



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

---

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURAL**

ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN DE LOS PRECIOS DE CAFÉ  
MEXICANO, COLOMBIANO Y FUTURO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS  
NATURALES**

TESIS DE GRADO

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS  
NATURALES**



PRESENTA

**OSCAR JORGE VÁZQUEZ**

BAJO LA SUPERVISIÓN DE

**DR. ADRIÁN GONZÁLEZ ESTRADA**



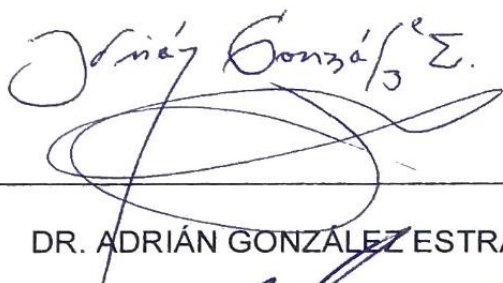
Chapingo, Estado de México, junio de 2024

ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN DE LOS PRECIOS DE CAFÉ MEXICANO,  
COLOMBIANO Y FUTURO

Tesis realizada por **Oscar Jorge Vázquez** bajo la supervisión del Comité Asesor  
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener  
el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS  
RECURSOS NATURALES

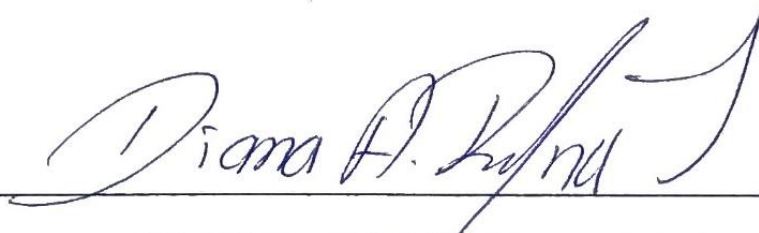
DIRECTOR: \_\_\_\_\_

  
DR. ADRIÁN GONZÁLEZ ESTRADA

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
DR. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
DRA. DIANA AMÉRICA REYNA IZAGUIRRE

## CONTENIDO

|                                           |      |
|-------------------------------------------|------|
| HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS.....          | ii   |
| CONTENIDO.....                            | iii  |
| ÍNDICE DE CUADROS.....                    | v    |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                    | vi   |
| DEDICATORIAS.....                         | vii  |
| AGRADECIMIENTOS.....                      | viii |
| DATOS BIOGRÁFICOS.....                    | ix   |
| RESUMEN GENERAL.....                      | x    |
| GENERAL ABSTRACT.....                     | xi   |
| 1 INTRODUCCIÓN GENERAL .....              | 12   |
| 1.1 Planteamiento del problema.....       | 13   |
| 1.2 Antecedentes .....                    | 13   |
| 1.3 Justificación.....                    | 14   |
| 1.4 Objetivos .....                       | 15   |
| 1.4.1 Objetivo general .....              | 15   |
| 1.4.2 Objetivos específicos .....         | 15   |
| 1.5 Hipótesis.....                        | 15   |
| 1.6 Estructura del documento.....         | 16   |
| 1.7 Referencias .....                     | 16   |
| 2 REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA .....          | 18   |
| 2.1 El sector cafetalero en el mundo..... | 18   |
| 2.1.1 Producción .....                    | 18   |
| 2.1.2 Estructura de mercado.....          | 21   |
| 2.1.3 Transformación y exportación .....  | 25   |
| 2.1.4 Consumo .....                       | 27   |
| 2.1.5 El empleo.....                      | 29   |
| 2.2 Sector cafetalero en México .....     | 30   |

