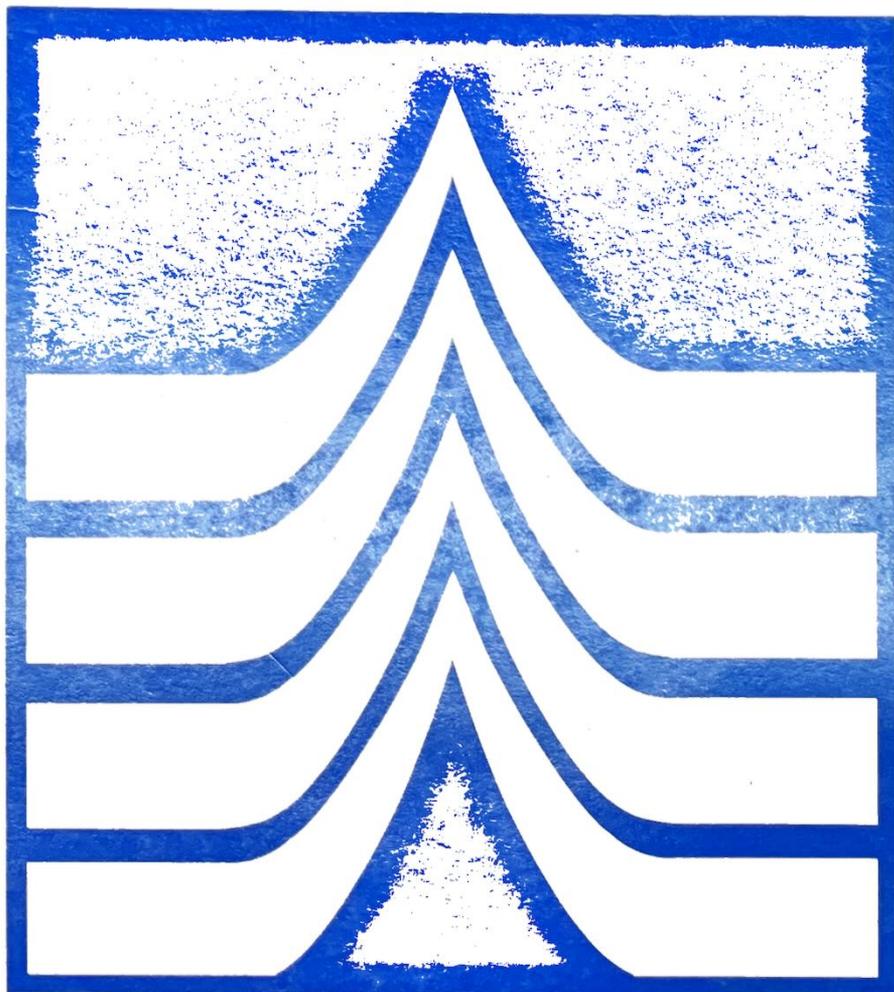


IICA
SPCDT-
2001-11



LA VOLATILIDAD DE LOS PRECIOS Y EL MECANISMO DE FIJACIÓN DE GARANTÍAS EN TRANSACCIONES EN BOLSAS DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS



Eliécer E. Vargas Ortega • Joaquín Arias Segura • Luis José Lizarazo Murillo • Oswaldo Segura Ruiz



CONSORCIO TÉCNICO
ÁREA DE POLÍTICAS Y COMERCIO
SERIE DOCUMENTOS TÉCNICOS



IICA



LA VOLATILIDAD DE LOS PRECIOS Y EL MECANISMO DE FIJACIÓN DE GARANTÍAS EN TRANSACCIONES EN BOLSAS DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS

Eliécer E. Vargas Ortega

Joaquín Arias Segura

Luis José Lizarazo Murillo

Oswaldo Segura Ruiz

11

CONSORCIO TÉCNICO
ÁREA DE POLÍTICAS Y COMERCIO
SERIE DOCUMENTOS TÉCNICOS

IICA
SPC DT no. 2001-11

© Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
Octubre, 2001.

Derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento
sin autorización escrita del IICA.

Las ideas y los planteamientos contenidos en los artículos firmados son propios
de los autores y no representan necesariamente el criterio del IICA.

La volatilidad de los precios y el mecanismo de fijación de garantías
en transacciones en bolsas de productos agropecuarios / Eliécer E.
Vargas Ortega...[et al.]. - San José, C.R. : IICA, 2001.

81 p. ; 23 cm. - (Serie de Políticas y Comercio. Documentos
Técnicos / IICA, ISSN 1607-1972; no. A1/SC-2001-03; no. 11)

ISBN 92-9039-517 6

1. Precios. 2. Juntas de comercialización. 3. Bolsas. 4. Produc-
tos agrícolas. I. Arias Segura, Joaquín. II. Lizarazo Murillo,
Luis José. III. Segura Ruiz, Oswaldo. IV. IICA. V. Título. VI.
Serie.

AGRIS
E70

DEWEY
338.18

Bv 11674

Octubre, 2001
San José, Costa Rica



4. Modelo prototipo de proyección de precios y fijación de garantías para transacciones en bolsas de productos agropecuarios	41
4.1. Instalación del programa	41
4.2. Paso 1: ver y modificar el archivo de datos (figura 4.1)	42
4.3. Paso 2: elegir las variables	43
4.4. Paso 3: hacer la prueba de estacionariedad	43
4.5. Paso 4: probar si existe cointegración	45
4.6. Paso 5: seleccionar el modelo (figura 4.4)	49
4.7. Paso 6: escoger el número de rezagos	49
4.8. Paso 7: realizar las proyecciones (figura 4.5)	52
4.9. Paso 8: calcular las garantías (figura 4.6)	53
5. Comentarios finales	55
Referencias	57
Anexo 1. Figuras	61
Anexo 2. Cuadros	66
Anexo 3. Programas de cómputo (Shazam®)	76
Programa 1: función de autocorrelación	76
Programa 2: transformación de series	77
Programa 3: período máximo de rezago	78
Programa 4: estimación del modelo y pronóstico	79
Anexo 4. Transformación de variables	80

PRESENTACIÓN

Esta publicación es parte de la serie de documentos técnicos elaborados por el Área de Políticas y Comercio del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), en su línea de trabajo de Políticas e Instrumentos de Modernización Institucional de Mercados Agropecuarios.

Las actividades de cooperación técnica que el IICA ha desarrollado con las bolsas de productos de Latinoamérica le han permitido constatar que el problema del cálculo y utilización de garantías, como una herramienta para la disminución del riesgo en las operaciones bursátiles de físicos, es de especial interés e importancia para los distintos usuarios de las bolsas, tales como clientes, corredores y las propias gerencias administrativas o financieras.

Con el afán de subsanar esta necesidad técnica, se elaboró este documento. En él se presenta una metodología de bandas de precios y fijación de garantías, la cual permite disminuir los riesgos en las transacciones bursátiles, especialmente en las de productos perecederos, no almacenables y de muy baja o ninguna estacionalidad.

Como complemento, se adjunta un disquete electrónico, que contiene el "Modelo Prototipo de Proyección de Precios y Fijación de Garantías para Transacciones en Bolsas de Productos Agropecuarios", cuya descripción econométrica aparece en el cuarto capítulo del documento.

En el Séptimo Encuentro de la Asociación Panamericana de Bolsas de Productos (APBP), celebrado en la isla de San Andrés, Colombia, del 15 al 18 de febrero del 2000, fue presentada una versión preliminar de este trabajo, la que aparece en la memoria de dicha actividad.

Esperamos que el conocimiento y la aplicación de estas técnicas conlleven el perfeccionamiento de los mercados y de los instrumentos para la comercialización de los productos agropecuarios de los países americanos.

Rodolfo Quirós Guardia
Director, Área de Políticas
y Comercio, IICA

INTRODUCCIÓN

Las bolsas de productos agropecuarios se constituyeron con la premisa de ser mecanismos institucionales capaces de suministrar a vendedores y compradores un marco legal, seguro y transparente para sus operaciones comerciales. Con este fin, se han elaborado manuales de operaciones en que se detallan las disposiciones, las normas y los procedimientos que rigen las operaciones comerciales dentro de una bolsa. Existen dos normas o disposiciones comunes a todas las bolsas latinoamericanas de productos. Una es la imposición de límites o bandas (rangos) para la fluctuación de los precios de los productos negociables. La otra es el cobro de las garantías constituidas cada vez que se realiza una operación de corretaje en la bolsa.

Ambas prácticas tienen como objetivo reducir o eliminar el riesgo en las operaciones comerciales, aunque cada una está relacionada con un tipo diferente de riesgo. La primera, imponer bandas para las cotizaciones, restringe el riesgo por la oscilación del precio. Así, la bolsa intenta limitar la amplitud de las oscilaciones diarias de precio que puedan resultar de la inherente volatilidad de los precios y/o de la ejecución de prácticas poco competitivas, como sería, por ejemplo, un intento por monopolizar las transacciones del día. La segunda práctica, constituir garantías, intenta reducir el riesgo de "contraparte", entendiéndose este como el riesgo de que el cliente titular de una operación no la honre por diversos motivos, por ejemplo porque cayó en bancarrota. Formalmente, la garantía es el mecanismo a través del cual se asegura el cumplimiento de las operaciones de mercado realizadas en una bolsa.

Aunque la aplicación de estas normas o disposiciones está bien extendida en todas las bolsas latinoamericanas de productos, es evidente que existe cierta diversidad de criterio respecto de cuál debe ser el mecanismo base para calcular el monto de las garantías de cumplimiento. Por ejemplo, se exigen garantías de cumplimiento por variación de precios con base en un rango o diferencial de precio a través del tiempo; sin embargo, la forma de determinar ese rango requiere más elaboración.

Por otra parte, recientemente se ha argumentado que productos perecederos (frutas y hortalizas), no almacenables y de muy baja o ninguna estacionalidad requerirán un nuevo método para la fijación de garantías

y bandas de precios, antes de poder participar en un sistema de bolsa. En este sentido, se argumenta que un análisis de la volatilidad de los precios podría orientar a los productores y compradores a pronosticar precios con un grado de seguridad que les permita y motive a realizar contratos de entrega a plazo por medio del sistema de bolsa.

Los beneficiarios finales de estos nuevos métodos para el análisis de la volatilidad y la estimación de garantías por variación de precios serán los participantes de bolsa. Así, cuando el productor, industrial u otro cliente llega a un puesto de bolsa, ya lleva una estrategia concebida previamente para su intervención o participación en la bolsa (venderá y comprará de acuerdo con su preconcebido comportamiento del mercado). Sin embargo, cualquier información de pronóstico de precios que los puestos de bolsa puedan brindarle será usada para depurar su estrategia. Claro está, ambas partes se benefician: el cliente dispondrá de una mejor estrategia y el puesto de bolsa de un cliente satisfecho.

OBJETIVOS

El propósito de este estudio es elaborar y poner a prueba métodos para el análisis de series de precios y para el cálculo del monto de garantías de cumplimiento por variaciones de precios en contratos agrícolas.

Los objetivos específicos son:

- Elaborar un método de análisis de series de precios, que permita pronosticar el precio de un producto.
- Elaborar un método de análisis de la volatilidad del precio, que posibilite pronosticar el rango de variación del pronóstico de precios.
- Proponer, con base en el pronóstico y el rango de variación esperada del precio, un mecanismo para el cálculo de garantías.
- Elaborar un programa de cómputo prototipo para el pronóstico de precios y el cálculo automático de garantías.

El estudio se divide en cinco secciones. En la primera, se proveen antecedentes importantes sobre la forma en que actualmente se determinan la garantía y la banda de precio. En la segunda, se presenta la propuesta metodológica para el pronóstico de precios y el análisis de la volatilidad; para ello se consideran las características teóricas y estadísticas de la propuesta metodológica. En la tercera, se realizan ejercicios prácticos de simulación, que sirven para probar y validar la metodología recomendada, explorando la aplicabilidad de esta en los puestos de bolsa y analizando cómo podría ayudarles a ofrecer un mejor asesoramiento a sus clientes. En la cuarta sección se explica, paso a paso, el programa desarrollado para el cálculo automático de garantías. //

Finalmente, se concluye sobre las fortalezas y limitaciones de la propuesta metodológica y se hacen recomendaciones para su aplicación y puesta en práctica.

1. ANTECEDENTES

A continuación se explican, en forma breve, los mecanismos usados actualmente para fijar el monto de las garantías de cumplimiento por variación de precios y las bandas de fluctuación de precios.

1.1. Fijación de Garantías

Al inscribir ante una bolsa de físicos un contrato de entrega futura, se requiere un depósito (o garantía) inicial o margen inicial y un depósito (o garantía) de mantenimiento. Actualmente las garantías se basan en un cálculo del rango de variación con respecto al precio de apertura. La cuantía de estos márgenes varía según los mercados y los tipos de contrato; normalmente suele estar entre un 10 y un 30 por ciento. El dinero procedente del comprador y el vendedor se abona a una cuenta a nombre de la bolsa o cámara de liquidación, denominada cuenta de garantía. Cada día se van ajustando las posiciones del comprador y el vendedor en sus respectivas cuentas, según los movimientos de los precios en el mercado, de modo que se mantenga siempre el mínimo margen requerido y se asegure así el buen fin de la operación. Esto es una llamada para reponer la garantía (*margin call*). Por ejemplo, si el precio sube, se le abonará al comprador la diferencia entre el precio de hoy y el de ayer. Esa misma cantidad se descargará de la cuenta de garantía del vendedor. El resultado final es que, a la liquidación del contrato, si el vendedor no cumple con la entrega del producto, la bolsa o cámara habrá acumulado, en sucesivas reposiciones, precisamente la cantidad necesaria para que el comprador pueda comprar, al nuevo precio del mercado, el producto objeto del contrato.

La garantía que se deposita al principio puede ser refrendada en títulos de renta fija o dinero. Sin embargo, la garantía de mantenimiento que se ha de reponer debe ser siempre en efectivo; esto supone que la garantía tiene un coste de oportunidad, por cuanto se pueden seguir ganando intereses por el dinero depositado como garantía. De este modo, el depósito de garantía, junto con el sistema de liquidación diaria descrito, sirve para eliminar completamente el riesgo de variación de precios para las dos contrapartes de cada contrato.

Al igual que en el caso de la entrega futura o la entrega a plazos, todos los contratos de opciones de físicos se liquidan a través de una institución liquidadora. Sin embargo, en el caso de las opciones sólo se requiere un depósito de garantía al vendedor de la opción, que es el único que está expuesto al riesgo. El vendedor de la opción deposita un margen inicial y tiene que ir reponiendo fondos (margen de mantenimiento) cada vez que las diferencias de precios están en su contra. Por su parte, el comprador de la opción paga la prima o el precio de opción y se compromete a entregar y/o recibir el producto objeto del contrato.

1.2. *Bandas de Precios*

Por su parte, en los contratos para entrega futura, en los cuales la modalidad elegida para fijar el precio es la de una banda de precios seleccionada arbitrariamente como porcentajes fijos sobre el precio de cierre del día anterior, las garantías por variación de precios se establecen para el vendedor a partir del precio tope de la banda y para el comprador a partir del precio base de la banda. Las variaciones de los precios son certificadas por un comité de precios establecido de conformidad con los reglamentos internos de cada bolsa. Tradicionalmente, los aspectos que se deben considerar en una fijación de garantía son:

- a) Las indemnizaciones por daños y perjuicios ocasionados por un incumplimiento.
- b) Los valores de las comisiones y del servicio de registro.
- c) La diferencia entre los precios, la cual se determina entre el precio fijado en la negociación y el que corresponda en la fecha en que se declare el incumplimiento.

Finalmente, el único responsable ante la bolsa por el cumplimiento de las obligaciones contraídas en el desarrollo de contratos de comisión es el miembro de la bolsa (puesto de bolsa). Sin embargo, los puestos de bolsa están autorizados a exigir a sus clientes (mandantes) garantías por el mismo monto que el que la bolsa les exige para registrar sus operaciones.

2. PROPUESTA METODOLÓGICA

Esta propuesta metodológica ha sido estructurada en una secuencia de tres pasos, los que se describen a continuación. Primeramente, se plantea el uso de un método de pronóstico de precios, que utiliza la información disponible en las series de tiempo de los precios y otras variables económicas para estimar precios en el futuro. Seguidamente, se plantea el uso de una metodología de análisis de la volatilidad del precio, la cual permite estimar un rango o una banda de variación del precio pronosticado. Finalmente, se recomienda un mecanismo para la estimación de garantías, el cual aprovecha al máximo la información obtenida sobre el pronóstico del precio y el rango de variación de este.

2.1. *Método de Pronóstico de Precios (MPP)*

En esta sección primero se presenta una justificación teórica del MPP, en la que se revisan posibles alternativas metodológicas para el pronóstico de los precios. Luego se incluye una descripción técnico-estadística, la cual podría ser omitida por aquellos lectores no interesados en los detalles estadísticos y econométricos del MPP. Por último, se provee una descripción práctica de cómo se implementaría el MPP.

2.1.1. **MPP: justificación teórica**

Los modelos econométricos y los de series de tiempo son dos métodos extensamente empleados para realizar pronósticos de precios. Los modelos econométricos usan la teoría económica para explicar y estimar el comportamiento futuro de los precios. Por ello, utilizan variables relacionadas en causa y efecto. Estos modelos, también llamados modelos estructurales, relacionan la variable precio con otras variables, tales como oferta, cambio de inventarios, tasa de interés y capacidad de almacenamiento. De esta manera, la estructura del modelo será dictada por el conocimiento económico que se tenga de los factores que determinan el precio.

Los modelos de series de tiempo, por su parte, predicen el precio futuro usando exclusivamente la información que proviene de las cotizaciones previas de los contratos. Es decir, en estos modelos se postula que el comportamiento futuro de los precios puede ser extraído (inferido) del

comportamiento pasado del precio. El uso de estos modelos ha encontrado gran aceptación, cuando no se posee suficiente información de variables económicas determinantes de los modelos estructurales o cuando el costo del pronóstico y la recolección de datos para un modelo estructural es elevado.

Una tercera alternativa para el pronóstico de precios son los modelos que combinan modelos estructurales y modelos de series de tiempo. Específicamente, un modelo de vectores autorregresivos (VAR, por sus siglas en inglés) tiene la ventaja de combinar ambos criterios: la teoría económica y la sencillez de los modelos de series de tiempo.

Ahora bien, ¿cuál sería el mejor sistema de pronóstico de precios para las bolsas de productos? Sería aquel que considere todos los criterios técnicos requeridos para escoger un modelo de pronóstico de precios. Entre esos criterios, dos resaltan por su importancia: a) la disponibilidad de información exacta (fidedigna) sobre variables importantes, tales como precios, oferta, inventario, demanda, precio de productos complementarios y sustitutos, y costos de almacenamiento; y b) disponibilidad de los programas de cómputo requeridos y del personal capacitado para implementar el MPP. Por todo lo expuesto, se debe seleccionar un método que tenga las siguientes características: a) fácil de ejecutar, b) sencillo de actualizar, c) requerimiento de poca cantidad de información/datos, d) fácil de adaptar a las circunstancias e información disponible en cada país, y e) con fundamento en la teoría económica.

La propuesta del MPP incorpora variables económicas que influyen en la formación del precio, al igual que incorpora la información de precios pasados. Por ende, es en espíritu un modelo VAR. El MPP intenta estimar el precio futuro de un producto, usando las variables económicas históricas relacionadas con el precio y los valores rezagados de la variable precio. Las variables económicas que se incluyen en la estimación dependerán de la información disponible en cada país.

2.1.2. MPP: especificación técnica

El MPP podría ser descrito estadísticamente como un modelo VAR. Como tal, es un modelo de predicción constituido por un vector de variables con rezago. Así, un vector de variables dependientes, y_t , es función de valores pasados de las mismas variables del vector, y_{t-p} , donde t es el período (día, semana, mes, año) y p es el período de rezago.

