Hernández-Martínez J. 2020. Opciones técnicas y económicas para mejorar el ingreso de los productores de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] en el Estado de México. *Agrociencia*, 54(2), 279-293.

Sánchez, B., Zegbe J., Espinoza A., y Rumayor R. 2012. Producción y comercialización del durazno criollo de Zacatecas. Folleto Técnico No. 43. *In*: <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/proComDurCriollo.pdf>

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). *In*: www.siap.gob.mx. Consultado el 15 de diciembre de 2016.

Su, X., Wang Yi., Duan S., and Ma Junhai. 2014. Detecting Chaos from Agricultural Product Price Time Series. *Entropy* 16(12): 6415-6433.

Zhou, Y. 2009. The construction of cobweb model on China's estate market. *J. Shaoyang Univ. Soc. Sci. Ed.* 8: 62-63.