|       |                                                                                         |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1 | Producción .....                                                                        | 30 |
| 2.2.2 | Mercado.....                                                                            | 32 |
| 2.2.3 | Consumo .....                                                                           | 34 |
| 2.2.4 | Desempleo y migración .....                                                             | 35 |
| 2.3   | Precios del café .....                                                                  | 36 |
| 2.3.1 | Volatilidad actual de los precios del café .....                                        | 36 |
| 2.3.2 | Tipo de precios del café.....                                                           | 37 |
| 2.4   | Teoría sobre las series de tiempo.....                                                  | 39 |
| 2.4.1 | ¿Qué es una serie de tiempo? .....                                                      | 39 |
| 2.4.2 | Análisis de la estacionariedad .....                                                    | 40 |
| 2.4.3 | Modelo Vectorial Autorregresivo .....                                                   | 46 |
| 2.4.4 | Cointegración .....                                                                     | 47 |
| 2.4.5 | Vector con corrección de errores .....                                                  | 50 |
| 2.4.6 | Análisis de causalidad en el sentido de Granger.....                                    | 51 |
| 2.5   | REFERENCIAS .....                                                                       | 53 |
| 3     | ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN DE LOS PRECIOS DE CAFÉ<br>MEXICANO, COLOMBIANO Y FUTURO ..... | 58 |
| 3.1   | Abstract .....                                                                          | 58 |
| 3.2   | Resumen .....                                                                           | 59 |
| 3.3   | Introducción.....                                                                       | 60 |
| 3.4   | Materiales y métodos.....                                                               | 62 |
| 3.5   | Resultados y discusión .....                                                            | 65 |
| 3.6   | Conclusiones.....                                                                       | 72 |
| 3.7   | Referencias .....                                                                       | 73 |
| 4     | CONCLUSIONES GENERALES .....                                                            | 77 |
| 5     | LITERATURA CITADA .....                                                                 | 78 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Resultados de las pruebas de raíz unitaria, datos a nivel .....                 | 66 |
| Cuadro 2. Resultados de las pruebas de raíz unitaria, datos en primeras diferencias.....  | 66 |
| Cuadro 3. Resultados para la longitud de rezagos para el modelo VAR .....                 | 68 |
| Cuadro 4. Resultados análisis de cointegración, estadístico de la traza .....             | 68 |
| Cuadro 5. Resultados análisis de cointegración, estadístico del máximo valor propio ..... | 69 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                           |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Figura 1. Producción mundial de café por especie, en millones de sacos de 60kg (OIC, 2023). .....                                                         | 19             |
| Figura 2. Consumo porcentual de café por regiones en el ciclo cafetalero 2021/22 y 2022/23. Fuente: OIC, 2023. ....                                       | 27             |
| Figura 3. Distribución porcentual de la producción de café arábigo y robusta en México. Elaboración propia con datos de la USDA, periodo 1960-2023. ....  | 31             |
| Figura 4. Periodo de cosecha de café en México. Elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca (SIAP). ....             | 32             |
| Figura 5. Actividad comercial de México de café verde en 1000 sacos de 60kg. Elaboración propia con datos de la USDA, 2023. ....                          | 33             |
| Figura 6. Consumo total de café en México. Elaboración propia con datos de la USDA, 2023. ....                                                            | 35             |
| Figura 7. Cotización del café arábigo en el mercado de futuros en la Bolsa de Nueva York (1980-2023). Elaboración propia con datos de investing.com. .... | 37             |
| Figura 8. Precio indicativo y por grupo publicado por la Organización Internacional del Café. Elaboración propia con datos de la OIC. ....                | <b>¡Error!</b> |
| <b>Marcador no definido.</b>                                                                                                                              |                |
| Figura 9. Funciones de respuesta al impulso .....                                                                                                         | 72             |

## **DEDICATORIAS**

A mi familia, especialmente a mi mamá Rosa Pabla y hermano Esteban, por el apoyo que siempre me han dado en los momentos más difíciles de mi vida y respaldar las decisiones que he tomado. Se que siempre estarán a mi lado, mientras Dios lo permita.

A mi papá Pedro por acompañarme en mi infancia y adolescencia.

A mi padrino Delfino y madrina Victoria porque siempre me han apoyado y por incluirme en su vida como un familiar.

A mis amistades, por ser nobles, empáticas y solidarias y porque han compartido momentos de calidad conmigo, en las buenas y en las malas.