Los modelos VAR se han convertido en una buena alternativa a los modelos estructurales y de series de tiempo, que han sido, hasta hoy día, los más populares para realizar pronósticos de precios. Contrario a los modelos estructurales, los modelos VAR imponen restricciones mínimas de la teoría económica, aun cuando mantienen el potencial estadístico de los modelos de series de tiempo.

Para plantear el MPP solo se necesita definir: i) el conjunto de variables endógenas M que se cree interactúan y que, por ello, deberían ser incluidas como parte del sistema económico que se modela, y ii) el período máximo de rezago p que se considere captura el efecto que las variables tienen entre sí.

El MPP se presenta en forma matricial en la ecuación (1):

$$y_t = \delta + \Theta_1 y_{t-1} + \Theta_2 y_{t-2} + \dots + \Theta_p y_{t-p} + v_t \quad (1)$$

donde y_t es un vector $M \times 1$ de variables aleatorias, δ es el vector de medias², Θ_i son matrices $M \times M$ de parámetros relacionados al período de rezago " p ", y v es un vector de errores aleatorios. Esta presentación matricial se reduce a la siguiente expresión para el caso de dos variables dependientes y un único período de rezago ($p=1$):

$$y_t = \delta + \Theta y_{t-1} + v_t \quad (2)$$

donde

$$y_t = \begin{bmatrix} y_{t1} \\ y_{t2} \end{bmatrix} \quad \delta = \begin{bmatrix} \delta_{11} \\ \delta_{22} \end{bmatrix} \quad \Theta = \begin{bmatrix} \delta_{12} & \delta_{13} \\ \delta_{22} & \delta_{23} \end{bmatrix} \quad v_t = \begin{bmatrix} e_{11} \\ e_{12} \end{bmatrix}$$

y t se refiere a tiempo.

Se asume que la ecuación (1) no presenta autocorrelación entre los errores de cada ecuación; por lo tanto, los modelos tipo VAR son estimados usando mínimos cuadrados ordinarios (OLS, para la mayoría de programas estadísticos). La matriz de covarianzas, Σ_v , se calcula como el promedio de los cuadrados o el producto cruzado de los términos de error. Cada elemento de la matriz de covarianzas es dado por la expresión:

2 Refiérase a Green (p. 551), para la prueba respectiva.

$$\hat{\sigma}_{ij} = \frac{(y^i - X\hat{\theta}_i)(y^j - X\hat{\theta}_j)}{T - Mp - 1} \quad (3)$$

donde el denominador es igual al tamaño de la muestra (T) menos el número de parámetros que se han de estimar en cada ecuación ($Mp+1$).

Para poder usar el MPP, estadísticamente se deben garantizar los siguientes requisitos. Primero, que el error tenga una media de cero y que no exista correlación entre las series de tiempo. Segundo, la serie de tiempo debe tener varianza constante, sin tendencia, y no poseer patrón estacional; o sea la serie debe ser estacionaria. Para asegurar que una serie sea estacionaria, algunas veces será necesaria su transformación. Para verificar la estacionariedad se utiliza el método de "raíz unitaria", mediante la prueba de Dickey Fuller (DF).

Una serie de tiempo (y_t) se puede expresar de la siguiente forma:

$$y_t = \beta + \alpha y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Es decir, se calcula la regresión de la serie Y en el tiempo t sobre su valor en el pasado ($t-1$), donde ε_t es un término de error que se supone que se comporta normalmente. La serie es estacionaria si $-1 < \alpha < 1$ y es no estacionaria si $\alpha \geq 1$. Si el valor absoluto de la serie es mayor a uno, sería explosiva, lo cual no tiene mucho sentido en términos económicos. Por lo tanto, para realizar la prueba se declara como hipótesis nula la existencia de una raíz unitaria, (H_0) $\alpha=1$, y como hipótesis alternativa (H_1) $\alpha < 1$ (Gujarati).

Muchas veces, sin embargo, en las series de tiempo existe autocorrelación, violándose el supuesto de que el término de error es solamente ruido blanco, para lo cual se usa la prueba ADF (*Augmented Dickey Fuller Test*) en lugar de la prueba DF. Esta sustitución busca contrarrestar la autocorrelación, mediante la agregación de términos en diferencia rezagados, transformando la ecuación 1 de la siguiente manera:

$$\Delta y_t = \beta + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 \Delta y_{t-1} + \dots + \alpha_{n-1} \Delta y_{t-n+1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

En esta representación las hipótesis nula y alternativa se transforman en $H_0: \alpha_1=0$ y $H_1: \alpha_1 < 0$, respectivamente (Gujarati).

Para realizar la prueba de hipótesis se obtiene la t estadística (llamada ADF estadístico) de α_1 , que se supone tiene una distribución t de student convencional. El ADF estadístico se compara con los valores críticos, los cuales fueron tabulados por Mackinnon³. Si el valor absoluto del ADF resulta menor que el valor crítico reportado, no se puede rechazar la hipótesis nula y se concluye que la serie es no estacionaria y, por lo tanto, se recomienda trabajar en diferencias, como se muestra en las ecuaciones 7a y 7b (Gujarati). Si las series son no estacionarias, se debe determinar si hay cointegración entre ellas, como se verá más adelante.

Algunas veces se puede utilizar la función de autocorrelación muestral para determinar si una serie de datos es estacionaria o si no lo es. Esta función se define como:

$$\hat{\rho}_k = \frac{\sum_{i=1}^{T-k} (y_i - \bar{y})(y_{i+k} - \bar{y})}{\sum_{i=1}^T (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

que es el radio de la covarianza entre y_t y y_{t+k} la varianza de la serie. Si el gráfico de la función de autocorrelación decae rápidamente conforme aumenta el número de períodos de rezago, k , entonces se está en presencia de una serie estacionaria.

Esta función de autocorrelación puede ser útil para identificar la estacionalidad de la serie. Si la serie de tiempo es de periodicidad mensual (precios promedios del mes) y se cree que existe un ciclo anual, entonces la función de autocorrelación debería mostrar una correlación positiva y alta (en forma de picos en el gráfico) entre y_t y y_{t+12} . También se debería ver la correlación con y_{24} , y_{36} , ..., por lo que el gráfico presentaría picos en $k = 12, 24, 36, 48$, etc.

3 Estos valores críticos (VC) se obtienen con los siguientes coeficientes (m es el número de observaciones):

1% de significancia: VC = $-3.4335 - 5.999*(1/m) - 29.28*((1/m)^2)$

5% de significancia: VC = $-2.8621 - 2.738*(1/m) - 8.36*((1/m)^2)$

10% de significancia: VC = $-2.5671 - 1.438*(1/m) - 4.48*((1/m)^2)$

Los coeficientes se obtuvieron mediante diversas simulaciones con diferentes tamaños de rangos y distintos grados de confianza.

Finalmente, si se comprueba que no hay estacionariedad, será necesario realizar una o más diferenciaciones, es decir, transformar la serie de la siguiente manera:

$$\text{Primera diferencia: } w_t = y_t - y_{t-1} = \Delta y_t \quad (7a)$$

$$\text{Segunda diferencia: } w_t = \Delta y_t - \Delta y_{t-1} = \Delta^2 y_t \quad (7b)$$

Sucesivamente se procede de esta manera hasta lograr que la nueva serie, w_t , sea estacionaria.

Si una serie es *no estacionaria*, pero su primera diferencia sí lo es, se dice que es una serie integrada de orden uno y se denota I(1); si es hasta la segunda diferencia en que la serie se convierte en estacionaria es I(2), y así de forma sucesiva. Una serie estacionaria es I(0). Este orden de integración, que es el número de raíces unitarias que contiene la serie, se utiliza para probar si existe cointegración.

Si las series resultan ser no estacionarias y presentan el mismo orden de integración, se procede a realizar una prueba de cointegración. Es posible que las variables independientemente sigan una ruta aleatoria, pero una relación lineal entre ellas tiene un comportamiento estacionario, lo que indica que estas variables están cointegradas o que tienen una misma longitud de onda. Esta relación de cointegración se puede interpretar como una relación de equilibrio de largo plazo. Esta presencia de cointegración puede afectar las estimaciones, lo que obliga a incorporar algunas modificaciones al modelo y así mejorar los pronósticos (Gujarati), que es nuestro objetivo primordial.

Para identificar la cointegración, se utiliza el método desarrollado por Johansen y Julius (Yeo). Si y_t es un vector de k variables no estacionarias I(1) y existe una matriz β con r vectores linealmente independientes, tal que $\beta'y_t$ es I(0), entonces y_t tendría un grado de cointegración del orden (1,1) con un rango de cointegración de $r < k$.

Considerando un VAR de orden p , es decir variando la ecuación 2, se obtiene:

$$y_t = \Theta_1 y_{t-1} + \dots + \Theta_p y_{t-p} + v_t \quad (8)$$

Para realizar la prueba de Johansen se reescribe (omitiéndose los componentes determinísticos por simplicidad) como:

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta y_{t-i} + v_t \quad (9)$$

donde

$$\Pi = \sum_{i=1}^p \Theta_i - I \quad (10)$$

$$\Gamma_i = - \sum_{j=i+1}^p \Theta_j \quad (11)$$

En la ecuación 9, Πy_{t-1} es llamado el término de corrección de errores y Π es la matriz de coeficientes, la cual contiene la información de la relación de largo plazo de los componentes de y_t . Si el rango de Π (r) es cero, no existe cointegración, pero si es mayor que cero y menor que k las series están cointegradas. Para estimar el modelo de corrección de errores se define la ecuación 9 con $\Pi = \alpha\beta'$, donde α es una matriz $k \times r$ no nula (Yeo) y sus elementos son conocidos como los parámetros de ajuste en un modelo de vector de corrección de errores (VCE). En resumen, el método de Johansen consiste en estimar la matriz Π de forma no restringida, probar cuándo se pueden rechazar las restricciones que implican reducir el rango de Π y determinar el número de ecuaciones de integración (Quantitative Micro Software).

Si existe cointegración, el modelo debe modificarse para mejorar los pronósticos, para lo cual se propone que un VCE sustituya el VAR. El VCE está diseñado para trabajar con series no estacionarias, pero que guardan una relación de equilibrio de largo plazo (o sea, que están cointegradas), sin impedir el dinamismo de las variables en el corto plazo. Un VCE es un VAR estándar, pero definido en primeras diferencias y aumentado por un término de corrección de errores; es decir, en ausencia de cointegración, un VCE es un VAR en primeras diferencias (Hoffman y Rashe). Otra forma de verlo es que, en el largo plazo, el término de corrección de errores es igual a cero en el equilibrio, pero si las variables cambian, ese término se ajusta a una velocidad que el mismo VCE calcula para establecer el equilibrio.

Para determinar las variables que se han de incluir en el modelo y el número de rezagos, se recomienda lo siguiente. En primer lugar, las variables dependientes deben guardar una conexión económica entre sí. Por ejemplo, el precio de un producto puede estar relacionado con una serie de cambios de inventarios del mismo producto, o con precios de productos complementarios y/o sustitutos. También el MPP permite la introducción de variables ficticias que el analista considere importantes para mejorar las bondades de los pronósticos⁴. Variables de este tipo son introducidas para establecer diferencias entre más de dos estaciones o temporadas (en nuestro ejemplo, diferentes meses). También pueden agregarse variables ficticias para explicar cambios cualitativos en la serie, por ejemplo, un período de sequía, un período de guerra, etc.

Por otra parte, la determinación de los períodos de rezago exige mayor elaboración y requiere un conocimiento básico de series de tiempo. El período de rezago debe ser lo suficientemente largo para que permita capturar el dinamismo del sistema. Sin embargo, cuanto mayor es el rezago, mayor es el número de parámetros que se deben estimar y, por consiguiente, menor el número de grados de libertad. Por lo general, el período de rezago siempre es menor que el período de rezago ideal. Los niveles de rezago se determinan por medio del análisis de la función de autocorrelación de la serie y, por lo general, es un número modesto, raramente mayor a cuatro períodos. Para hacer esto se utiliza el Criterio de Información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés) y el Criterio de Schwarz (SC, por sus siglas en inglés), definidos como:

$$AIC \approx \ln(\det(\tilde{\Sigma}_n)) + \frac{2M^2n}{T} \quad (12)$$

$$SC \approx \ln(\det(\tilde{\Sigma}_n)) + \frac{M^2n \ln T}{T} \quad (13)$$

donde $\tilde{\Sigma}$ es la matriz de varianza y covarianza, M es el número de ecuaciones (variables endógenas) y T es el número de observaciones. El número óptimo de rezago es aquel período de rezago que minimice el criterio AIC o el SC y, por lo general, ambos criterios son consistentes.

4 Por ejemplo, se ha especificado que el método se basa en que los productos no presentan una estacionalidad marcada, pero incorporando un índice estacional o una variable ficticia (dummy) dentro del modelo, este mismo método podría utilizarse en productos agrícolas estacionales.

Es posible, sin embargo, que los criterios de AIC y SC no sean consistentes, por lo que la determinación del número óptimo de rezagos se complementa con la prueba de máxima verosimilitud (PMV), la cual se basa en estimar un estadístico de la forma:

$$PMV = -2(L_n - L_m) \quad (14)$$

donde L_n es el valor máximo de la función de verosimilitud (*maximum likelihood function*) del modelo con n rezagos, y L_m es el valor correspondiente al modelo con m rezagos. Se estima un VAR dos veces, con diferente número de rezagos para obtener estos dos valores. La PMV se distribuye como una *chi-cuadrada*, con grados de libertad igual al número de restricciones de la prueba, que representa la diferencia de rezagos incluidos ($m-n$). A partir de la distribución *chi-cuadrada*, se calcula la probabilidad asociada a la prueba de hipótesis. La hipótesis nula es el VAR con menor número de rezagos y la hipótesis alternativa es el VAR con más rezagos; si la probabilidad es muy baja (menos de 10%), se rechaza la hipótesis nula (Quantitative Micro Software).

Después de determinar la existencia de estacionariedad y de cointegración y, por lo tanto, el modelo que genera mejores pronósticos (VAR o VCE), así como la cantidad de rezagos que se incluyen, se debe considerar la forma en que se usa el modelo para pronosticar el precio. Una predicción es la estimación del valor futuro de una variable dependiente (precio, por ejemplo), dado el valor observado de las variables independientes. Cuando la estimación es sobre un valor proyectado (no sobre uno observado) de la variable independiente, se tiene una predicción condicional, a la cual en este documento se le denomina pronóstico. El MPP desarrollado en este trabajo predice valores futuros a uno, dos y tres períodos de tiempo en el futuro, los cuales pueden ser, por ejemplo, 30, 60 y 90 días o cualquier otra unidad de tiempo. Esta predicción está dada por:

$$y_t(h) \approx \delta + \Theta_1 \cdot y_t(h-1) + \dots + \Theta_p \cdot y_t(h-p) \quad (15)$$

donde h es el número de períodos de predicción, $\delta + \Theta_i$ son matrices de los parámetros estimados, y_t es el vector de las variables del VAR o el VCE, y p es el número de períodos de rezago incluido en la estimación del modelo.

Segundo, para crear intervalos de confianza de las predicciones es necesario medir los errores de predicción. En sus pronósticos el MPP minimiza el error cuadrático medio (*MSE, mean square errors*), el cual es usado para definir intervalos de confianza. Así, la matriz de errores cuadráticos medios para el proceso del MPP está dada por:

$$\Sigma(h) \approx \Sigma_v + M_1 \Sigma_v M_1' + \dots + M_{h-1} \Sigma_v M_{h-1}' \approx \Sigma(h-1) + M_{h-1} \Sigma_v M_{h-1}' \quad (16)$$

donde Σ_v es la matriz de varianzas y covarianzas del modelo estimado, y M_i (nótese que esta M , en negritas y con subscritos, es diferente de la M que indica el número de ecuaciones del sistema o variables endógenas) puede ser calculado por medio de las siguientes ecuaciones y usando los parámetros estimados de la ecuación 1.

$$M_0 = I \text{ y } M_i = \sum_{j=1}^{\min(p,i)} \Theta_j M_{j-i} \quad i = 1, 2, \dots \quad (17)$$

2.1.3. MPP: procedimiento para su aplicación práctica

Esta descripción práctica es útil para comprender cómo aplicar el MPP, el cual se describe mediante la siguiente lista de pasos sencillos y lógicos:

- I. **Seleccionar las series de tiempo.** En este primer paso, lo importante es asegurar la consistencia y la veracidad de las series que se han de utilizar. ¡Aún no se ha inventado un método en que se puedan usar datos erróneos y obtener buenos estimados! Algunas consideraciones importantes para el escogimiento de las variables económicas en el MPP fueron descritas en la sección anterior. Al trabajar con precios, los cuales no pueden ser negativos, se recomienda aplicar a las series una transformación logarítmica.
- II. **Determinar si las series son estacionarias.** Para ello primero se utiliza la función de autocorrelación y la gráfica de esta. Si la gráfica de la función de autocorrelación presenta un declive rápido de la función hacia cero, se tiene una serie estacionaria. Además, se utiliza la prueba ADF de la ecuación 5, que es el método estadístico más exacto para

probar si existe estacionariedad. Este paso también permite determinar el orden de integración de las series.

- III. **Hacer estacionaria aquella serie que no lo sea.** Para ello se usa el procedimiento de diferenciación según se especifica en la ecuación 7a.
- IV. **Realizar la prueba de cointegración.** Si resulta que las dos series tienen el mismo orden de integración, se utiliza la prueba desarrollada por Johansen y Julius (ecuación 9) para probar si están cointegradas, lo que permitirá definir el modelo más apropiado (VAR o VCE) para realizar predicciones con un mínimo de error.
- V. **Determinar el período máximo de rezago de las variables.** En este paso se obtiene el número de períodos hacia atrás que serán usados como variables explicativas en el MPP. El período de rezago se escoge utilizando los criterios estadísticos AIC y SC, definidos en las ecuaciones 12 y 13, y la PMV de la ecuación 14.
- VI. **Estimar el modelo.** El modelo estadístico se estima mediante un VAR o un VCE, según las características de las series de tiempo. El MPP permite incorporar variables exógenas que el analista considere importantes para mejorar el pronóstico.
- VII. **Pronosticar precios.** El pronóstico utiliza los parámetros estimados y los datos más actuales de las variables utilizadas en el modelo. El pronóstico de precios se puede realizar a uno, dos y tres períodos en el futuro, haciendo ajustes cada vez que esté disponible nueva información. Esto último sería importante para las llamadas al margen que se hacen por el cambio de precios en una bolsa de productos.

Para poner en práctica este método, se requiere relativamente poca información y equipo. De tenerse como mínimo dos series de al menos 40 datos (períodos) y de contarse con un programa de cómputo econométrico, el método sería fácil de implementar. Se recomienda que, tan pronto se conozca el nuevo valor de las variables económicas, este sea incorporado en la estimación de los parámetros del MPP. Este ejercicio, aunque podría pensarse tedioso, permitirá al analista realizar un mejor pronóstico y, por ende, un mejor precio base para la fijación de la garantía. En este documento se anexa un disquete, el cual contiene un modelo computarizado para el cálculo automático del MPP.

2.2. Método de Análisis de Volatilidad (MAV)

En esta sección se presentan algunas consideraciones teóricas sobre la volatilidad, y luego se describe el MAV en forma práctica.

2.2.1. El concepto de volatilidad

Tradicionalmente, la volatilidad involucra alguna medida de la dispersión en una serie, entendiendo por "dispersión" la variabilidad o la amplitud en los datos de la serie. La desviación estándar es la medida de dispersión (absoluta) más utilizada.

En este estudio la volatilidad se define como la velocidad a la cual se mueve un mercado. Si en un mercado se dan grandes saltos de precio y cambios continuos en la dirección de estos, se dice que es un mercado volátil. Aunque existen varios criterios y definiciones para medir la volatilidad, una medida tradicional es la desviación estándar de los cambios en los precios (o la desviación estándar de la variable transformada); la variable de cambios en el precio (dp_t) se obtiene como el logaritmo de la primera diferencia dado por:

$$dp_t = \ln \left(\frac{p_t}{p_{t-1}} \right) * 100 \quad (18a)$$

donde p_t es el precio de un producto. Así, la varianza de los cambios en los precios está dada por

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (dp_t - \hat{\mu}) \quad (18b)$$

donde T es el número de observaciones usadas y $\hat{\mu}$ es el promedio estimado de los cambios en precios (dp_t). Un estimado de la volatilidad de una serie es la raíz cuadrada de la varianza. Las ecuaciones 18a y 18b se usan para obtener la volatilidad histórica de cualquier variable utilizada en el sistema.

2.2.2. MAV: descripción práctica

Si se cuenta con series confiables de precios e información relevante de un producto, entonces se puede estimar un intervalo de confianza o un rango de variación de precios, tanto para la serie histórica como para el pronóstico de precio. El MAV consiste de los siguientes pasos:

- a) Obtener la variable de cambios en el precio por medio de la ecuación 18a.
- b) Utilizar el MPP para obtener pronósticos de precio.
- c) Calcular la matriz de varianzas y covarianzas.
- d) Calcular la desviación estándar, como indicador de la volatilidad (ecuación 18b), y establecer los rangos por variación de precio.
- e) Estimar las garantías.

El índice de volatilidad (ecuación 18b) de la serie de precios se utiliza para definir el precio máximo y el precio mínimo de negociación admisibles en bolsa. Estos límites establecidos por la bolsa de productos agropecuarios para la fluctuación de precios son porcentajes de volatilidad, en adelante referidos como bandas (rangos) de variación en las cotizaciones.

2.3. Mecanismo de Fijación de Garantías

Esta propuesta metodológica concluye con una descripción del procedimiento para fijar la garantía. Para ello se sugiere el siguiente modus operandi. Primero, la bolsa usará el MPP para estimar el precio esperado para el próximo período, entendiéndolo como el precio futuro a uno, dos y tres meses, al cual se le llama **pronóstico base**. La bolsa también calculará un intervalo de confianza para el pronóstico (un intervalo de 1.96 desviaciones estándar)⁵.

Segundo, al pronóstico base se le subtrae el precio establecido en el momento de cerrar el contrato en bolsa (en adelante **precio de contrato**), resultando de esta operación la **diferencia base**.

Tercero, la bolsa estimará también la diferencia entre el margen superior del intervalo de confianza y el precio de contrato, a la cual se la

5 Se obtiene un nivel de confianza de un 95%.

llama **diferencia superior**. Igualmente, se calcula la diferencia entre el margen inferior del intervalo de confianza del pronóstico base y el precio de contrato, a la cual se la denomina **diferencia inferior**.

Cuarto, la bolsa fijará una primera garantía, llamada *garantía básica*, la cual utilizará la información pertinente a la *diferencia superior* y la *diferencia inferior*. La *garantía básica* pedida a los puestos de bolsa, ya sea para un contrato de compra o para uno de venta, dependerá de si el puesto de bolsa representa al comprador o al vendedor del contrato. Así por ejemplo, en aquel contrato en que alguien se compromete a comprar una cierta cantidad del producto al precio de contrato, la bolsa fijará la *garantía básica* para el comprador del contrato con base en la *diferencia inferior* y para el vendedor del contrato con base en la *diferencia superior*.

Finalmente, puede ser que una garantía básica requiera **ajustes**, los cuales deben realizarse conforme la nueva información de precios es incorporada en el MAV. Por ejemplo, para un contrato a tres meses (períodos) la garantía básica puede ser ajustada en el primer mes y en el segundo mes. Así, a un mes de haberse fijado la *garantía básica* y de conocerse el precio y el valor de las variables utilizadas en el MPP, la bolsa estimaría un nuevo *pronóstico base* para el precio a dos meses, al igual que un nuevo intervalo de confianza. Este nuevo intervalo sería usado por la bolsa para estimar de nuevo la diferencia superior y la inferior, que a la vez determinará una **garantía ajustada**. Por supuesto, el procedimiento podría repetirse a los dos meses de haberse fijado la *garantía básica*. Esto traerá consigo un cálculo de la garantía.

Aunque aquí se describen solo ajustes mensuales, los ajustes podrían ser semanales e incluso diarios, dependiendo de las especificaciones del modelo desarrollado con el MPP. Si al modelo se le inyectan datos de promedios móviles de 30 días, los ajustes de pronósticos y garantías podrían realizarse diariamente.

3. EJERCICIOS PRÁCTICOS

En este capítulo se pone a prueba lo expuesto hasta el momento mediante dos ejercicios prácticos. En el primero se utiliza el MPP para pronosticar precios futuros a uno, dos y tres meses para frijol tierno y papa de primera, comercializados en el Centro Nacional de Abastecimiento (CENADA) de Costa Rica. En el segundo se usa el MAV para establecer intervalos de confianza para el pronóstico de precios, así como garantías básicas y ajustadas para los mismos productos.

3.1. *Ejercicio Primero: Pronóstico de Precio*

Este ejercicio se presenta en dos partes. Primero se resume el procedimiento utilizado para obtener un modelo de predicción de precios mediante la aplicación del MPP. Luego se usa ese modelo para pronosticar los precios y otras variables importantes.

3.1.1. **Estimación del modelo**

En este apartado se explica la puesta en práctica de los pasos descritos en la sección 2.1.3 (MPP: procedimiento para su aplicación práctica), sin incluir el pronóstico de las variables.

3.1.1.1. *Seleccionar las series de tiempo*

Se deben seleccionar las series de tiempo que se considere que contienen información relevante y que influyen en la determinación de los precios. A través del Área de Políticas y Comercio del IICA, se contó con series de datos de las variables "volumen comercializado" y "precios mayoristas" para la papa de primera y para el frijol tierno comercializados en el CENADA (el período utilizado es de enero de 1988 a septiembre de 1999). Estas series son representadas en forma matricial por P , el cual es un vector 2×1 , en que el primer elemento es el precio del producto y el segundo la oferta. La t indica que la serie es una serie de tiempo. Los datos para los dos productos se presentan en los cuadros 1 y 2 del Anexo 2.

A estas series se les aplica una transformación logarítmica, para generar nuevas series que son las utilizadas para realizar las estimaciones.

3.1.1.2. *Determinar si las series de tiempo son estacionarias*

Una vez seleccionadas las variables, se realiza un escrutinio de las series para determinar si estas son estacionarias (condición necesaria para el modelo estadístico). Las figuras 1 y 2 del Anexo 1 presentan, respectivamente, los volúmenes comercializados y los precios de la papa de primera durante el período de enero de 1988 a septiembre de 1999. Se percibe que la serie de precios tiene una tendencia marcada a la alza (no es estacionaria), mientras que para la serie de volúmenes comercializados no es fácil determinar si hay una tendencia o si no la hay. Por fortuna se puede determinar estadísticamente si las series son estacionarias, utilizando la función muestral de autocorrelación, $\hat{\sigma}_k$ (ecuación 3) y la prueba ADF (ecuación 5). Las figuras 3 y 4 (Anexo 1) muestran, respectivamente, dicha función para los volúmenes comercializados y los precios de la papa de primera. Los valores de autocorrelación de ambas series disminuyen y tienden a cero pero no en forma inmediata, lo que es más evidente para la serie de precios. Un análisis tan simple como este sugiere que se deben transformar las series para hacerlas estacionarias. En el Anexo 3, Programa 1, se presenta el programa desarrollado para obtener la función de autocorrelación usando las capacidades del programa econométrico Shazam[®], versión 6.2⁶ (en adelante Shazam[®]). Sin embargo, Eviews[®] realiza estas tareas en forma automática y sencilla (Quantitative Micro Software).

Por otro lado, en las figuras 9 (volumen) y 10 (precio) del Anexo 1 se presenta un comportamiento similar para las series del frijol tierno, por lo que se suponen los mismos resultados para la función de autocorrelación.

Mediante la aplicación de la prueba ADF de estacionariedad, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 3 del Anexo 2, se concluye que la serie de precios no es estacionaria para papa ni frijol, mientras que la serie del volumen comercializado sí es estacionaria para ambos productos.

3.1.1.3. *Hacer estacionarias aquellas series que no lo son*

Para lograr que las series se vuelvan estacionarias se calculó el logaritmo de las primeras diferencias dado por la ecuación 18a. Así, se

6 Otros programas econométricos podrían ofrecer una opción específica para la estimación de vectores; sin embargo, en este trabajo se optó por demostrar que el MPP puede ser utilizado incluso cuando solo se cuenta con una hoja electrónica.

obtienen las nuevas series dP_t y dV_t , las cuales representan el cambio porcentual del logaritmo del precio y volumen comercializado, respectivamente. En este estudio a este tipo de transformación se le denominará la *primera diferencia*. Las figuras 5 y 6 del Anexo 1 muestran las series de tiempo transformadas para los volúmenes comercializados y los precios de la papa, respectivamente; para el frijol se presentan en las figuras 11 y 12 de ese anexo.

Se calcula de nuevo la función muestral de autocorrelación para papa, la cual se presenta en las figuras 7 y 8 del Anexo 1. Al observar el comportamiento de esta función, se puede concluir que la primera diferencia de las series genera series que sí son estacionarias. En el Anexo 3, Programa 2, se presenta el programa desarrollado para transformar las series y obtener estacionariedad mediante el estudio de la autocorrelación, usando Shazam®.

Asimismo, se utiliza la prueba ADF para probar la estacionariedad en estas nuevas series; el resultado obtenido es que sí son estacionarias (Cuadro 2 del Anexo 2), por lo que se puede continuar con el ejercicio. Los resultados obtenidos son semejantes para la papa y el frijol.

3.1.1.4. Realizar la prueba de cointegración

Si las dos series tienen el mismo orden de integración, se hace necesario ejecutar la prueba de Johansen y Julius (ecuación 9) para probar la existencia de cointegración. En el caso de la papa y el frijol, las series de precio son $I(1)$, mientras que las del volumen son $I(0)$, por lo que se puede obviar esta prueba y determinar que el modelo que se debe utilizar es un VAR en primeras diferencias. Si existiera cointegración, el VCE sería el más adecuado.

3.1.1.5. Determinar el período máximo de rezago de las variables

El siguiente paso del MPP es determinar el período máximo de rezago, es decir, la información histórica relevante para pronosticar los precios o volúmenes comercializados. Para hacer esto se utilizan el SC (ecuación 13), el AIC (ecuación 12) y la PMV (ecuación 14). El Cuadro 4 del Anexo 2 presenta los valores del SC, el AIC y la probabilidad de las prue-

bas de hipótesis de la PMV para los períodos de rezago del primero al sexto, de las series de papa y frijol.

Se sabe que el número óptimo de rezagos es aquel que minimice en términos absolutos el SC y el AIC. En el caso de la papa (frijol), el SC se minimiza con un período de seis (cinco) rezagos y el AIC con un (un) rezago. En el Anexo 3, Programa 3, se presenta el programa en Shazam para obtener el período óptimo de rezago mediante estos dos criterios.

Para determinar la cantidad de rezagos mediante la PMV, se utiliza la probabilidad de la prueba de hipótesis mostrada en el Cuadro 3. En el caso de la papa, la probabilidad que se encuentra en la fila del sexto rezago es de 0.287, lo cual significa que no se rechaza la hipótesis nula de seis rezagos a favor de la hipótesis alternativa de cinco rezagos; el proceso terminaría aquí y se decidiría que seis rezagos es la cantidad óptima. Pero si esta probabilidad resultara inferior al 10%, se hace el análisis para cinco rezagos y luego se realiza sucesivamente disminuyendo la cantidad de rezagos, hasta encontrar una probabilidad mayor al 10%, la cual indica que ese es el número óptimo de rezagos que se han de utilizar.

Este análisis se realiza para el caso del frijol; como resultado se obtiene que la probabilidad mayor a 10% se logra en cuatro rezagos. El nivel de significancia puede variar, por ejemplo, si se hubiera utilizado un 5%. La cantidad óptima de rezagos en el caso del frijol tierno es de cinco.

3.1.1.6. Estimar el modelo

Una vez determinado el número óptimo de rezagos, se estiman los coeficientes del modelo. Para ello, en nuestro ejemplo se utilizaron 141 observaciones mensuales de las series precio y volumen comercializado de papa y frijol. En el caso de la papa, se generaron dos ecuaciones, una que explica el comportamiento de los precios y la otra el comportamiento del volumen comercializado. Cada ecuación contiene 13 regresores, seis para el volumen comercializado, seis para el precio y uno para la constante. Además se calcula la matriz de varianzas y covarianzas que se utiliza más adelante. En el Anexo 3, Programa 4, se presenta el programa desarrollado para la estimación del modelo VAR.

**Coefficientes del sistema VAR en primeras diferencias
para papa de primera**

Coefficientes	dln(Volumen)	dln(Precio)
Constante	0.0189	0.0095
Precio (-1)	0.2207	-0.1921
Precio (-2)	-0.2229	0.0498
Precio (-3)	-0.2391	-0.0681
Precio (-4)	-0.0453	-0.3700
Precio (-5)	-0.0849	-0.1403
Precio (-6)	0.0519	0.0135
Volumen (-1)	-0.1861	-0.1075
Volumen (-2)	-0.1794	0.0366
Volumen (-3)	-0.1489	-0.0156
Volumen (-4)	-0.0055	-0.3014
Volumen (-5)	0.0472	-0.0774
Volumen (-6)	-0.1378	-0.0055

El pronóstico ex post de los cambios en los precios y los volúmenes comercializados de papa de primera se calcula utilizando la ecuación 15 con los parámetros estimados. Para obtener de nuevo los niveles de precios y volúmenes (ya que las ecuaciones se estimarán en primeras diferencias y utilizando logaritmos, *dln*) es necesario transformar este cambio al valor original de la serie. Para ello se usa un procedimiento sencillo que se explica en el Anexo 4. Esta transformación de datos ha sido incorporada al programa de cómputo Shazam® provisto en el Anexo 3 y al programa automatizado que se explica en el Capítulo 4 de este documento.

Como se puede observar en la Figura 13 del Anexo 1, el MPP ajusta bien la serie histórica de precios de la papa. Específicamente, los pronósticos del cambio en los precios presentan un buen seguimiento de los altos y bajos en la serie, lo que augura que estos serían una buena base para el cálculo de garantías de cumplimiento y la fijación de bandas de precios.

Por otro lado, para el caso del frijol tierno el MPP estimó, mediante un VAR en primeras diferencias con cuatro rezagos, los siguientes coeficientes:

El MPP para papa estima el siguiente sistema de ecuaciones:

**Coefficientes del sistema VAR en primeras diferencias
para frijol negro**

Coefficientes	dln(Volumen)	dln(Precio)
Constante	0.0164	0.0335
Precio (-1)	-0.1522	-0.4083
Precio (-2)	-0.1129	-0.2856
Precio (-3)	-0.0902	-0.4276
Precio (-4)	0.0290	-0.3228
Volumen (-1)	-0.0908	-0.7499
Volumen (-2)	0.1684	-0.2991
Volumen (-3)	0.0324	-0.4095
Volumen (-4)	0.0584	-0.0699

En la Figura 14 del Anexo 1 se observa el pronóstico realizado por el modelo para el frijol tierno, el cual también es una buena base para el cálculo de garantías y la fijación de bandas de precios.

3.1.2. Pronóstico de precios

En este paso se utilizan los modelos estimados y se realiza el pronóstico de precio a uno, dos y tres meses⁷. Como se dijo anteriormente, nuestro modelo ajusta bien el comportamiento histórico de las variables (pronóstico ex post), lo cual se espera de la mayoría de modelos estadísticos. Sin embargo, lo más importante es conocer qué poder de pronóstico ex ante tiene nuestro modelo. Los meses en que se realizaron los pronósticos para el análisis fueron mayo, junio y julio del 2000.

En el Anexo 3, Programa 4, se presenta el programa desarrollado en Shazam® para el pronóstico, tanto de los precios como del volumen comercializado de papa a uno, dos y tres períodos.

⁷ En general interesa más la capacidad de predicción ex ante del modelo que su validez económica. Así, se podría dar el caso de signos contrarios a los que la teoría económica predice.

El Cuadro 5 del Anexo 2 presenta el precio y el volumen pronosticado y observado para la papa de primera y el frijol tierno comercializados en el Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA) de Costa Rica. En él se toma la información de mayo para pronosticar el precio y el volumen de la papa y el frijol comercializados en los meses de junio, julio y agosto del 2000; la de junio para realizar los pronósticos de julio, agosto y septiembre; y la de julio para hacer las proyecciones de agosto, septiembre y octubre, esto con el fin de evaluar la validez de los pronósticos.

Otra forma de evaluar los pronósticos *ex ante*⁸ de los modelos escogidos es utilizando los datos de noviembre de 1999 a octubre del 2000 y verificando si la senda de los pronósticos de precios se aproxima a los datos observados. Para determinar si las desviaciones entre los valores pronosticados y los observados se minimizan con el modelo elegido, usualmente se utiliza la raíz del promedio de los errores, con la desventaja de que este depende de la escala de la variable dependiente. Como alternativa, se puede usar el Coeficiente de Desigualdad de Theil (CDT) (Pindyck y Rubinfeld), que siempre está entre cero y uno. Esto evita el problema de la escala, lo que permite comparar entre diferentes modelos alternativos. Cuanto más cerca de cero esté el CDT, existe una mejor capacidad de pronóstico. El CDT está dado por:

$$CDT = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{x}_t - x_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{x}_t^2} + \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T x_t^2}} \quad (19)$$

donde \hat{x} es el valor pronosticado para el período t , x_t es el valor observado en el período t , y T es la cantidad de períodos pronosticados.

⁸ Los pronósticos utilizados son obtenidos de una proyección estática o de "un paso" (*one-step*), la cual usa para cada pronóstico los valores observados de las variables del período anterior y no los pronosticados.

Este coeficiente puede desagregarse en tres componentes:

$$\text{Componente del sesgo} \quad \frac{\bar{r} (\bar{x} - \sigma_x)^2}{\sum (\hat{x}_i - x_i)^2 / T} \quad (20a)$$

$$\text{Componente de la varianza} \quad \frac{(\sigma_{\hat{x}} - \sigma_x)^2}{\sum (\hat{x}_i - x_i)^2 / (T-1)} \quad (20b)$$

$$\text{Componente de la covarianza} \quad \frac{2(1-r)\sigma_{\hat{x}}\sigma_x}{\sum (\hat{x}_i - x_i)^2 / (T-1)} \quad (20c)$$

donde $\bar{\hat{x}}$, \bar{x} , $\sigma_{\hat{x}}$, σ_x son los promedios y las desviaciones estándar de \hat{x} y x , y r^9 es el coeficiente de correlación entre \hat{x} y x .

- El componente del sesgo (20a) indica cuánto del promedio de los valores observados es explicado por el modelo.
- El componente de la varianza (20b) señala qué tanto de la variabilidad de los datos reales es pronosticado en el modelo.
- El componente de la covarianza (20c) mide la variabilidad del error no sistemático.

La suma de las tres proporciones es uno. Un modelo de pronóstico ideal hace que las dos primeras proporciones sean cero y la tercera sea uno.