A mis profesores, que siempre han tenido la buena disposición para despejar mis dudas y que han contribuido a mi formación académica, todo lo cual me ha permitido ser el profesionista que hoy en día soy y el que en el futuro puedo llegar a ser.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca que me otorgaron, la cual me permitió realizar estudios de posgrado e hizo posible el desarrollo de esta tesis.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado de la División en Ciencias Económico-Administrativas (DICEA), por la formación académica de calidad que recibí.

Al Dr. Adrián González Estrada, por orientarme durante el desarrollo del Proyecto de investigación de la Maestría. Por darme los mejores consejos para mi formación académica, los cuales me han permitido profundizar mis conocimientos y despertar nuevas inquietudes para futuras investigaciones.

A mis asesores: Dr. Miguel Ángel Martínez Damián y Dra. Diana América Reyna Izaguirre, por la disponibilidad en resolver mis dudas durante el desarrollo del proyecto de investigación.

A Dios, por haberme dado siempre las fuerzas para seguir adelante, a pesar de las grandes adversidades familiares, emocionales y de salud, y por acercar a mí a las personas indicadas y en los momentos exactos para auxiliarme.

## DATOS BIOGRÁFICOS



### Datos personales

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Nombre:                | Oscar Jorge Vázquez     |
| Fecha de nacimiento:   | 23 de mayo de 1995      |
| Lugar de nacimiento:   | Amixtlán, Puebla        |
| Núm. Cartilla militar: | D-3268814               |
| CURP:                  | JOVO950523HPLRZS08      |
| Profesión:             | Ingeniero en Irrigación |
| Cédula profesional:    | 11764110                |

### Desarrollo académico

|               |                                                         |
|---------------|---------------------------------------------------------|
| Bachillerato: | Bachillerato General Octavio Paz, generación 2010-2013. |
| Licenciatura: | Ingeniero en Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo  |
| Generación:   | 2014-2018                                               |

## RESUMEN GENERAL

### ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN DE LOS PRECIOS DEL CAFÉ MEXICANO, COLOMBIANO Y FUTUROS

El café arábigo mexicano es uno de los productos agroindustriales más importantes de México. El precio de este grano tiene una alta volatilidad, que incrementa el riesgo y la incertidumbre entre los diferentes agentes económicos de la cadena productiva. Esa es la necesidad de conocer el comportamiento dinámico de los precios del café arábigo mexicano en el contexto internacional. Los objetivos de esta investigación fueron: estimar un modelo econométrico de la dinámica de precios de exportación del café arábigo mexicano e investigar la influencia conjunta de los precios *spot* de arábigos colombianos y de futuros de arábigos en la Bolsa de Nueva York. Las series de tiempo usadas se sometieron a las pruebas de raíz unitaria: Dickey-Fuller aumentada y Phillips-Perron, requisito clave para desarrollar un análisis de cointegración y la estimación de vectores autorregresivos. También se aplicaron: pruebas de causalidad en el sentido de Granger, análisis de funciones de respuesta al impulso y análisis de la descomposición de varianza. El modelo más eficiente para estudiar sistemas dinámicos, en los que se involucran más de una serie temporal, es el modelo de vectores autorregresivos, cuyo caso particular corresponde al modelo vectorial con corrección de errores, el cual integra un sistema de ecuaciones temporales. Estos modelos tienen la ventaja de permitir el análisis de los atributos de corto y largo plazo; el corto plazo se representa mediante un vector autorregresivo; la dinámica de largo plazo se formula mediante un mecanismo de ajuste de errores (ecuación de cointegración). Los resultados evidencian la relación dinámica que guardan, en el largo plazo, los precios de arábigos colombianos y arábigos suaves, bajo el control temporal de las cotizaciones de futuros. Se corroboró la volatilidad inherente a los precios del café, lo que sugiere la importancia de comprender y modelar adecuadamente estas fluctuaciones en el mercado.

**Palabras Clave:** modelo vectorial autorregresivo, modelo con corrección de errores, causalidad de Granger, cointegración.

---

Tesis de Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Oscar Jorge Vázquez.

Director: Dr. Adrián González Estrada.