Estos estadísticos se obtuvieron para los cuatro posibles métodos utilizados (VAR en niveles, VAR en primeras diferencias, VCE en niveles y VCE en primeras diferencias), en los cuales la cantidad óptima de rezagos depende de las características de cada uno. Los resultados para ambos productos se pueden observar en el Cuadro 6 del Anexo 2, de donde se concluye que el modelo recomendado para la papa y el frijol (VAR en primeras diferencias) es el que mejor ajusta los pronósticos a los valores observados al tener el mínimo CDT. Por otro lado, la proporción de la covarianza tiende a uno tanto para el modelo de la papa como para el de frijol, lo que indica que los modelos predicen el promedio de los precios

9 El coeficiente de correlación se calcula como: $r = (1/\sigma_{\hat{x}}\sigma_x)\sum(\hat{x}_i - \bar{\hat{x}})(x_i - \bar{x})$

y reproducen muy bien su grado de variación, por lo que los errores en los pronósticos se deben a variaciones no sistemáticas.

3.2. Ejercicio Segundo: Análisis de la Volatilidad y Fijación de la Garantía

En esta sección se presenta un ejercicio práctico del MAV y de la forma como se utiliza este método en el cálculo de garantías por variación de precio. Primero se muestran los resultados de la estimación de una banda de precios; luego se describe cómo se utilizan estas bandas en un mecanismo de fijación de garantías por variación de precios en una bolsa de productos.

3.2.1. Estimación de una banda de precio

Siguiendo el MAV, se utilizan los pronósticos y el sistema de ecuaciones estimados en el ejercicio primero. Luego se calcula la matriz de varianzas y covarianzas de los sistemas de ecuaciones, tanto para el frijol como para la papa. En el Anexo 3, Programa 4, se presenta el programa de cómputo utilizado para estos fines. Dicho programa también fue usado para calcular desviaciones estándar y establecer los rangos por variación de precios.

En este estudio se definió "volatilidad" como la velocidad a la cual se mueve un mercado y como indicador de esta se ha utilizado la desviación estándar de los cambios en los precios (o la desviación estándar de la variable transformada, dV y dP). El índice de la volatilidad de la serie (desviación estándar) se utiliza para definir el precio máximo y el precio mínimo de negociación admisibles en bolsa. Estos límites establecidos por la bolsa de productos agropecuarios para la fluctuación de precios son porcentajes de volatilidad, en adelante referidos como bandas (rangos) de variación en las cotizaciones.

En forma general, interesa saber si una banda de precios obtenida por medio del MAV sería de alguna ayuda en un sistema de fijación de garantías. Esto equivale a preguntarse si el precio futuro se encuentra dentro de la banda estimada. Para responder a esta pregunta, primero se realiza un pronóstico ex post de los precios y sus respectivos intervalos de confian-

za para el período de estimación del modelo (enero de 1988 a septiembre de 1999). Las figura 15 y 16 del Anexo 1 presentan precios observados de papa y frijol, junto con un intervalo de confianza de ± 1.96 desviaciones estándar para los pronósticos. Se observa en ambas gráficas que pocas veces el intervalo estimado no contiene el precio observado (cuatro veces para cada producto). Considerando que se utilizaron 141 períodos, se concluye que solo un 2.8% de las veces el precio estuvo fuera del intervalo de confianza. Por lo tanto, el rango de precios reproducido por el modelo para el período de análisis es un buen indicador de la variabilidad o la fluctuación en los precios.

Sin embargo, la validez y la aplicabilidad del método propuesto dependerán de qué tanto este pueda estimar la variabilidad del precio fuera del período de análisis (pronóstico *ex ante*). Si el rango o la banda de precios llegase a contener los precios futuros, ello sería primordial para un buen sistema de fijación de garantías. El MAV se usó para estimar intervalos de confianza o, lo que es lo mismo, bandas de variación de los precios de papa y frijol. Estas se muestran en el Cuadro 8 del Anexo 2 junto con el pronóstico de precios y el precio observado; las proyecciones se realizan para mayo, junio y julio del 2000. Importante de recordar es la capacidad del MAV de ajustarse cada vez que se dispone de nueva información. Por ello, al transcurrir cada mes¹⁰, se obtienen nuevos pronósticos y bandas de variación de precios. Los resultados de este procedimiento también se presentan en el Cuadro 8 del Anexo 2, en la forma de un nuevo pronóstico para julio y agosto.

La Figura 17 del Anexo 1 presenta la relación existente entre las bandas de precios pronosticadas en junio, julio y agosto y el precio observado de papa de primera y de frijol tierno para los tres períodos. Para el caso de la papa, la banda de precios estimada incluye el precio observado del producto, con dos excepciones. Por ejemplo, para junio (contrato a 30 días) la banda de precio pronosticada en mayo fue de 105 a 157 colones, y el precio observado fue de 110 colones. Similar comportamiento tuvo el contrato de julio, en el que el precio observado estuvo dentro de los límites de las bandas. Igualmente, las bandas pronosticadas en junio para julio, agosto y septiembre y las estimadas en julio para agosto y septiembre contienen los precios observados de la papa. Los casos en que las bandas no contienen el precio observado son la estimación de mayo para agosto y la de julio para octubre.

10 Recordemos que es posible realizar ajustes diarios de pronósticos a 30, 60 y 90 días, mediante el cálculo de promedios móviles de 30 días.

Para el caso del frijol (Figura 17 del Anexo 1), las bandas de precios para el mismo período de simulación que el de la papa no fallaron en incluir el precio observado. Se podría argumentar que la volatilidad de los precios de la papa fue mucho mayor de lo que el modelo pudo predecir, especialmente si ello se compara con el éxito alcanzado para el precio del frijol. Es de esperar que los productos con menos volatilidad generen bandas de variación de los precios mucho más confiables y estrechas.

3.2.2. Fijación de la garantía

Nos queda aún por contestar si el MAV podría ayudar a mejorar el sistema de fijación de garantías.

Recuérdese, en primer lugar, que los límites de los precios máximo y mínimo para el día de operación en bolsa son, en general, certificados por el comité de precios de la bolsa, de conformidad con los reglamentos. Igualmente, se podría sugerir que ese comité utilice el MAV para establecer los límites superior e inferior del pronóstico de precio. Para este ejercicio práctico se asume que dichos límites están dados en el Cuadro 8 del Anexo 2. A la diferencia entre el precio pronosticado y el precio observado para junio, julio y agosto se le llama "error de pronóstico", el cual finalmente se utiliza para examinar las bondades del MAV como base para fijar la garantía por variación de precios en los contratos de entrega futura a 30, 60 y 90 días. De la sección 3.1.2 se puede recordar que este error de pronóstico se debe, principalmente, al componente no sistemático de las variaciones en los precios.

En segundo lugar, se han establecido dos tipos de garantía, la básica y la ajustada, que fueron introducidas en la sección 2.3. La forma en que se calcula cada una de ellas se presenta a continuación.

3.2.2.1. Cálculo de la garantía básica

La garantía básica la deben pagar tanto el comprador como el vendedor del contrato. Un industrial que ofrece un contrato de compra de papa o frijol deberá pagar como garantía básica el monto de la *diferencia inferior* (para detalles, ver sección 2.3). Por su parte, el comprador del contrato (por ejemplo, un productor) deberá pagar como garantía básica la diferencia entre el precio de referencia del contrato y la banda superior del pronóstico, es decir, la *diferencia superior*.

El Cuadro 8 del Anexo 2 presenta el cálculo de la garantía básica para un contrato de compra de papa y frijol de entrega en junio, julio y agosto. Este cálculo de la garantía básica también se provee para diferentes precios de referencia, lo que equivale a mostrar los posibles escenarios que se manejan al fijar una garantía básica. Por ejemplo, en el primer renglón de ese cuadro aparece el cálculo de la garantía básica por variación de precio para el contrato de papa a junio y con un precio de referencia de 100 colones. La garantía básica para el vendedor del contrato es de 57 colones. Para el comprador del contrato la garantía básica es de -5 colones; nótese que un signo negativo en los valores de la garantía básica implica que ese agente no tendrá que depositar garantía básica¹¹. Así por ejemplo, en el caso del contrato de papa a junio con un precio de referencia de 100 colones, el comprador del contrato no necesita poner garantía, pues, según la banda de precio estimada, el límite inferior es de 105 (Cuadro 7 del Anexo 2), por lo que el precio del contrato se fijó por debajo de la banda inferior. Al haber poca probabilidad de que el precio sea menor al límite inferior de la banda, la bolsa reconoce una seguridad de un 95% de que el comprador del contrato va a cumplir con este. A su vez, la bolsa también reconoce que el vendedor del contrato debería asumir el valor total de la garantía (ancho total de la banda), pues la diferencia de precio se mueve en contra suya. Así, la bolsa asegura un precio más alto que el de todos los pronósticos y le solicita una fuerte garantía al vendedor. Para este contrato en particular, la garantía básica pedida fue de 57 (57%) colones al vendedor del contrato (Cuadro 8). La garantía básica sería pagada en mayo, mes en que se negocia el contrato y se fija el precio de este.

El Cuadro 8 también presenta el ejercicio del cálculo de la garantía básica para cuatro escenarios de precio de referencia hipotético: 100 y 120 colones para la papa y 640 y 680 colones para el frijol. El cálculo de garantía se hace para contratos de compra del producto a 30, 60 y 90 días.

La información resumida en el Cuadro 8 sobre el cálculo de la garantía básica para un contrato de papa se interpreta de la siguiente manera. Se observa que la garantía básica pedida al comprador del contrato varía de -5 colones, con un precio de contrato de 100 colones, a -15 colones, con un precio de contrato de 120 colones. Por su parte, al vendedor del contrato se le pediría una garantía básica de 57 colones, con un precio de con-

11 El signo de la columna con el título "diferencia observada" indica la dirección en que se movió la diferencia del precio. Un signo de valor negativo significa, entonces, que esa diferencia se movió adversamente para el agente.

trato de 100 colones, y una garantía de 37 colones, cuando el precio de contrato es de 120 colones.

Utilizando la información en los cuadros 7 y 8, se puede observar que el cálculo de la garantía básica fue acertado. El precio observado en junio de 110 colones implica que el vendedor del contrato es el único que podría incumplir el acuerdo; por ello, la bolsa necesita al menos 10 colones como garantía del contrato. Un aspecto colateral de este ejemplo es que, de estar impuesto el sistema de garantías tal y como se ha descrito anteriormente, un contrato de entrega con un precio de referencia de 100 colones muy probablemente no se hubiera firmado, pues el vendedor tendría que incurrir en un alto desembolso (57 colones/kilogramo) solo para cubrir la garantía.

Una detallada comparación entre la garantía pedida y la cantidad requerida para asegurar los contratos al cerrarse estos, según el Cuadro 8, permite concluir lo siguiente. El cálculo de la garantía básica fue eficiente para ambos productos estudiados, en virtud de que siempre fue suficiente para cubrir un posible incumplimiento, tanto del comprador como del vendedor del contrato.

3.2.2.2. *Cálculo de la garantía ajustada*

Dadas las oscilaciones que se pueden dar en el precio desde el momento de cotizarse un contrato al cierre de este, la garantía básica debe ser ajustada mediante una "llamada al margen", la cual se hace para que el comisionista amplíe el valor de la garantía básica, cuando esta resulta insuficiente para cubrir las fluctuaciones en los precios. Si bien el número de llamadas al margen puede ser ilimitado, el MAV podría reducir la necesidad de realizarlas. Como se explicó en la propuesta metodológica, el MAV permite incorporar, cada mes o período transcurrido, la nueva información disponible en el pronóstico de precio y en la estimación de banda de precio y, por ende, en el cálculo de la garantía. A la nueva garantía se le llama "garantía ajustada".

Para mostrar la aplicación de este atributo del MAV, se han calculado garantías ajustadas utilizando la nueva información disponible en octubre y noviembre, las cuales se muestran en el Cuadro 8 del Anexo 2. Así, en junio se calculan las nuevas garantías para los contratos aún pendientes (julio y agosto), y en julio se hacen los ajustes para el contrato pen-

diente a agosto. De nuevo, un número negativo en la garantía ajustada implica el no pago de la garantía.

Un ejemplo es el cálculo de la garantía ajustada para un contrato de compra de papa a agosto y con un precio de referencia de 100 colones (Cuadro 8). Como se explicó anteriormente, este contrato se suscribe en mayo y se pide una garantía básica de -28 colones al comprador y 91 colones al vendedor. Después de transcurrido un mes, y con la información de junio debidamente incorporada en el MAV, se le hace una llamada al margen al comprador de 5 colones para completar su garantía ajustada a 5 colones, mientras al vendedor no se le ajusta la garantía. En julio, ni al comprador ni al vendedor se les llamaría a ampliar la garantía. Entonces, al vencer el plazo del contrato, se observa que el comprador de este tiene depositados como garantía 5 colones (5%), esto por el contrato que firmó en mayo a un precio de referencia de 100 colones, y el vendedor 91 colones. Para efectos de evaluación del método, se utiliza la diferencia entre el precio del contrato y el precio observado en el mercado de disponibles de la papa en el momento del vencimiento del contrato en agosto. Para la papa, esta diferencia fue de 10 colones a favor del vendedor, por lo que el MAV cumplió su función: crear el efectivo necesario para garantizar el contrato, en caso de que el comprador no quisiera o no pudiera cumplir con el contrato.

El Cuadro 8 presenta suficientes ejemplos de cómo el método propuesto aproxima bastante bien la garantía básica necesaria y motivaría a hacer llamadas al margen, la mayoría de veces acertadas. Nótese también que el precio de referencia es la base más importante para el cálculo de la garantía que se debe pagar, y que la garantía se comparte entre el comprador y el vendedor. En la medida en que los actores del mercado firmen contratos más o menos apegados a los pronósticos de precios, el monto de la garantía será menor y compartido por el comprador y el vendedor. Sin embargo, a medida que el precio de referencia se desvíe del precio esperado en el mercado, la garantía básica y la ajustada se incrementarán para uno de los autores, ya sea el comprador o el vendedor. Lo anterior revela cómo el mecanismo de fijación de garantías propuesto se auto-corrige, de acuerdo con el riesgo de incumplimiento de las partes.

4. MODELO PROTOTIPO DE PROYECCIÓN DE PRECIOS Y FIJACIÓN DE GARANTÍAS PARA TRANSACCIONES EN BOLSAS DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS

Este programa de cómputo, elaborado para ser utilizado en el cálculo automático de garantías al realizar negocios en una bolsa de productos agropecuarios, se basa en el MPP y el MAV desarrollados en este estudio, a partir de los cuales se estiman las garantías para los compradores y los vendedores de contratos de productos en las bolsas de físicos. Las proyecciones se realizan con base en la información histórica de dos o tres variables (dentro del programa se interpretan como X, Y y Z), que se consideren relevantes para la explicación de los movimientos en los precios del producto.

La metodología y la teoría económica utilizada se explicaron en las secciones anteriores. Mediante el programa creado se realiza este procedimiento en ocho pasos, que se detallan en las secciones 4.2 a 4.9. La interfase se desarrolló con el paquete de programación Borland Delphi 4.0 y los modelos se ejecutan con Eviews® 3.1 (Quantitative Micro Software).

4.1. *Instalación del Programa*

El programa utiliza como base Eviews® 3.1 o una versión más actualizada; por lo tanto, se requiere que dicho *software* esté instalado en la computadora¹². Para la instalación del modelo prototipo se debe insertar el disquete que viene anexado a este documento, desde el cual se ejecuta el programa de instalación "INSTALAR.BAT". El proceso de instalación crea el subdirectorio C:\MPP, donde copia los archivos requeridos para la utilización del programa. Para iniciar el programa se ejecuta el archivo "MPP.EXE", localizado en el mismo subdirectorio.

12 Referirse a www.eviews.com.

4.2. Paso 1: Ver y Modificar el Archivo de Datos (Figura 4.1)

Lo primero es definir dos o tres series de tiempo que sean relevantes para la explicación de los cambios en el precio de un producto. La primera serie debe contener los precios históricos de este. El programa está diseñado para trabajar a partir de estas series de datos, las cuales se deben encontrar en un archivo de Excel® llamado DATOS.XLS, que se localiza el subdirectorio C:\MPP. En este mismo subdirectorio están instalados todos los archivos necesarios para la ejecución del programa. A partir del archivo de Excel®, el programa Eviews® importa los datos para realizar los cálculos y pruebas econométricas que permiten crear los pronósticos de los precios y estimar las garantías para los agentes participantes.

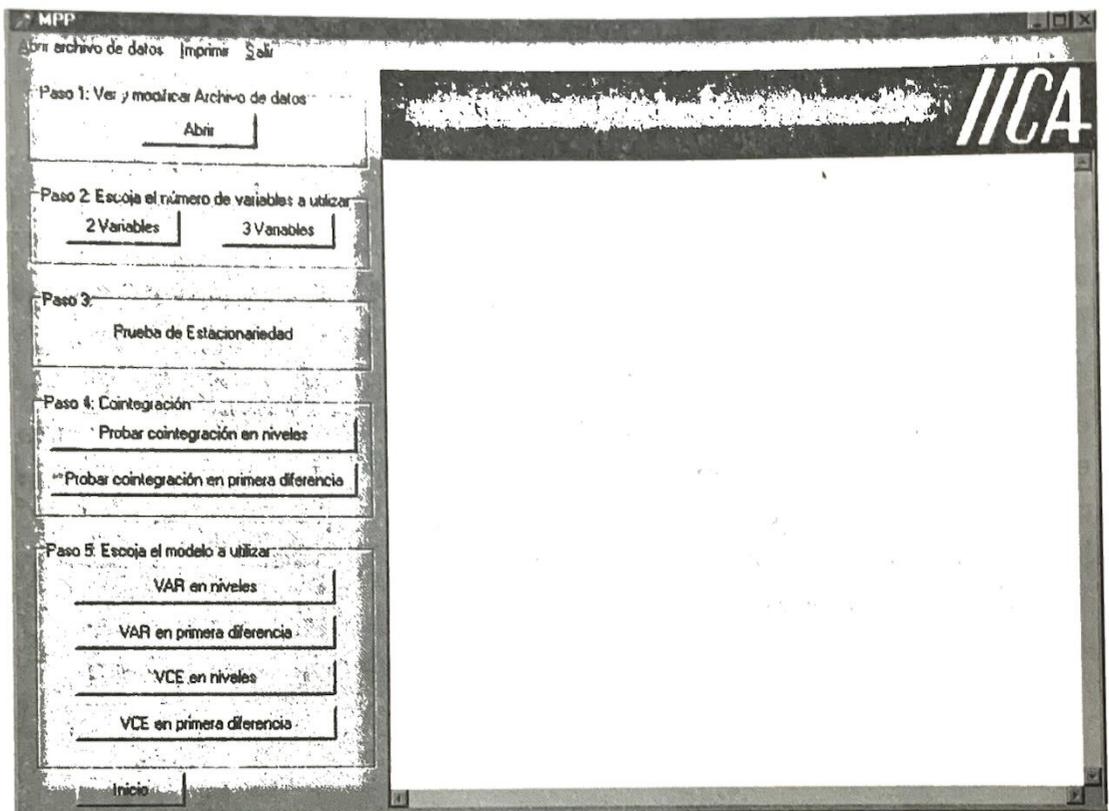


Figura 4.1. Pantalla inicial

El archivo DATOS.XLS debe contener las series a partir de la celda B2 de la primera hoja electrónica. Además, la serie de precios debe acomodarse en la columna B, esto con la finalidad de reservar la primera fila (1) para el nombre de las series y la primera columna (A) para las fechas, así como para mantener un orden definido que facilite el manejo de los datos. Los pronósticos se realizan con los datos de la columna B; de ahí la importancia de que los precios del producto estén localizados en esta columna.

Antes de iniciar las pruebas y los cálculos econométricos, se recomienda abrir y modificar esta información según lo especificado anteriormente, a fin de evitar errores en los siguientes pasos. Ello se puede realizar oprimiendo el botón "Abrir", como se observa en la Figura 4.1.

El programa está diseñado para trabajar hasta con series de 20 000 observaciones. Además, no es relevante que la información esté en días, semanas o meses, pues las estimaciones trabajan de igual forma; lo que variaría es la interpretación de los resultados, que debe hacerse acorde con la frecuencia de los datos.

4.3. Paso 2: Elegir las Variables

Es posible trabajar con dos o con tres series históricas de variables. La decisión depende de la información disponible y de su importancia para explicar los cambios en los precios del producto. Antes de seguir con el tercer paso, el programa exige elegir la cantidad de variables que se van a utilizar. Véanse los botones respectivos en la Figura 4.1.

4.4. Paso 3: Hacer la Prueba de Estacionariedad

Las series de tiempo pueden presentar ciertas características que modifican las estimaciones econométricas y el poder de predicción, como por ejemplo la existencia de estacionariedad o de cointegración. Buscando maximizar este poder de predicción, se realiza una serie de pruebas que permitan determinar este tipo de características para decidir cuál es el modelo más adecuado para realizar los pronósticos.



Figura 4.2

Primeramente se utiliza la prueba ADF (*Augmented Dickey Fuller Test*) para poder concluir si existe estacionariedad¹³ o si no existe. Si se rechaza la hipótesis de estacionariedad, las series se transforman a su primera diferencia, a fin de lograr mejores resultados.

Después de la escogencia de dos o tres variables, la prueba se ejecuta automáticamente oprimiendo el botón "ok" (Figura 4.2).

La prueba presenta un resultado como el siguiente (para los ejemplos se utiliza el caso de la papa con dos variables, el cual fue tratado ampliamente en las secciones anteriores):

Lo primero que se puede observar es que se utilizan los logaritmos de las series y no la información en niveles, bajo el supuesto de que los precios se ajusten a una distribución logarítmica normal (Anexo 4). Para proceder con los cálculos econométricos las series deben presentar la característica de estacionariedad. Los resultados muestran que la serie $X \text{ LOGX}$ es no estacionaria a distintos niveles de significancia, dado que el valor crítico (tabulados por Mackinnon, 1991) es menor, en valor absoluto, que el ADF estadístico, para niveles de confianza de 1%, 5% y 10%. Por otro lado, la serie Y sí es estacionaria, según la comparación de los valores críticos y el ADF estadístico. Sin embargo, debido a la existencia de al menos una serie no estacionaria, es preferible usar las primeras diferencias.

¹³ Véase la página 16 para una definición del término.

Prueba de Estacionariedad ADF

Serie	LOG(X)	LOG(Y)	DLOG(X)	DLOG(Y)
ADF estadístico	-2.186	-3.686	-7.872	-14.487
Valor crítico al 1%		-3.4778		
Valor crítico al 5%		-2.8821		
Valor crítico al 10%		-2.5776		

Resultados

Nivel de confianza	LOG(X)	LOG(Y)	DLOG(X)	DLOG(Y)
1%	No estacionaria	Estacionaria	Estacionaria	Estacionaria
5%	No estacionaria	Estacionaria	Estacionaria	Estacionaria
10%	No estacionaria	Estacionaria	Estacionaria	Estacionaria

NOTAS: LOG(X): logaritmo natural de X.
 DLOG(X): primera diferencia del logaritmo natural de X
 LOG(Y): logaritmo natural de Y
 DLOG(Y): primera diferencia del logaritmo natural de Y

La tabla de resultados también permite concluir que la serie X tiene un orden de integración igual a uno, pues con la primera diferencia (DLOGX) la serie se convierte en estacionaria. Por otro lado, Y, que es estacionaria en niveles, es de un orden de integración igual a cero. Es decir, X y Y poseen un orden de integración diferente; por consiguiente, se rechaza la existencia de cointegración y se obviaría el paso 4 de la Figura 4.3. Es importante recalcar que, si el orden de integración de las series fuera el mismo, es necesario proceder con el paso 4; es decir, se debe probar si existe cointegración, lo que sería necesario para decidir cuál es el mejor modelo de proyección.

4.5. Paso 4: Probar Si Existe Cointegración

Si se detectó que las series de tiempo utilizadas presentan el mismo orden de integración, se utiliza la prueba de Johansen (1991) para deter-

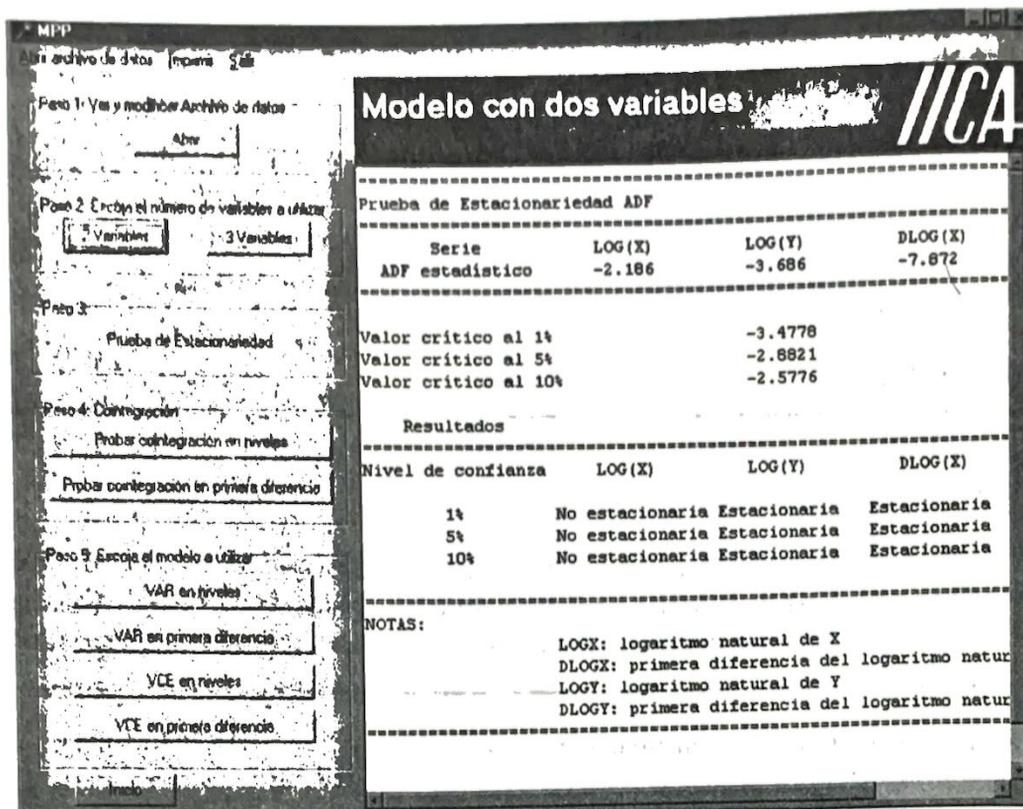


Figura 4.3. Prueba de estacionariedad

minar la existencia de cointegración¹⁴. La prueba se puede realizar en primeras diferencias o en niveles; la elección depende de la existencia o no de estacionariedad (ver paso 3). La prueba se ejecuta oprimiendo el botón respectivo de la prueba deseada (Figura 4.3).

El programa presenta una hoja de resultados como la que aparece en la página 47. Dada la existencia de un orden diferente de integración de las series, este paso debe obviarse; sin embargo, se procedió con él para dar un ejemplo.

La primera parte muestra los resultados para determinar el número de relaciones de cointegración que existen entre las series. La primera columna presenta el *eigenvalue* y la segunda el estadístico *likelihood ratio*, al cual se le llama PMV en nuestra propuesta metodológica. Para determinar la cantidad de las relaciones de cointegración r , se realiza la prue-

¹⁴ Véase la página 18 para una definición del término.

Johansen Cointegration Test

Date: 05/17/01 Time: 08:46

Sample: 1 20000

Included observations: 139

Test assumption: Linear deterministic trend in the data

Series: DLOG(X) DLOG(Y)

Lags interval: No lags

Eigenvalue	Likelihood Ratio	5 Percent Critical Value		1 Percent Hypothesized Critical Value	
					No. of CE(s)
0.632617	191.1228	15.41	20.04	None **	
0.311770	51.93492	3.76	6.65	At most 1 **	

*(**) denotes rejection of the hypothesis at 5%(1%) significance level

L.R. test indicates 2 cointegrating equation(s) at 5% significance level

Unnormalized Cointegrating Coefficients:

DLOG(X)	DLOG(Y)
0.114738	0.447434
0.377956	-0.002481

Normalized Cointegrating Coefficients: 1 Cointegrating Equation(s)

DLOG(X)	DLOG(Y)	C
1.000000	3.899617 (0.83170)	-0.033053

Log likelihood 34.61285

ba con la hipótesis de ninguna relación (primera fila), luego con la hipótesis de una relación (segunda fila) y sucesivamente se va aumentando en uno la posible cantidad de relaciones en la hipótesis que se va a probar, resultados que se presentan en las líneas subsiguientes. Estas hipótesis se prueban contra la hipótesis alternativa del *full rank*. Se debe recordar que todas las series deben tener el mismo orden de integración para que exista cointegración.

El resultado se determina comparando el PMV (*likelihood ratio* en el cuadro) y los valores críticos (reportados por Osterwald-Lenum, 1992). Como el primero es mayor que los valores críticos para niveles de con-

fianza de 5% y de 1%, no se pueden rechazar las hipótesis nulas presentadas y, por lo tanto, se concluye la existencia de dos relaciones de cointegración. Un requisito para la cointegración es que las series posean el mismo orden de integración; por lo tanto, aunque la prueba de Johansen muestra pruebas estadísticas de cointegración, ya se había rechazado la posibilidad de realizar los pronósticos con la corrección por cointegración (porque una de las series resultó ser estacionaria).

Posteriormente en la tabla se presentan los resultados de los coeficientes de cointegración. Estos se pueden interpretar como la velocidad de transmisión de una variable a otra, es decir, en cuánto varía X ante un cambio en Y . Bajo cada coeficiente, excepto para los normalizados, se presenta su error estándar entre paréntesis.

Si no se rechaza la hipótesis de cointegración, se recomienda utilizar un VCE, el cual realiza las modificaciones necesarias para tomar en cuenta la existencia de esta característica entre las series. Para nuestro caso, se utiliza el modelo VAR, pues las series no pueden estar cointegradas.

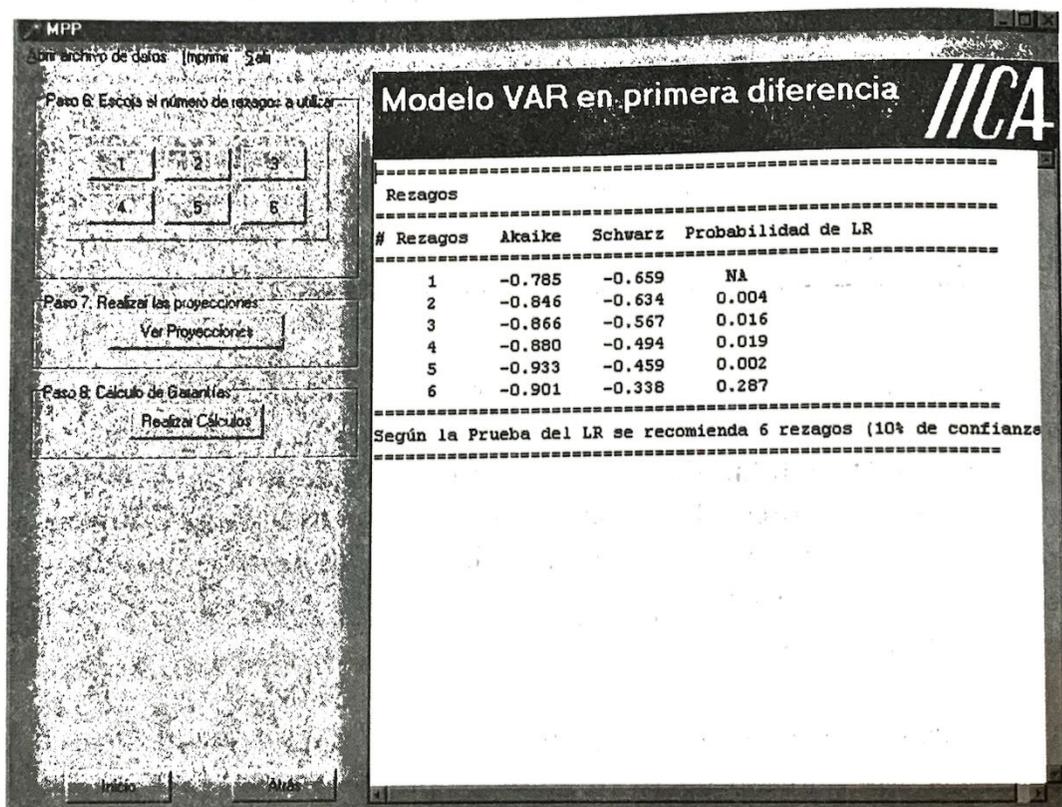


Figura 4.4. Modelo VAR en primeras diferencias

4.6. Paso 5: Seleccionar el Modelo (Figura 4.4)

4.6.1. Niveles o primera diferencia

Mediante la prueba ADF, se detecta si existe o no existe estacionariedad. Si no existe, se recomienda utilizar las primeras diferencias de las series para, de este modo, lograr mejores estimaciones. Por el contrario, si todas las series son estacionarias, se usan los modelos en niveles.

4.6.2. VAR o VCE

Esta decisión tiene que ver con la existencia de cointegración. Si la prueba de Johansen indica que hay cointegración, se recomienda utilizar el modelo VCE, pero si muestra que no la hay se usa el modelo VAR.

Para el ejemplo, dado que existe una serie no estacionaria y no hay cointegración, se elige el modelo VAR en primeras diferencias.

4.7. Paso 6: Escoger el Número de Rezagos

Cuando se escoge el modelo que mejor se adapte a las características de las series, seguidamente se presenta el resultado de los criterios AIC y SC, además de la probabilidad de la PMV, con el fin de obtener estadísticamente el número óptimo de rezagos (Figura 4.4), es decir, determinar la información histórica relevante para explicar los cambios en el precio del producto. El resultado es el siguiente:

Rezagos # Rezagos	Akaike	Schwarz	Probabilidad de LR
1	-0.785	-0.659	NA
2	-0.846	-0.634	0.004
3	-0.866	-0.567	0.016
4	-0.880	-0.494	0.019
5	-0.933	-0.459	0.002
6	-0.901	-0.338	0.287

Según la prueba del LR se recomiendan seis rezagos (10% de confianza)

El AIC y el SC indican el número óptimo de rezagos que se han de utilizar en el VAR (o en el VCE, si hay cointegración). Los resultados indican que el AIC recomienda un rezago y que el SC seis rezagos, por lo que existe inconsistencia entre los dos criterios.

La siguiente etapa es proceder con la PMV. Se escoge aquel nivel de rezago en que la probabilidad es mayor a 0.10; es decir, seis rezagos, con la probabilidad de 0.287. Con base en esta prueba, el programa automáticamente recomienda el mejor modelo, pero la decisión final la toma el usuario.

La cantidad de rezagos se elige oprimiendo el botón que muestra el número pertinente. Al elegir los rezagos que se incorporan en el cálculo del modelo, se muestran los coeficientes estimados en el marco del modelo escogido, que serán los utilizados para realizar los pronósticos. Con los datos de la papa de primera, el programa presenta la estimación con seis rezagos (recuérdese que se está utilizando un VAR en primeras diferencias) tal como en la siguiente tabla:

Coeficientes Estimados del Sistema		
Variable	DLOGX	DLOGY
Constante	0.0189	0.0095
DLOGX (-1)	0.2207	-0.1921
DLOGY (-1)	-0.1861	-0.1075
DLOGX (-2)	-0.2229	0.0498
DLOGY (-2)	-0.1794	0.0366
DLOGX (-3)	-0.2391	-0.0681
DLOGY (-3)	-0.1489	-0.0156
DLOGX (-4)	-0.0453	-0.3700
DLOGY (-4)	-0.0055	-0.3014
DLOGX (-5)	-0.0849	-0.1403
DLOGY (-5)	0.0472	-0.0774
DLOGX (-6)	0.0519	0.0135
DLOGY (-6)	-0.1378	-0.0055

Tabla (continuación)

Vector Autoregression Estimates

Date: 05/17/01 Time: 09:19

Sample (adjusted): 8 141

Included observations: 134 after adjusting endpoints

Standard errors & t-statistics in parentheses

	DLOG(X)	DLOG(Y)
DLOG(X(-1))	0.220700 (0.09428) (2.34100)	-0.192061 (0.09656) (-1.98895)
DLOG(X(-2))	-0.186118 (0.09225) (-2.01743)	-0.107481 (0.09449) (-1.13744)
DLOG(X(-3))	-0.222920 (0.09319) (-2.39222)	0.049839 (0.09545) (0.52217)
DLOG(X(-4))	-0.179356 (0.09247) (-1.93954)	0.036609 (0.09472) (0.38651)
DLOG(X(-5))	-0.239128 (0.09146) (-2.61448)	-0.068073 (0.09368) (-0.72663)
DLOG(X(-6))	-0.148946 (0.09166) (-1.62500)	-0.015561 (0.09388) (-0.16575)
DLOG(Y(-1))	-0.045297 (0.09403) (-0.48172)	-0.369970 (0.09631) (-3.84133)
DLOG(Y(-2))	-0.005465 (0.10154) (-0.05382)	-0.301375 (0.10400) (-2.89778)
DLOG(Y(-3))	-0.084899 (0.10581) (-0.80234)	-0.140289 (0.10838) (-1.29439)
DLOG(Y(-4))	0.047193 (0.10603) (0.44507)	-0.077398 (0.10861) (-0.71264)
DLOG(Y(-5))	0.051883 (0.10196) (0.50887)	0.013521 (0.10443) (0.12947)
DLOG(Y(-6))	-0.137794 (0.09474) (-1.45437)	-0.005530 (0.09704) (-0.05698)

Tabla (continuación)

C	0.018916 (0.01642) (1.15207)	0.009539 (0.01682) (0.56721)
R-squared	0.375122	0.158250
Adj. R-squared	0.313151	0.074771
Sum sq. resids	4.250025	4.458820
S.E. equation	0.187414	0.191963
F-statistic	6.053151	1.895684
Log likelihood	41.07355	37.86026
Akaike AIC	-0.419008	-0.371049
Schwarz SC	-0.137874	-0.089915
Mean dependent	0.012011	0.003980
S.D. dependent	0.226137	0.199569
Determinant Residual Covariance	0.000945	
Log Likelihood	86.34290	
Akaike Information Criteria	-0.900640	
Schwarz Criteria	-0.338373	

La tabla se presenta en dos secciones principales. La primera de estas muestra los coeficientes estimados según el modelo elegido, en este caso un VAR en primeras diferencias con seis rezagos y dos variables. La segunda parte presenta estos coeficientes y sus errores estándar y su t-estadística, ambos datos entre paréntesis. Los demás estadísticos son de poca relevancia para los propósitos de este estudio, pero pueden ser consultados en cualquier libro de econometría.

4.8. Paso 7: Realizar las Proyecciones (Figura 4.5)

Después de analizar los coeficientes, se debe proceder a realizar las proyecciones, para lo cual se oprime el botón "Ver proyecciones". El programa presenta los pronósticos para tres períodos futuros de las variables X y Y, así como los intervalos de confianza (con un nivel de significancia de 95%). El desglose del programa es el siguiente: igual al precio de pronóstico ± 1.96 desviaciones estándar.

X y Y, así como los intervalos de confianza (con un nivel de significancia de 95%). El desglose del programa es el siguiente: igual al precio de pronóstico ± 1.96 desviaciones estándar.