## GENERAL ABSTRACT

### COINTEGRATION ANALYSIS OF MEXICAN, COLOMBIAN AND FUTURE COFFEE PRICES

Mexican Arabica coffee is one of Mexico's most important agri-industrial products. The price of this grain has a high volatility, which increases the risk and uncertainty among the different economic agents in the production chain. That is the need to know the dynamic behavior of Mexican arabica coffee prices in the international context. The objective in this research were to estimate an econometric model referring to the dynamics of export prices of mexican arabica coffee, and the joint influence of spot prices of colombian arabica and arabica coffee futures on the New York Stock Exchange. Time series used were subject to unit root tests: Dicky-Fuller and Phillips-Perron, key requirements to develop a cointegration análisis and the estimation of autorregressive vectors. Causality tests in Granger sense, impulse response function análisis, and variance decomposition were also applied. The most efficient model for studying dynamical systems were more tan one time series are involved is the autoregressive vector model, which integrates a system os intertemporal equations. These models have the advantage of allowing the análisis of short-term attributes, which are represented by an autorregressive vector; the long-run dynamics were formulated by an-error adjustment mechanism in a cointegration equation. The results show the long-term dynamic relationship between Colombian and mild arabica prices under the temporal control of futures prices. The inherent volatility of coffee prices was corroborated, suggesting the importance of understanding and properly modeling these market fluctuations.

**Keywords:** Vector autoregressive model, error-correction model, Granger's causality and cointegration.

---

Master in Science Thesis in Agricultural and Natural Resources Economics,  
Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Oscar Jorge Vázquez.

Advisor: Dr. Adrián González Estrada.

## 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El café es uno de los cultivos agrícolas tropicales con mayor actividad comercial en el mundo, que se ve reflejada en importantes flujos de transacciones en los mercados financieros (Vanegas *et al.*, 2023), situación que ha propiciado que se considere al café como uno de los cinco principales *commodities*, entre los cuales se encuentran el petróleo, aluminio, trigo y carbón (Rojo, 2022).

De acuerdo con el informe del Centro de Comercio Internacional (ITC, por sus siglas en inglés), la cadena productiva del café involucra a más de 52 países productores, con aproximadamente 100 millones de trabajadores temporales, que desarrollan diferentes actividades productivas en 12.5 millones de fincas cafeteras. Estas cifras subrayan la importancia de la cafeticultura de los países productores, que, en su mayoría, son economías en desarrollo.

En la actualidad se han presentado una serie de desafíos al sector cafetero, los cuales se derivan del cambio climático. Un ejemplo destacado es la expansión de las enfermedades y plagas que amenazan la subsistencia de pequeños productores del aromático, para quienes el café es su principal fuente de ingresos (Avelino *et al.*, 2015; Magrach y Ghazoul, 2015).

Otro desafío que enfrenta actualmente la industria cafetera corresponde a la continua expansión en la demanda global del aromático debido al crecimiento de la demanda en algunos nichos de mercado, como los cafés de especialidad o gourmet (ITC, 2021). Los principales consumidores del aromático se localizan en Europa, específicamente en los países nórdicos, donde se estima un consumo *per cápita* de 10 a 12 kg por año (Figuerola *et al.*, 2019; Quintero y Rosales, 2014).

Los anteriores desafíos en el sector cafetalero contribuyen a un dinamismo característico de los precios del café, una variable económica de gran importancia que incide profundamente en los estados financieros de los diferentes agentes económicos que participan en la cadena de suministro de este producto. Por esta razón, los precios son monitoreados constantemente.

## **1.1 Planteamiento del problema**

De acuerdo con los datos de la Organización Internacional del café (OIC) y del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) México es el décimo primer país productor de café a nivel mundial, sin embargo, en la primera década del presente siglo, México era el sexto país productor.

Actualmente México cubre el 2.2% de la demanda mundial de café de acuerdo con los reportes del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Debido al nivel de participación de la economía mexicana en el comercio internacional del aromático, nuestro país es tomador de precios, razón por el cual los productores mexicanos son totalmente dependientes de los precios internacionales de este producto.

Ante esta situación, resalta la importancia en desarrollar e implementar herramientas cuantitativas en el sector para mitigar el impacto de la volatilidad de los precios y reducir la vulnerabilidad de los productores. La adopción de estrategias basadas en datos y análisis de mercado puede proporcionar una mayor estabilidad y seguridad financiera a los actores de la cadena de suministro del café en México.