Pronósticos de las variables para tres períodos

Período	Mínimo	Serie X Pronóstico	Máximo	Serie Y Pronóstico
1	68.91	93.33	117.75	1228102.97
2	68.16	93.28	118.41	1187091.22
3	67.55	92.87	118.20	1220299.92

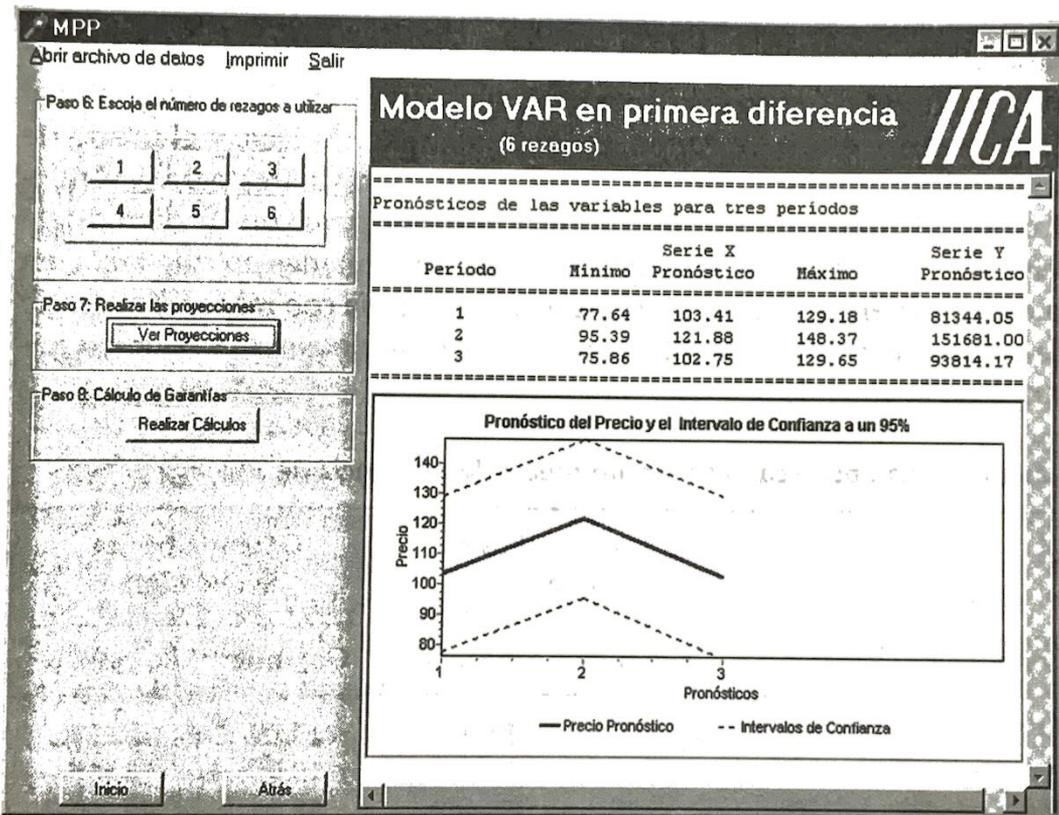


Figura 4.5. Pronósticos

4.9. Paso 8: Calcular las Garantías (Figura 4.6)

Como último paso se calcularán las garantías para el comprador y el vendedor. Para ello se debe presionar el botón "Realizar Cálculos", el cual despliega un recuadro (Figura 4.6) en que se debe introducir el precio de referencia del contrato.

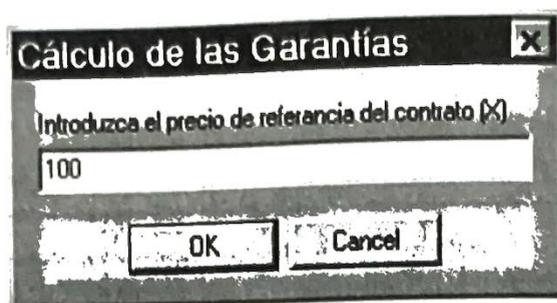


Figura 4.6. Cálculo de garantías

Con este precio y a partir de los intervalos de confianza estimados anteriormente, se calculan las garantías para los compradores y los vendedores del contrato del producto. Si el agente ofrece un contrato de compra de papa (comprador), su garantía básica es la diferencia entre el límite inferior o el precio mínimo, según los pronósticos, y el precio de referencia del contrato. De igual manera, la garantía básica para el vendedor es la diferencia entre el límite superior o precio máximo y el precio de referencia del contrato. Estas garantías son presentadas en una tabla, en la cual también aparece el porcentaje de la garantía con respecto al precio de referencia del contrato. El siguiente es el ejemplo que se ha venido tratando de la papa de primera:

Cálculo de garantías con base en un precio de referencia de 100

Contrato a:	Precio de Referencia	Garantía básica (comprador)		Garantía básica (vendedor)	
		Garantía	Porcentaje	Garantía	Porcentaje
Un período	100	31.09	31.09%	17.75	17.75%
Dos períodos	100	31.84	31.84%	18.41	18.41%
Tres períodos	100	32.45	32.45%	18.20	18.20%

Nota: El porcentaje es con respecto al precio de referencia.

Suponiendo un precio de referencia de 100, para un período la garantía básica fue de 31.09 (o un 31.09%) para el comprador y de 17.75 (o un 17.75%) para el vendedor. Para dos períodos fue de 31.84 y de 18.41, respectivamente. De forma similar se realiza la interpretación para tres períodos.

5. COMENTARIOS FINALES

Este documento empieza con una breve descripción de los procedimientos seguidos en la fijación de garantías. Continúa con una propuesta metodológica que utiliza la información proporcionada por series de precio y otras series de tiempo de variables relacionadas económicamente, como es el caso del volumen comercializado. Finalmente, la propuesta metodológica se pone a prueba mediante una serie de ejercicios prácticos, en los que se analizan sus fortalezas y limitaciones.

Una bolsa de productos agropecuarios, en su deber de establecer, cuando así lo estime conveniente, los rangos o las bandas de variación de las cotizaciones de los distintos productos, con el propósito de limitar las fluctuaciones abruptas de los precios, necesita métodos que ayuden a descubrir el precio de mercado de los productos. En este documento se ha propuesto utilizar el MPP para realizar pronósticos de precios lo más cercanos posibles a la realidad, lo que dependerá de la información relevante incorporada en el modelo. Una vez identificado el precio de mercado, se necesitan mecanismos para reducir el riesgo de fluctuaciones en los precios desde el momento en que se firma un contrato y el momento de entrega del producto. El método de análisis de volatilidad (MAV) se recomienda para asignar bandas de precios y mejorar el sistema de fijación de garantías.

Con base en los precios y volúmenes comercializados de la papa y el frijol en el mercado mayorista de Costa Rica, se pudo demostrar las bondades de la metodología propuesta. Los métodos que la conforman darían mejores resultados si se utilizaran datos de productos transados en una bolsa, sobre todo porque las transacciones se hacen en un ambiente de mayor transparencia y porque la definición de los productos es mucho más clara. Además, las garantías pagadas por compradores y vendedores contienen información muy valiosa sobre la disposición de los agentes a pagar, en caso de que sus cálculos se hayan desviado del pronóstico de precios. El pago de garantías se convierte así, junto con el precio de referencia del contrato, en un indicador importante sobre las tendencias del mercado, por lo que deberían ser incorporados en la estimación del MPP.

Las bandas de variación de precios se calcularon con un nivel de confianza del 95%, de manera que la bolsa todavía asume un 5% del riesgo en caso de incumplimiento por parte del comprador o vendedor del contrato. Las garantías serían menores, si la bolsa estuviera dispuesta a asu-

mir una porción mayor del riesgo de incumplimiento o si considerara que dicho riesgo es bajo. En futuras investigaciones, la probabilidad del riesgo de incumplimiento del contrato se podría incorporar como una variable explicativa adicional, de manera que haya una relación directa entre el pago de garantías y la probabilidad de incumplimiento.

Las contribuciones de la propuesta metodológica se dan en dos campos. Por una parte, en las primeras etapas de una bolsa de productos donde no hay aún mercados de futuros, la propuesta metodológica podría ayudar como un instrumento que sirve de guía para el pronóstico de precios futuros, permitiendo que los actores en bolsa tengan un precio de referencia para contratos a futuro. Este instrumento sería una guía para los contratos futuros y, dada la gran flexibilidad que presenta la metodología propuesta, haría que las proyecciones se ajusten conforme a lo que el mercado dicta. Claro está, una vez que el mercado físico de entregas a futuro esté funcionando en forma transparente, es de esperar que este se encargue, por sí mismo, del pronóstico de precios.

Por otra parte, las ventajas de esta metodología para el proceso de fijación de garantías permite, entre otras cosas, que las garantías sean menores, que haya menos llamadas al margen y que se dé un trato diferenciado por riesgo entre las partes del contrato. Esto último se observa en la forma en que el mecanismo se auto-corrige de período en período y en que ajusta las garantías entre el comprador y el vendedor del contrato con base en la probabilidad de incumplimiento (riesgo de contraparte).

Finalmente, se realizó un esfuerzo adicional para la automatización de la metodología presentada en este documento. Se desarrolló un programa prototipo interactivo, de fácil uso, que permite a los interesados un mayor acceso a los beneficios de las propuestas del MPP y MAV, sin tener que lidiar con sus especificaciones técnicas.

REFERENCIAS

- Arias, J. 1993. A dynamic hedging model under price, basis, production and financial risk. Tesis Doctoral. Oklahoma, US, Oklahoma State University.
- Bolsa Nacional Agropecuaria S.A. 1990 Reglamentos: Bolsa Nacional Agropecuaria S.A. 20 años. Santa Fe de Bogotá D.C., CO.
- Green, W. 1993. Econometric analysis. 2 ed. New York, US, Macmillan Publishing Company.
- Gujarati, D. 1997. Econometría. 3 ed. Bogotá, CO, McGraw-Hill.
- Hoffman, D; Rashe, R. 1997. A vector error-correction forecasting model of the U.S. economy. US, The Federal Reserve of St. Louis. Working Paper 97-008^a. January.
- Johansen, S. 1991. Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in gaussian vector autoregressive models. *Econometrica*, 59.
- Judge, G; Hill, RC; Griffiths, W; Lütkepohl, H; Lee, T. 1987. Introduction to the theory and practice of econometrics. 2 ed., New York, US, John Wiley & Sons.
- MacKinnon, JG. 1991. Critical values for cointegration tests. In Engle, RF; Granger, CWJ. eds. Long-run economic relationships: readings in cointegration, Oxford University Press. Chapter 13.
- Osterwald-Lenum, M 1992. A note with quantiles of the asymptotic distribution of the Maximum Likelihood Cointegration Rank Test Statistics. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 54.
- Pindyck, RS; Rubinfeld, DL. 1991. Econometric models and economic forecasts. 3 ed. sl, US, McGraw-Hill, Inc.
- Quantitative Micro Software. 1998. Eviews user's guide. 2 ed. California, US.
- Martínez, E. 1993. Futuros y opciones: en la gestión de carteras. Instituto de Estudios. sl, ES, Instituto de Estudios Superiores de la Empresa.

White, KJ; Wong, SD; Whistler, D; Haun, SA. 1990. Shazam, Econometrics Computer Program: user's reference manual version 6.2. Nueva York, US, Mc Graw Hill Book Company.

Yeo, J. 2000. 2000. Economic growth in Washington: an examination of labor market-population relationships. Washington, US, Washington State University.

ANEXOS

ANEXO 1. FIGURAS

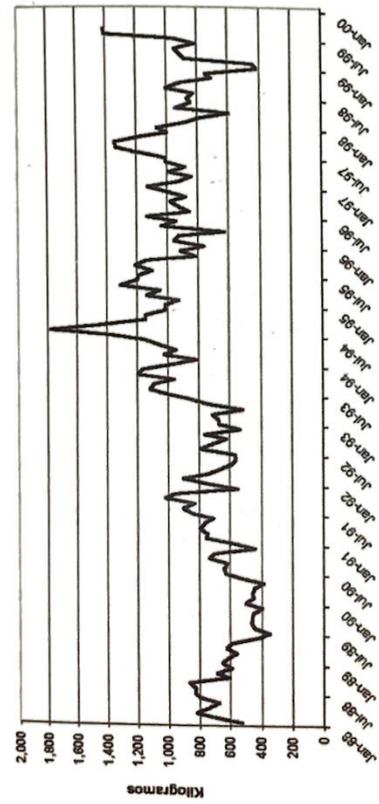


Figura 1. Volumen comercializado de papa de primera, enero 1998-setiembre 1999 (miles de kilogramos).

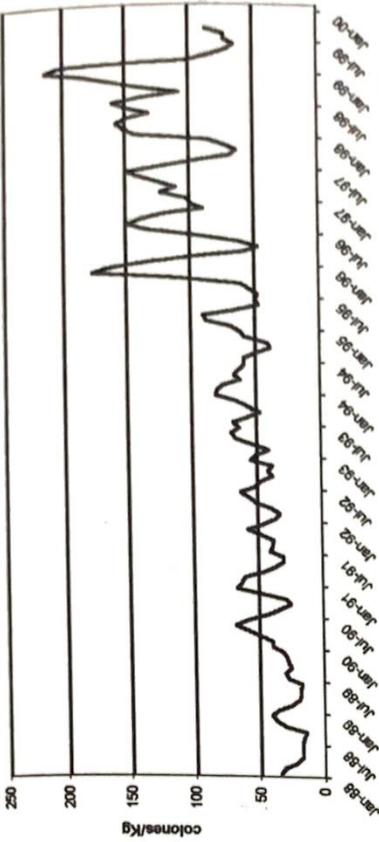


Figura 2. Precio de la papa de primera, enero 1998-setiembre 1999.

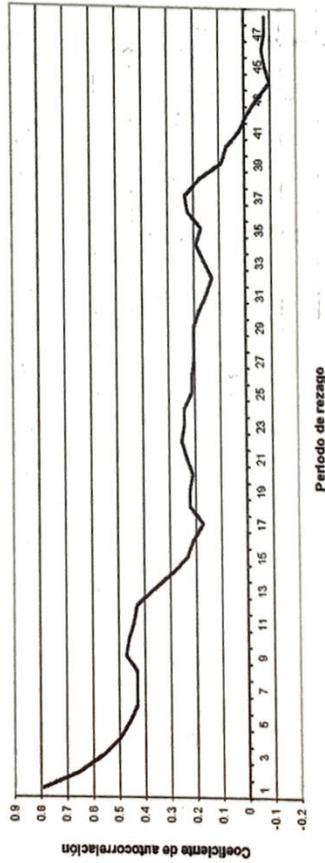


Figura 3. Función muestral de autocorrelación del volumen comercializado de papa de primera.

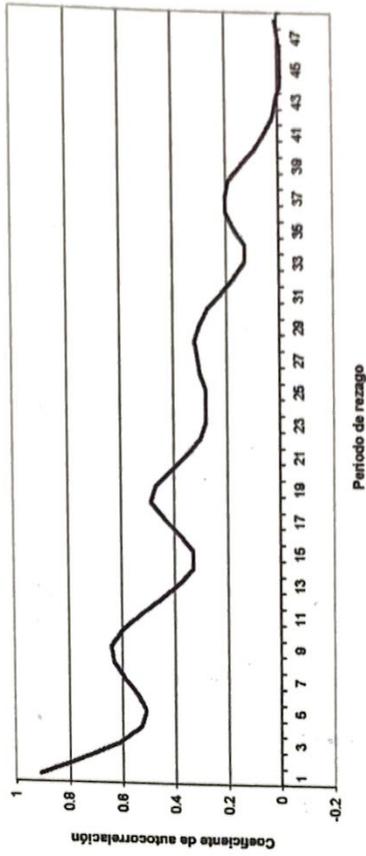


Figura 4. Función muestral de autocorrelación del precio de la papa de primera

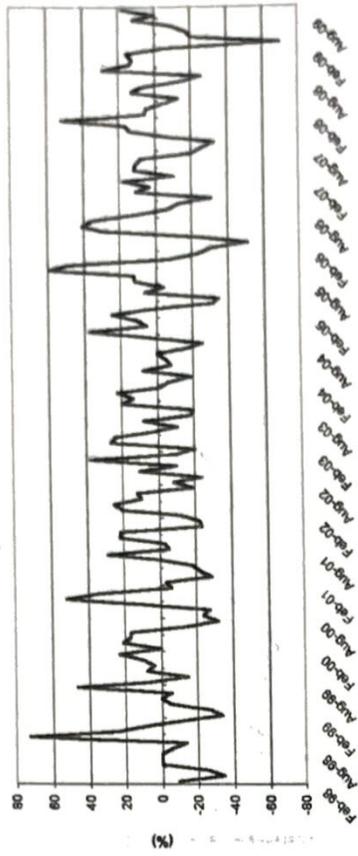


Figura 6. Logaritmo del cambio en los precios de la papa.

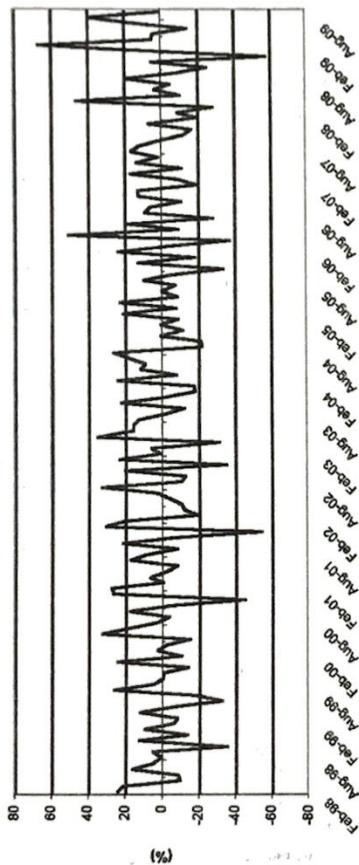


Figura 5. Logaritmo del cambio en los volúmenes comercializados de la papa.

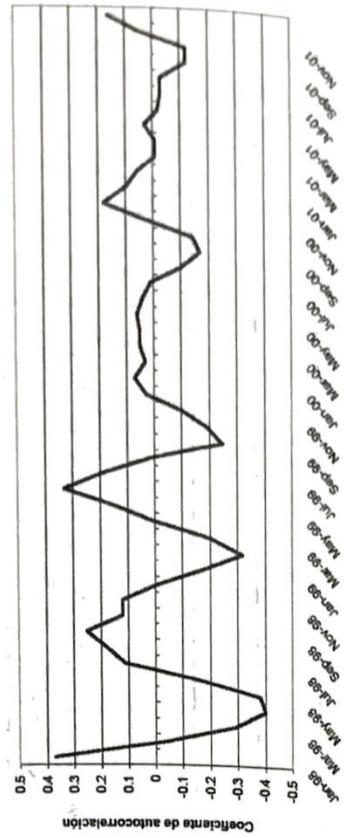


Figura 8. Función muestral de autocorrelación de las primeras diferencias en los precios de la papa.

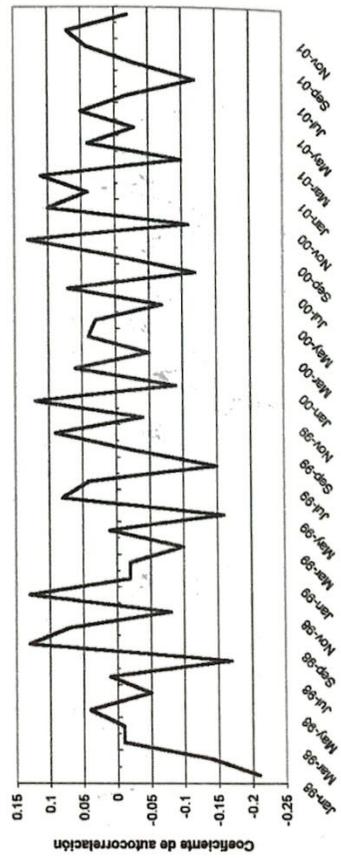


Figura 7. Función muestral de autocorrelación de las primeras diferencias en los volúmenes comercializados de la papa.

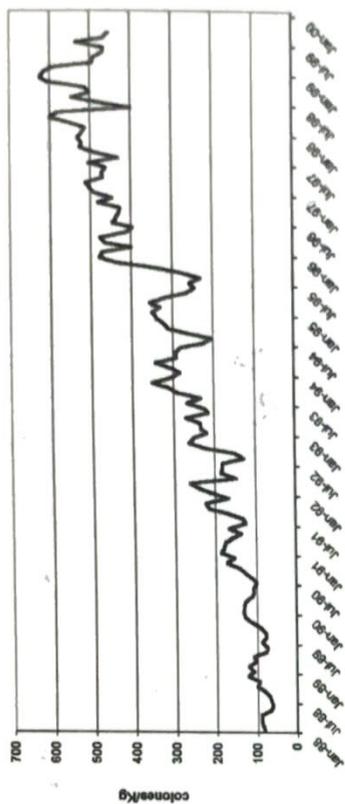


Figura 10. Precio del frijol tierno, enero1998-setiembre 1999.

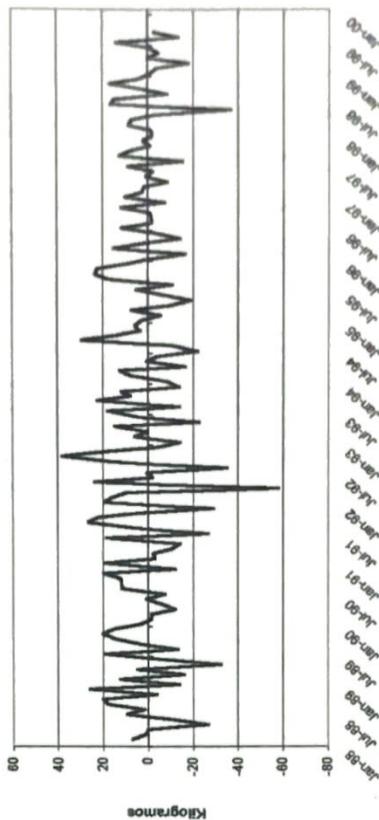


Figura 12. Logaritmo del cambio en los precios del frijol.

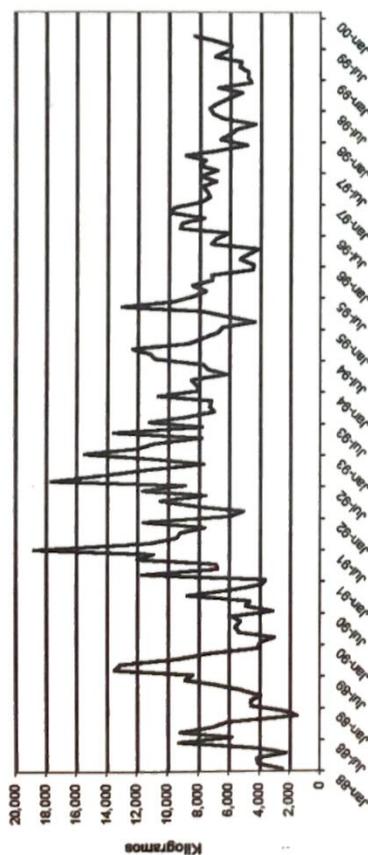


Figura 9. Volumen comercializado de frijol tierno, enero 1998-setiembre 1999 (miles de kilogramos).

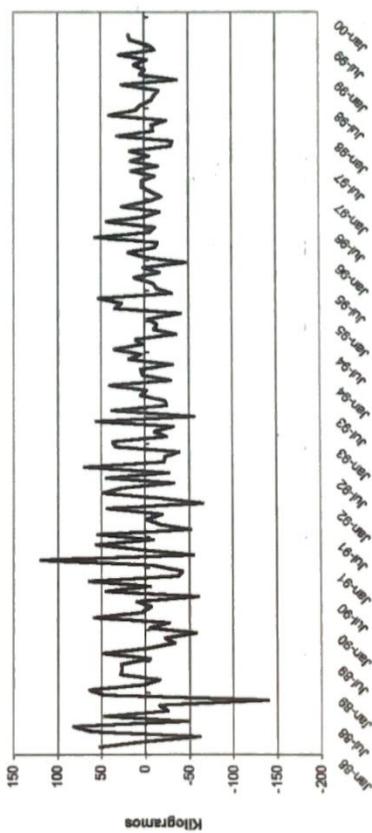


Figura 11. Logaritmo del cambio en los volúmenes comercializados del frijol.

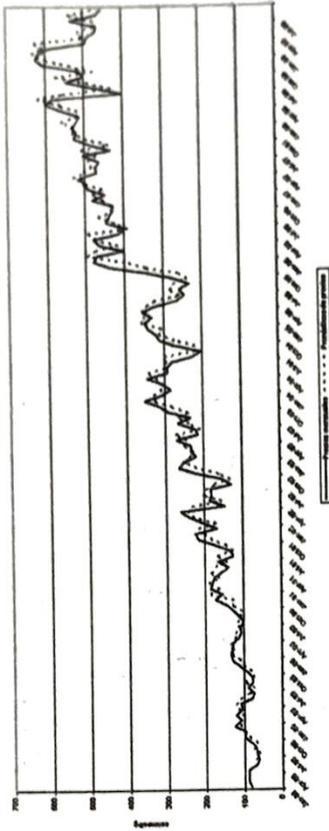


Figura 13. Precios y pronósticos de los precios para la papa de primera comercializada en el PIMA, 1988-1999.

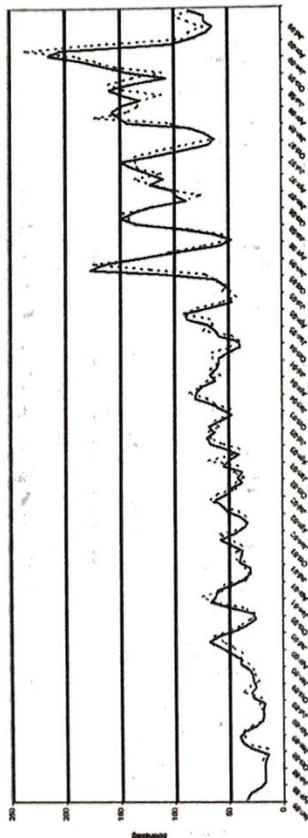


Figura 14. Precios y pronósticos de los precios para el frijol tierno comercializado en el PIMA, 1988-1999.

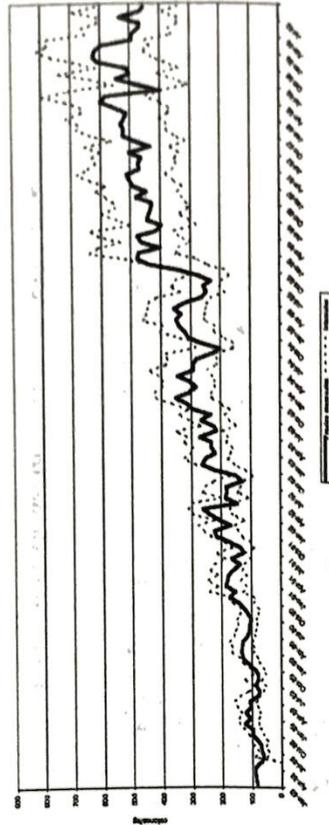


Figura 15. Precio observado de papa y un intervalo de confianza del 95% del pronóstico.

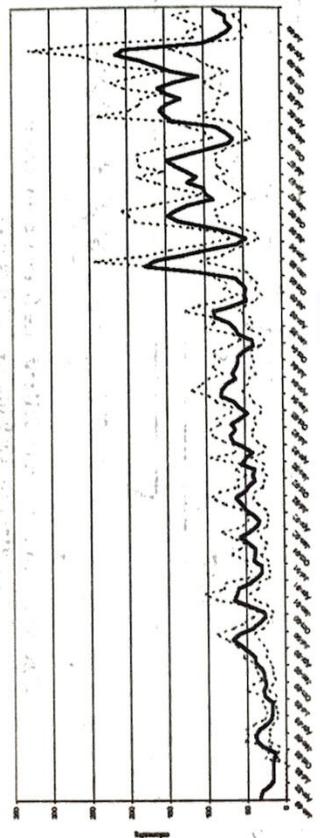


Figura 16. Precio observado del frijol y un intervalo de confianza del 95% del pronóstico.

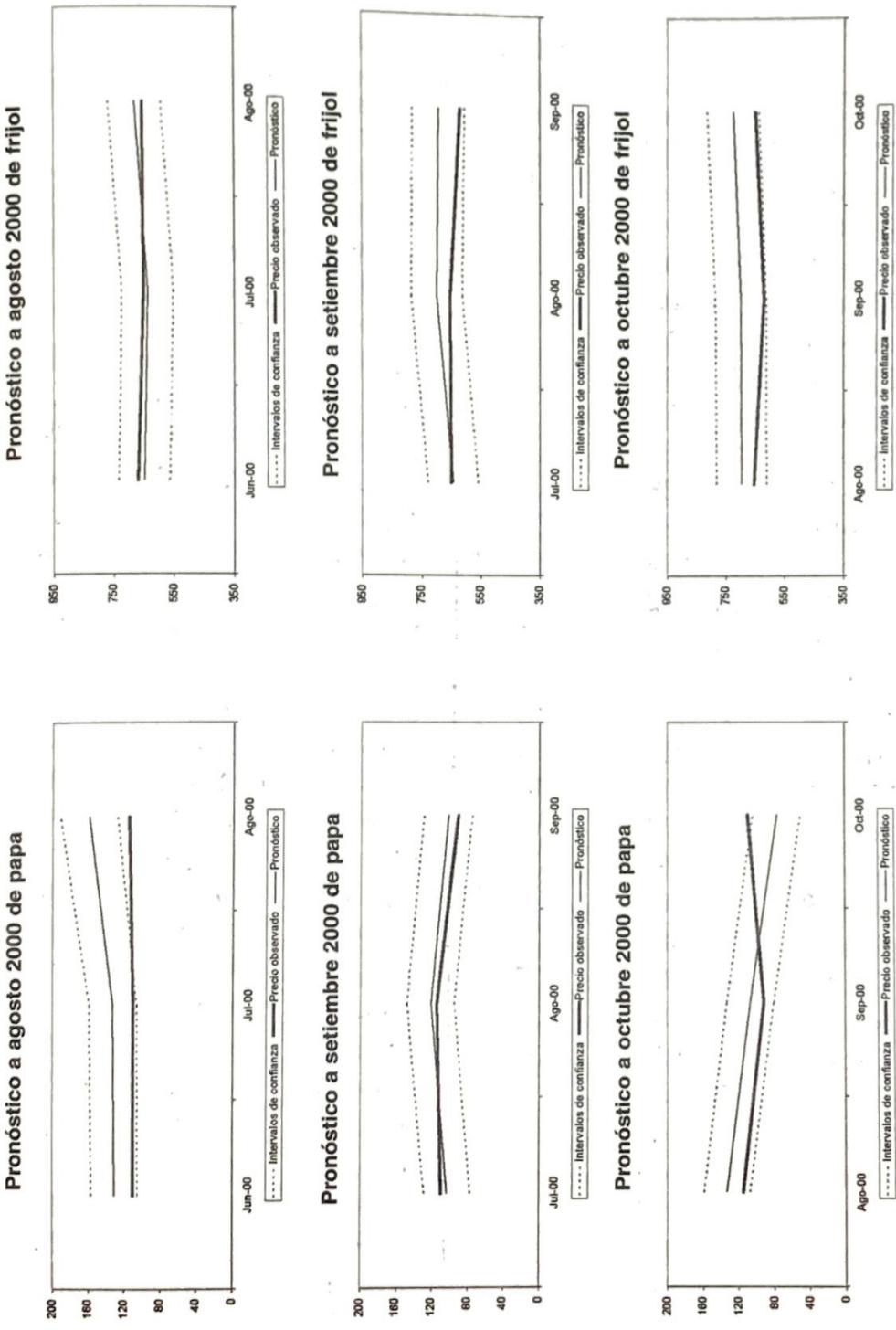


Figura 17. Pronósticos e intervalos de confianza y valores observados para la papa y el frijol en el periodo mayo-octubre del 2001.

ANEXO 2. CUADROS

Cuadro 1. Papa de primera comercializada en el CENADA, enero de 1988 a septiembre de 1999 (volumen en kilogramos y precio en colones).

Mes	Volumen	Precio	Mes	Volumen	Precio
Ene-88	522 214	34	Nov-93	1 192 810	64
Feb-88	661 992	31	Dic-93	1 166 220	80
Mar-88	815 500	22	Ene-94	968 210	79
Abr-88	736 000	17	Feb-94	808 240	74
May-88	673 716	17	Mar-94	1 023 700	61
Jun-88	788 394	17	Abr-94	942 910	66
Jul-88	825 570	17	May-94	1 056 210	61
Ago-88	822 756	16	Jun-94	1 152 190	58
Sep-88	862 738	14	Jul-94	1 369 150	58
Oct-88	603 088	29	Ago-94	1 776 760	49
Nov-88	679 994	37	Sep-94	1 422 340	38
Dic-88	590 202	40	Oct-94	1 140 843	40
Ene-89	646 990	35	Nov-94	1 143 460	58
Feb-89	606 188	25	Dic-94	1 014 610	61
Mar-89	555 628	19	Ene-95	1 014 640	68
Abr-89	624 119	18	Feb-95	923 400	87
May-89	582 314	18	Mar-95	1 135 468	89
Jun-89	419 336	17	Abr-95	1 046 770	65
Jul-89	345 693	27	May-95	1 307 812	46
Ago-89	446 108	29	Jun-95	1 194 380	49
Sep-89	464 485	25	Jul-95	1 188 495	47
Oct-89	459 952	27	Ago-95	1 098 590	53
Nov-89	456 154	28	Sep-95	1 207 304	60
Dic-89	393 934	31	Oct-95	1 133 639	108
Ene-90	500 052	39	Nov-95	806 660	176
Feb-90	449 164	39	Dic-95	911 455	163
Mar-90	458 369	48	Ene-96	756 020	129
Abr-90	445 917	57	Feb-96	954 100	95
May-90	382 076	67	Mar-96	912 157	57
Jun-90	526 808	58	Abr-96	625 473	46
Jul-90	627 722	42	May-96	1 036 750	62
Ago-90	641 378	33	Jun-96	939 582	93
Sep-90	615 486	25	Jul-96	1 127 882	132

Cuadro 1. Continuación.

Mes	Volumen	Precio	Mes	Volumen	Precio
Oct-90	730 821	28	Ago-96	847 320	147
Nov-90	694 936	47	Sep-96	924 510	137
Dic-90	440 889	66	Oct-96	977 850	120
Ene-91	573 017	62	Nov-96	875 040	88
Feb-91	753 159	60	Dic-96	991 300	98
Mar-91	745 091	45	Ene-97	1 122 960	101
Abr-91	791 829	36	Feb-97	918 950	121
May-91	766 556	30	Mar-97	834 900	109
Jun-91	704 452	30	Abr-97	985 450	123
Jul-91	833 716	40	May-97	876 920	137
Ago-91	898 857	38	Jun-97	1 001 670	148
Sep-91	825 303	37	Jul-97	1 013 170	121
Oct-91	1 018 070	46	Ago-97	1 190 490	93
Nov-91	949 380	57	Sep-97	1 335 600	67
Dic-91	549 150	45	Oct-97	1 336 950	62
Ene-92	742 654	36	Nov-97	1 177 800	71
Feb-92	901 575	32	Dic-97	991 620	84
Mar-92	738 906	39	Ene-98	1 058 920	141
Abr-92	652 962	50	Feb-98	867 300	149
May-92	584 933	55	Mar-98	790 300	156
Jun-92	558 342	62	Abr-98	592 320	148
Jul-92	572 075	51	May-98	936 650	130
Ago-92	791 020	47	Jun-98	840 250	148
Sep-92	709 872	37	Jul-98	865 780	159
Oct-92	623 218	41	Ago-98	820 916	137
Nov-92	759 742	37	Sep-98	997 920	106
Dic-92	532 111	54	Oct-98	914 520	141
Ene-93	668 601	49	Nov-98	707 000	162
Feb-93	671 670	40	Dic-98	742 225	183
Mar-93	708 320	52	Ene-99	415 720	214
Abr-93	515 640	66	Feb-99	446 520	203
May-93	728 578	69	Mar-99	867 100	101
Jun-93	849 690	62	Abr-99	908 800	82
Jul-93	991 049	67	May-99	943 200	69
Ago-93	1 115 740	56	Jun-99	811 920	63
Sep-93	1 089 776	46	Jul-99	949 750	71
Oct-93	959 049	56	Ago-99	1 404 480	71
			Sep-99	1 407 310	85

Fuente: Datos observados en el PIMA.

Cuadro 2. Prijol tierno comercializado en el CENADA, enero de 1988 a septiembre de 1999 (volumen en kilogramos y precio en colones).

Mes	Volumen	Precio	Mes	Volumen	Precio
Ene-88	2438	82	Nov-93	7100	
Feb-88	4080	88	Dic-93	10 612	352
Mar-88	4150	89	Ene-94	7900	306
Abr-88	2230	89	Feb-94	8100	282
May-88	4080	68	Mar-94	8460	304
Jun-88	9247	61	Abr-94	6130	344
Jul-88	5750	67	May-94	7360	291
Ago-88	9135	68	Jun-94	7680	293
Sep-88	7040	81	Jul-94	10 855	281
Oct-88	6020	99	Ago-94	11 155	225
Nov-88	1485	95	Sep-94	12 315	202
Dic-88	2370	123	Oct-94	8600	271
Ene-89	4485	107	Nov-94	7740	312
Feb-89	4560	121	Dic-94	6700	322
Mar-89	3880	103	Ene-95	6450	341
Abr-89	5150	108	Feb-95	4255	350
May-89	6730	78	Mar-95	5945	330
Jun-89	8830	73	Abr-95	7680	355
Jul-89	8332	88	May-95	13 005	319
Ago-89	13 442	77	Jun-95	9530	263
Sep-89	13 000	79	Jul-95	8310	245
Oct-89	9270	91	Ago-95	7480	258
Nov-89	7400	111	Sep-95	8400	231
Dic-89	4150	129	Oct-95	7070	275
Ene-90	3925	133	Nov-95	7155	347
Feb-90	2980	131	Dic-95	4473	435
Mar-90	5324	129	Ene-96	4380	479
Abr-90	5550	114	Feb-96	5270	473
May-90	5180	107	Mar-96	4685	400
Jun-90	5675	108	Abr-96	4050	465
Jul-90	3095	100	May-96	7144	478
Ago-90	4860	112	Jun-96	6780	414
Sep-90	4605	126	Jul-96	5995	396
Oct-90	8670	142	Ago-96	9215	446
Nov-90	5945	173	Sep-96	9070	438
					431

Cuadro 2. Continuación.