## **1.2 Antecedentes**

Se han desarrollado una serie de estudios sobre la dinámica de los precios de café mediante diferentes modelos econométricos, como se pueden apreciar en las investigaciones desarrolladas por Babu y Muniyappa (2021); Galvez-Soriano y Cortes (2021); Frey y Manera (2007); Hussien (2015); Jaramillo-Villanueva *et al.* (2016); Otero y Milas (2001); Tuyén *et al.* (2020) y otros.

Entre los modelos econométricos usados en esas investigaciones destacan: Modelos vectoriales autorregresivos (VAR), modelos vectoriales con corrección de errores (VEC), análisis de cointegración, funciones de impulso respuesta, descomposición de la varianza, causalidad en el sentido de Granger, análisis de ciclos y cambios estructurales, con los cuales se investigan las dinámicas de transmisión de precios, determinantes de las exportaciones y la demanda,

asimetrías, dinámica de los costos de producción y las relaciones de variables financieras y económicas sobre precios de café.

En México existe un número limitado de investigaciones sobre el café en los que se hayan utilizado modelos econométricos multivariados de series de tiempo, como los modelos VAR o VEC. En la última década solo se pueden citar algunos trabajos, como los desarrollados por Gálvez-Soriano y Cortés (2021) y Jaramillo-Villanueva *et al.* (2016).

La colección de estudios referentes a la industria cafetera en México se amplía cuando se consideran enfoques diferentes a modelos econométricos con series de tiempo. Algunos ejemplos corresponden a las investigaciones desarrolladas por Barrios-Puente *et al.* (2022); Ramos-Rivera *et al.* (2021); Rivera *et al.* (2021); Rojo (2022); Santiago-Santiago *et al.* (2020); entre otros, en donde se investigan diferentes aspectos de la cadena productiva del café como: la viabilidad financiera de la industria, estrategias de *marketing* y comerciales factibles, competitividad del café mexicano frente a sus principales competidores, estudios de caso en regiones específicas del país, etc. Estos estudios se caracterizan por ser investigaciones regionales o investigaciones con enfoques microeconómicos.

### **1.3 Justificación**

Ante la actual situación de la industria cafetera, cobra una gran importancia el desarrollo de estudios que investigan la dinámica de los precios del café. La volatilidad de los precios de café observada a partir de la década de los 90 tras la disolución de los acuerdos internacionales de la OIC, los cuales buscaban regular los precios internacionales, es la razón principal que fundamenta la necesidad de desarrollar estudios detallados sobre los precios del café, dado que esta variable es de importancia primordial en los diferentes agentes económicos que se involucran en la cadena de suministro: productores, procesadores, exportadores e importadores.

El estudio de precios del café no solo es importante para comprender su dinamismo en los mercados internacionales, sino que también se convierte en una herramienta indispensable para la gestión de riesgos. En un contexto donde

la incertidumbre es la constante, contar con análisis precisos y actualizados sobre los precios del café permite a los diferentes actores de la cadena productiva anticipar y mitigar los impactos de posibles fluctuaciones bruscas. En este sentido, la investigación de los precios del café proporciona herramientas prácticas para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades que presenta el mercado.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

A partir de las series de tiempo; precios *spot* de arábigos suaves, precios *spot* de arábigos colombianos y futuros de café arábigo, estimar un modelo econométrico para analizar la dinámica de los precios de café arábigo mexicano en el contexto internacional en el periodo 1990 a 2019.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a) Desarrollar una descripción económica del sector cafetalero a nivel internacional y a nivel nacional.
- b) Desarrollar un análisis de cointegración sobre las series de tiempo de los precios *spot* de arábigos suaves, precios *spot* de arábigos colombianos y futuros de café arábigo.
- c) Estimar un modelo vectorial con corrección de errores.
- d) Desarrollar un análisis sobre la dinámica de los precios de cafés arábigos mediante funciones de respuesta al impulso y descomposición de la varianza.