Mes	Volumen	Precio	Mes	Volumen	Precio
Dic-90	3882	153	Oct-96	7605	427
Ene-91	3580	186	Nov-96	9875	481
Feb-91	11 669	180	Dic-96	9565	446
Mar-91	6715	176	Ene-97	7870	492
Abr-91	6860	158	Feb-97	7270	504
May-91	12 000	137	Mar-97	7475	513
Jun-91	10 892	165	Abr-97	7700	469
Jul-91	18 708	126	May-97	6830	473
Ago-91	11 110	133	Jun-97	7910	462
Sep-91	9390	173	Jul-97	6775	504
Oct-91	9177	216	Ago-97	7930	431
Nov-91	7517	224	Sep-97	7530	488
Dic-91	11 570	167	Oct-97	8880	527
Ene-92	5990	203	Nov-97	6600	521
Feb-92	4995	238	Dic-97	4800	532
Mar-92	8060	261	Ene-98	6580	521
Abr-92	10 445	146	Feb-98	5950	513
May-92	7507	185	Mar-98	5520	558
Jun-92	11 640	181	Abr-98	4280	600
Jul-92	8820	182	May-98	6370	579
Ago-92	17 580	128	Jun-98	7050	400
Sep-92	14 120	150	Jul-98	7305	471
Oct-92	11 249	219	Ago-98	6780	546
Nov-92	7605	264	Sep-98	6085	500
Dic-92	10 650	253	Oct-98	5150	512
Ene-93	15 430	219	Nov-98	6680	604
Feb-93	12 010	233	Dic-98	4570	625
Mar-93	10 750	233	Ene-99	4775	617
Abr-93	7750	270	Feb-99	4725	592
May-93	13 540	215	Mar-99	5325	493
Jun-93	7720	223	Abr-99	5180	492
Jul-93	11 215	267	May-99	6945	469
Ago-93	8700	232	Jun-99	6130	465
Sep-93	6935	290	Jul-99	5841	535
Oct-93	7255	313	Ago-99	6900	467
			Sep-99	8255	454

Fuente: Datos observados en el PIMA.

Cuadro 3. Prueba de estacionariedad ADF para papa de primera y frijol tierno.

Serie	Volumen	Precio	Volumen en primera diferencia	Precio en primera diferencia
	Papa de primera			
ADF estadístico	-2.186	-3.686	-7.872	-14.487
RESULTADOS				
Valor crítico al 1%	No estacionaria	Estacionaria	Estacionaria	Estacionaria
Valor crítico al 5%	No estacionaria	Estacionaria	Estacionaria	Estacionaria
Valor crítico al 10%	No estacionaria	Estacionaria	Estacionaria	Estacionaria
	Frijol tierno			
ADF estadístico	-1.683	-5.963	-12.586	-15.282
RESULTADOS				
Valor crítico al 1%	No estacionaria	Estacionaria	Estacionaria	Estacionaria
Valor crítico al 5%	No estacionaria	Estacionaria	Estacionaria	Estacionaria
Valor crítico al 10%	No estacionaria	Estacionaria	Estacionaria	Estacionaria

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4. Estadísticas para escoger el número óptimo de rezagos del MPP de papa de primera y de frijol tierno.

Número de rezago	Papa de primera			Frijol tierno		
	AIC	SC	Probabilidad de la PMV	AIC	SC	Probabilidad de la PMV
1	-0.785	-0.659	NA	-0.474	-0.347	NA
2	-0.846	-0.634	0.004	-0.528	-0.316	0.002
3	-0.866	-0.567	0.016	-0.595	-0.296	0.002
4	-0.880	-0.494	0.019	-0.594	-0.208	0.379
5	-0.933	-0.459	0.002	-0.628	-0.154	0.080
6	-0.901	-0.338	0.287	-0.731	-0.169	0.000

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5. Datos observados y pronósticos de precios (¢/kg) y volúmenes (kg) comercializados de papa y frijol.

Tipo de contrato	Fecha	Papa				Frijol			
		Observado		Pronóstico		Observado		Pronóstico	
		Precio	Volumen	Precio	Volumen	Precio	Volumen	Precio	Volumen
		MPP en mayo del 2000							
a 30 días	May-00	109	29 582	109	29 582	623	4880	623	4880
a 60 días	Jun-00	110	29 640	131	153 702	669	6105	648	5013
a 90 días	Jul-00	110	33 325	132	238 547	651	6915	637	5389
	Ago-00	115	33 558	160	54 813	654	7510	680	5135
		MPP en junio del 2000							
a 30 días	Jun-00	110	29 640	110	29 640	669	6105	669	6105
a 60 días	Jul-00	110	33 325	103	81 344	651	6915	644	5901
a 90 días	Ago-00	115	33 558	122	151 681	654	7510	699	5379
	Sep-00	91	35 119	103	93 814	621	8050	693	5551
		MPP en julio del 2000							
a 30 días	Jul-00	110	33 325	110	33 325	651	6915	651	6915
a 60 días	Ago-00	115	33 558	133	48 703	654	7510	696	5819
a 90 días	Sep-00	91	35 119	107	31 865	621	8050	700	5847
	Oct-00	110	32 817	77	11 656	650	5680	726	5717

Fuente: Elaboración propia con base en los datos observados en el PIMA.

Cuadro 6. Evaluación de los pronósticos de precios para papa de primera y frijol tierno, para el período noviembre 1999-octubre 2000.

	VAR en niveles	VAR en primeras diferencias	VCE en niveles	VCE en primeras diferencias
Papa de primera				
Coefficiente de Theil	0.1267	0.0978	0.0998	0.1250
Proporción del sesgo	0.3002	0.0054	0.2165	0.0180
Proporción de la varianza	0.0792	0.0153	0.0032	0.0000
Proporción de la covarianza	0.6206	0.9793	0.7804	0.9820
Frijol tierno				
Coefficiente de Theil	0.0660	0.0579	0.0599	0.0716
Proporción del sesgo	0.3069	0.0008	0.1501	0.0112
Proporción de la varianza	0.0016	0.0028	0.0004	0.1558
Proporción de la covarianza	0.6915	0.9965	0.8494	0.8330

Fuente: Elaboración propia con base en los datos observados en el PIMA.

Cuadro 8. Cálculo de garantías con base en el MAV para la papa y el frijol (colones).

Contrato a:	Precio de referencia	Comprador						Vendedor			
		Garantía básica (enero)	Garantía inferior (febrero0)	Garantía superior (marzo)	Diferencia observada	Garantía básica (enero)	Garantía inferior (febrero0)	Garantía superior (marzo)	Diferencia observada		
Papa de primera											
Junio	100	-5	---	---	10	57	---	---	---	-10	
Julio	100	-6	22	---	10	59	29	---	---	-10	
Agosto	100	-28	5	-7	15	91	48	59	---	-15	
Junio	120	-15	---	---	-10	37	---	---	---	10	
Julio	120	-14	-44	---	-10	39	9	---	---	10	
Agosto	120	8	-25	-13	-5	71	28	39	---	5	
Frijol tierno											
Junio	640	76	---	---	-29	93	---	---	---	29	
Julio	640	89	81	---	-11	83	89	---	---	11	
Agosto	640	48	27	29	-14	127	145	141	---	14	
Junio	680	106	---	---	11	53	---	---	---	-11	
Julio	680	129	121	---	29	43	49	---	---	-29	
Agosto	680	88	67	69	26	87	105	101	---	-26	

Fuente: Elaboración propia con base en los datos observados en el PIMA.

ANEXO 3. PROGRAMAS DE CÓMPUTO (SHAZAM®)

Programa 1: Función de Autocorrelación

File output step1.out
Sample 1 141

Read V P

522214 34
661992 31
815500 22
736000 17
673716 17

908800 82
943200 69
811920 63
949750 71
1404480 71
1407310 85

SAMPLE 2 141

GENR V1=LAG(V)
GENR V2=LAG(V,2)
GENR V3=LAG(V,3)
GENR V4=LAG(V,4)
GENR V5=LAG(V,5)
GENR V6=LAG(V,6)
GENR V7=LAG(V,7)
GENR V8=LAG(V,8)
GENR V9=LAG(V,9)
GENR V10=LAG(V,10)
GENR V11=LAG(V,11)
GENR V12=LAG(V,12)
GENR V13=LAG(V,13)
GENR V14=LAG(V,14)
GENR V15=LAG(V,15)
GENR V16=LAG(V,16)
GENR V17=LAG(V,17)
GENR V18=LAG(V,18)
GENR V19=LAG(V,19)
GENR V20=LAG(V,20)

GENR V21=LAG(V,21)
GENR V22=LAG(V,22)
GENR V23=LAG(V,23)
GENR V24=LAG(V,24)
GENR P1=LAG(P)
GENR P2=LAG(P,2)
GENR P3=LAG(P,3)
GENR P4=LAG(P,4)
GENR P5=LAG(P,5)
GENR P6=LAG(P,6)
GENR P7=LAG(P,7)
GENR P8=LAG(P,8)
GENR P9=LAG(P,9)
GENR P10=LAG(P,10)
GENR P11=LAG(P,11)
GENR P12=LAG(P,12)
GENR P13=LAG(P,13)
GENR P14=LAG(P,14)
GENR P15=LAG(P,15)
GENR P16=LAG(P,16)
GENR P17=LAG(P,17)
GENR P18=LAG(P,18)
GENR P19=LAG(P,19)
GENR P20=LAG(P,20)
GENR P21=LAG(P,21)
GENR P22=LAG(P,22)
GENR P23=LAG(P,23)
GENR P24=LAG(P,24)

STAT V P / MEAN=PROMEDIOS
*PRINT V V1 V2 V3 V4 V5 V6 V7 V8
V9 V10 V11 V12 V13 V14 V15 V16
V17 V18 V19 V20 V21 V22 V23 V24
*PRINT P P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8
P9 P10 P11 P12 P13 P14 P15 P16 P17
P18 P19 P20 P21 P22 P23 P24
ARIMA V / PLOTAC PLOTAPAC
NLAG=48 NLAGP=48
ARIMA P / PLOTAC PLOTAPAC
NLAG=48 NLAGP=48

Programa 2: Transformación de Series

```

File output step2.out
Sample 1 141
Read VV PP
522214 34
661992 31
815500 22
736000 17
.
.
.
908800 82
943200 69
811920 63
949750 71
1404480 71
1407310 85
GENR V=LOG(VV/LAG(VV))*100
GENR P=LOG(PP/LAG(PP))*100
PRINT V P VV PP
SAMPLE 2 141
PRINT V P VV PP
GENR V1=LAG(V)
GENR V2=LAG(V,2)
GENR V3=LAG(V,3)
GENR V4=LAG(V,4)
GENR V5=LAG(V,5)
GENR V6=LAG(V,6)
GENR V7=LAG(V,7)
GENR V8=LAG(V,8)
GENR V9=LAG(V,9)
GENR V10=LAG(V,10)
GENR V11=LAG(V,11)
GENR V12=LAG(V,12)
GENR V13=LAG(V,13)
GENR V14=LAG(V,14)
GENR V15=LAG(V,15)
GENR V16=LAG(V,16)
GENR V17=LAG(V,17)
GENR V18=LAG(V,18)
GENR V19=LAG(V,19)
GENR V20=LAG(V,20)
GENR V21=LAG(V,21)
GENR V22=LAG(V,22)
GENR V23=LAG(V,23)
GENR V24=LAG(V,24)
GENR P1=LAG(P)
GENR P2=LAG(P,2)
GENR P3=LAG(P,3)
GENR P4=LAG(P,4)
GENR P5=LAG(P,5)
GENR P6=LAG(P,6)
GENR P7=LAG(P,7)
GENR P8=LAG(P,8)
GENR P9=LAG(P,9)
GENR P10=LAG(P,10)
GENR P11=LAG(P,11)
GENR P12=LAG(P,12)
GENR P13=LAG(P,13)
GENR P14=LAG(P,14)
GENR P15=LAG(P,15)
GENR P16=LAG(P,16)
GENR P17=LAG(P,17)
GENR P18=LAG(P,18)
GENR P19=LAG(P,19)
GENR P20=LAG(P,20)
GENR P21=LAG(P,21)
GENR P22=LAG(P,22)
GENR P23=LAG(P,23)
GENR P24=LAG(P,24)

STAT V P / MEAN=PROMEDIOS
ARIMA V / PLOTAC PLOTPAC
NLAG=48 NLAGP=48
ARIMA P / PLOTAC PLOTPAC
NLAG=48 NLAGP=48
    
```

Programa 3: Período Máximo de Rezago

File output step3.out

Sample 1 141

Read VV PP

522214 34

661992 31

815500 22

.

.

949750 71

1404480 71

1407310 85

GENR V=LOG(VV/LAG(VV))*100

GENR P=LOG(PP/LAG(PP))*100

PRINT V P VV PP

SAMPLE 2 141

PRINT V P VV PP

GENR V1=LAG(V)

GENR V2=LAG(V,2)

GENR V3=LAG(V,3)

GENR V4=LAG(V,4)

GENR V5=LAG(V,5)

GENR P1=LAG(P)

GENR P2=LAG(P,2)

GENR P3=LAG(P,3)

GENR P4=LAG(P,4)

GENR P5=LAG(P,5)

matrix uno=v | v1 | v2 | v3 | v4 | v5

matrix dos=p | p1 | p2 | p3 | p4 | p5

sample 7 138

*print v p v1 v2 v3 v4 v5 p1 p2 p3 p4 p5

stat v p / dn cov=c cp=cruz

print cruz c

matrix cruz1=cruz/132

print cruz1

ols v v1 p1 / resid=errorv1

ols p v1 p1 / resid=errorp1

ols v v1 v2 p1 p2 / resid=errorv2

Ols p v1 v2 p1 p2 / resid=errorp2

Ols v v1 v2 v3 p1 p2 p3 / resid=errorv3

Ols p v1 v2 v3 p1 p2 p3 / resid=errorp3

Ols v v1 v2 v3 v4 p1 p2 p3 p4 /

resid=errorv4

Ols p v1 v2 v3 v4 p1 p2 p3 p4 /

resid=errorp4

Ols v v1 v2 v3 v4 v5 p1 p2 p3 p4 p5 /

resid=errorv5

Ols p v1 v2 v3 v4 v5 p1 p2 p3 p4 p5 /

resid=errorp5

matrix sigma0=c

print sigma0

Matrix det0=det(sigma0)

print det0

matrix aic0=log(det0)

matrix sc0=aic0

print aic0 sc0

do #=1,5

stat errorv# errorp# / dn cov=c#

print c#

matrix det#=det(c#)

matrix log#=log(det#)

print log#

endo

sample 1 1

genr aic1=log1+8*1/132

genr aic2=log2+8*2/132

genr aic3=log3+8*3/132

genr aic4=log4+8*4/132

genr aic5=log5+8*5/132

do !=1,5

print aic!

endo

genr sc1=log1+(4*1*log(132))/132

genr sc2=log2+(4*2*log(132))/132

genr sc3=log3+(4*3*log(132))/132

genr sc4=log4+(4*4*log(132))/132

genr sc5=log5+(4*5*log(132))/132

do #=1,5

print sc#

endo

matrix aic=aic0 | aic1 | aic2 | aic3 | aic4 | aic5

matrix sc=aic0 | sc1 | sc2 | sc3 | sc4 | sc5

matrix rezago=(aic' | sc')

print aic sc rezago

Programa 4: Estimación del Modelo y Pronóstico

```

File output step4.out
Sample 1 141
Read VV PP
522214      34
661992      31
815500      22
.
.
.
949750      71
1404480     71
1407310     85
GENR V=LOG(VV/LAG(VV))*100
GENR P=LOG(PP/LAG(PP))*100
print v p vv pp
SAMPLE 2 141
PRINT V P VV PP
GENR V1=LAG(V)
GENR P1=LAG(P)
sample 2 141
print v p v1 p1
sample 3 141
print v p v1 p1
sample 3 138
print v p v1 p1
ols v v1 p1 / resid=e1 coef=beta1
ols p v1 p1 / resid=e2 coef=beta2
stat e1 e2 / cov=sigmav cp=cruz
matrix sigma1=cruz/(136-1*2-1)
print sigma1
matrix coef=beta1 | beta2
print coef
sample 1 2
read y / list
-14.98765
-9.097178
matrix const=coef(3,0)
print const
matrix parv1=coef(1,0)
matrix parp1=coef(2,0)

matrix par=parv1' | parp1'
print parv1 parp1 par

*forecasting y+1
matrix y1=const'+par*y
print y1
matrix y2=const'+par*y1
print y2
matrix y3=const'+par*y2
print y3
matrix
sigma2=sigma1+par*sigma1*par'
print sigma2
matrix
sigma3=sigma1+par*sigma1*par'+(p
ar*par)*sigma1*(par*par)'
print sigma3

matrix cy1=(((y1(1,1)-
1.96*sqrt(sigma1(1,1)))) | (y1(1,1)+
1.96*sqrt(sigma1(1,1))))' | &((y1(2,1)-
1.96*sqrt(sigma1(2,2)))) | (y1(2,1)+
1.96*sqrt(sigma1(2,2))))')
print cy1

matrix cy2=(((y1(1,1)-
1.96*sqrt(sigma2(1,1)))) | (y1(1,1)+
1.96*sqrt(sigma2(1,1))))' | &((y1(2,1)-
1.96*sqrt(sigma2(2,2)))) | (y1(2,1)+
1.96*sqrt(sigma2(2,2))))')
print cy2

matrix cy3=(((y1(1,1)-
1.96*sqrt(sigma3(1,1)))) | (y1(1,1)+
1.96*sqrt(sigma3(1,1))))' | &((y1(2,1)-
1.96*sqrt(sigma3(2,2)))) | (y1(2,1)+
1.96*sqrt(sigma3(2,2))))')
print cy3

PRINT Y Y1 Y2 Y3

```

ANEXO 4. TRANSFORMACIÓN DE VARIABLES

Para obtener la tasa de cambio mensual (c) de una serie de datos, primero se tendrían que multiplicar las tasas de cambio de períodos más pequeños (por ejemplo días). Si hubiera datos diarios, para obtener la tasa de cambio mensual a finales de enero se debe hacer lo siguiente:

$$\left(\frac{P_{Enero1}}{P_{Diciembre31}} \cdot \frac{P_{Enero2}}{P_{Enero1}} \cdot \dots \cdot \frac{P_{Enero31}}{P_{Enero30}} \right) - 1 = C_{Enero31}$$

que al cancelar términos resulta en una fórmula muy común:

$$\left(\frac{P_{Enero31}}{P_{Diciembre31}} \right) - 1 = C_{Enero31}$$

que es la tasa de cambio mensual de diciembre a enero.

Al calcular el logaritmo natural de la ecuación anterior se obtiene:

$$\ln \left(\frac{P_{Enero31}}{P_{Diciembre31}} \right) = \ln(C_{Enero31})$$

el cual significa que el logaritmo del cociente del precio actual y el precio del mes anterior es igual al logaritmo de la tasa de cambio mensual. De esta manera, para volver a obtener la tasa de cambio mensual se debe calcular el antilogaritmo de la expresión anterior, esto es:

$$C_{Enero31} = e^{\ln(C_{Enero31})} - 1 = \frac{P_{Enero31}}{P_{Diciembre31}} - 1$$

Nótese que en el modelo VAR los datos fueron transformados mediante la fórmula $\ln(P_t/P_{t-1})$, que es igual a $\ln(c_t)$, de manera que para obtener el precio de pronóstico se debe realizar la siguiente operación:

$$P_{t+1} = e^{\ln(c_{t+1})} \cdot P_t$$

donde el $\ln(c_{t+1})$ es el valor pronosticado por el modelo. En forma similar, la tasa de cambio (c_{t+1}) se obtiene utilizando los pronósticos del modelo:

$$c_{t+1} = e^{\ln(c_{t+1})} - 1$$

Como las series sufrieron una transformación logarítmica, las desviaciones estándar están calculadas según estas nuevas series creadas. Para poder calcular la desviación estándar en niveles y estimar los intervalos de confianza a partir de los cuales se calculan las garantías de los contratos, tenemos (Arias):

$$P_t \sim \text{lognormal}(\theta, \Psi)$$

que quiere decir que la serie en niveles se distribuye como una función normal logarítmica con media θ y varianza Ψ , que es lo mismo decir que el logaritmo del precio P se distribuye normalmente con media μ y variación Ω :

$$\ln P \sim \text{Normal}(\mu, \Omega)$$

donde la varianza Ω se define como:

$$\Omega = 1 \left[\begin{array}{c} \Psi \\ + \\ \theta^2 \end{array} \right]$$

Por lo tanto, al despejar esta expresión, la varianza de los precios en niveles Ψ utilizada para obtener los intervalos de confianza viene dada por:

$$\Psi = (e^\Omega - 1)\theta^2$$