## **1.5 Hipótesis**

Existe una relación de cointegración entre los precios *spot* y futuros de cafés arábigos, lo que sugiere la existencia de una relación de largo plazo entre estas variables. Además, se espera que la dinámica conjunta de estos precios, capturada a través de un modelo vectorial con corrección de errores, revele relaciones estadísticamente significativas y proporcione evidencias estadísticas sobre la interdependencia entre los precios del café arábigo, los cuales son determinantes para las exportaciones mexicanas de café

## 1.6 Estructura del documento

La organización del presente documento se estructura de la siguiente forma: en el primer capítulo se desarrolla el problema a investigar; el segundo capítulo presenta una descripción económica de la industria cafetera a nivel mundial y nacional, así como las bases teóricas para desarrollar el análisis econométrico que se estableció como objetivo en la presente investigación; finalmente, en el tercer capítulo se presenta el producto final de la investigación plasmado en un artículo de investigación.

## 1.7 Referencias

- Babu, B.N.P. y Muniyappa, A. (2021). The interdependence of coffee futures and spot markets—An econometric analysis. *Journal of Plantation Crops*, 49(1), 56-66. <https://doi.org/10.25081/jpc.2021.v49.i1.7061>
- Barrios-Puente, G., Galván-Manuel, O., Pérez-Soto, F., Sangerman-Jarquín, D. M., García-Sánchez, R. C., Barrios-Puente, G., Galván-Manuel, O., Pérez-Soto, F., Sangerman-Jarquín, D.M., y García-Sánchez, R.C. (2022). Cobertura de precios para el café, utilizando el mercado de futuros. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(6), 1147-1154. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.3313>
- Figueroa-Hernández, E., Pérez-Soto, F., Godínez-Montoya, L., Pérez-Figueroa, R. A., Figueroa-Hernández, E., Pérez-Soto, F., Godínez-Montoya, L. y Pérez-Figueroa, R. A. (2019). Los precios de café en la producción y las exportaciones a nivel mundial. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 14(1), 41-56. <https://doi.org/10.21919/remef.v14i1.358>
- Frey, G., y Manera, M. (2007). Econometric Models of Asymmetric Price Transmission. *Journal of Economic Surveys*, 21(2), 349-415. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00507.x>
- Hussien, H. B. (2015). Determinants of Coffee Export Supply in Ethiopia: Error Correction Modeling Approach. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 6(5), 31-38.
- International Trade Centre (2021). *The coffee guide*. Fourth Edition. <https://intracen.org/es/media/5718>
- Jaramillo-Villanueva, J.L., Benítez-García, E., Jaramillo-Villanueva, J.L., y Benítez-García, E. (2016). Trasmisión de precios en el mercado mexicano e internacional de café (*Coffea arabica* L.): Un análisis de cointegración. *Agrociencia*, 50(7), 931-944.
- Magrach, A., y Ghazoul, J. (2015). Climate and Pest-Driven Geographic Shifts in Global Coffee Production: Implications for Forest Cover, Biodiversity

- and Carbon Storage. *Plos One*, 10(7), 1-15.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133071>
- Otero, J., y Milas, C. (2001). Modelling the spot prices of various coffee types. *Economic Modelling*, 18(4), 625-641. [https://doi.org/10.1016/S0264-9993\(00\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S0264-9993(00)00056-0)
- Quintero, R. M. L., y Rosales, M. (2014). El mercado mundial del café: Tendencias recientes, estructura y estrategias de competitividad. *Visión Gerencial*, 2, 291-307.
- Ramos-Rivera, L., Nava-Tablada, M.E., y Escamilla-Prado, E. (2021). Mercados diferenciados en organizaciones cafetaleras del centro de Veracruz, México. *Interconectando Saberes*, 6(12), 177-184.  
<https://doi.org/10.25009/is.v0i12.2716>
- Rivera, E.G., Rojas, A.M.V., y Juárez, E.R. (2021). El origen del café en México y el incremento de su producción en Chiapas, 1893-1920. *Hatso-Hnini. Revista de Investigación de Paisajes y Espacio Construido*, 1(1), 79-88.
- Rojo, C. R. R. (2022). Competitividad del café mexicano en el comercio internacional: Un análisis comparativo con Brasil, Colombia y Perú (2000 –2019). *Análisis Económico*, 37(94), 181-199.  
<https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2022v37n94/Rivera>
- Santiago-Santiago, A. K., Arana-Coronado, O. A., Brambila-Paz, J. de J., Matus-Gardea, J. A., Sosa-Montes, M., Santiago-Santiago, A. K., Arana-Coronado, O. A., Brambila-Paz, J. de J., Matus-Gardea, J. A., y Sosa-Montes, M. (2020). Evaluación financiera con metodología de opciones reales de inversión para producción y venta de café orgánico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 493-505.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.1877>
- Tuyén, Đ.T., Caihong, Z., y Hồng, N.T. (2020). Assessing the relationship between international market and agricultural commodity export prices: Evidence from vietnamese coffee. *Dalat University Journal of Science*, 10(4), 57-73. [https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.10.4.673\(2020\)](https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.10.4.673(2020))
- Vanegas, J.G., Alcaraz, J.V., y Bobadilla, E.E. (2023). Determinantes de la competitividad exportadora de los productores de café en el estado de Puebla, México. *Espacios*, 43(06), 59-75.  
<https://doi.org/10.48082/espacios-a23v44n06p05>

## 2 REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

### 2.1 El sector cafetalero en el mundo

La producción de café tiene una gran importancia económica a nivel mundial; en ella se interrelacionan países productores, en vías de desarrollo, y países importadores, industrializados y desarrollados, quienes agregan valor (Villarreal, 2023). Esta interrelación de diferentes estructuras económicas evidencia las diferentes etapas de la producción que requiere el sector cafetalero para obtener el producto final.

#### 2.1.1 Producción

Antes del siglo XX, la producción de café a nivel mundial se concentraba en el continente asiático, pero la emergencia de plagas y enfermedades como la broca<sup>1</sup> y la roya<sup>2</sup> en las plantaciones, provocaron un declive de la producción, lo cual hizo a Latinoamérica ascender en la lista de países productores de café en el mundo, destacando Brasil, Colombia, México y Guatemala, como principales productores, los que de forma conjunta, durante la primera mitad del siglo XX, produjeron en promedio el 90% de lo producido a nivel mundial (Pérez, 2009).

Durante el periodo 1980-2019, la producción internacional de café mostró un crecimiento medio anual de 1.8%; esta tendencia se asocia a la expansión productiva que experimentó Brasil durante esas cuatro décadas, durante las cuales duplicó su producción (Quintero y Rosales, 2014).

La tasa de crecimiento de la producción de café en el mundo en los últimos años ha aumentado, a pesar de la contracción en la producción de Asia y Oceanía en 4.7% y África en 7.2%, debido a las condiciones meteorológicas adversas que se han presentado en estas regiones (OIC, 2023). La expansión productiva a

---

<sup>1</sup> La broca del café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari), es la plaga más importante en plantaciones comerciales de café en prácticamente todos los países productores del mundo. Todas las variedades y especies comerciales de café son atacadas por este insecto, lo cual reduce el rendimiento y la calidad de los granos (Fernández y Cordero, 2007).

<sup>2</sup> La Roya es un hongo fitoparásito del cafeto. Pertenecce a la subdivisión de los Basidiomicetos, del orden Uredinales, familia Pucciniaceae. Existen 32 razas de Roya Hemileia vastatrix que atacan a especies del género *Coffea* especialmente (*Coffea arabica*, *Coffea canephora* y *Coffea liberica*) (Henderson, 2019).

nivel mundial se ha mantenido, gracias a las aportaciones de las cosechas recolectadas principalmente en Brasil, Colombia y Etiopía (OIC, 2023; USDA, 2023a).

En cuanto a la producción mundial de café, la variedad arábica ha experimentado una disminución atribuible a la expansión productiva de la variedad robusta en Brasil y en el continente asiático, especialmente en Vietnam. La participación de los cafés arábicos pasó de 80% en 1960 a 60% en 1990, según lo señalan Quintero y Rosales (2014). Esta tendencia del incremento de la producción de café robusto a continuado desarrollándose hasta la actualidad, de acuerdo con Slavova y Georgieva (2019) y la Figura 1.

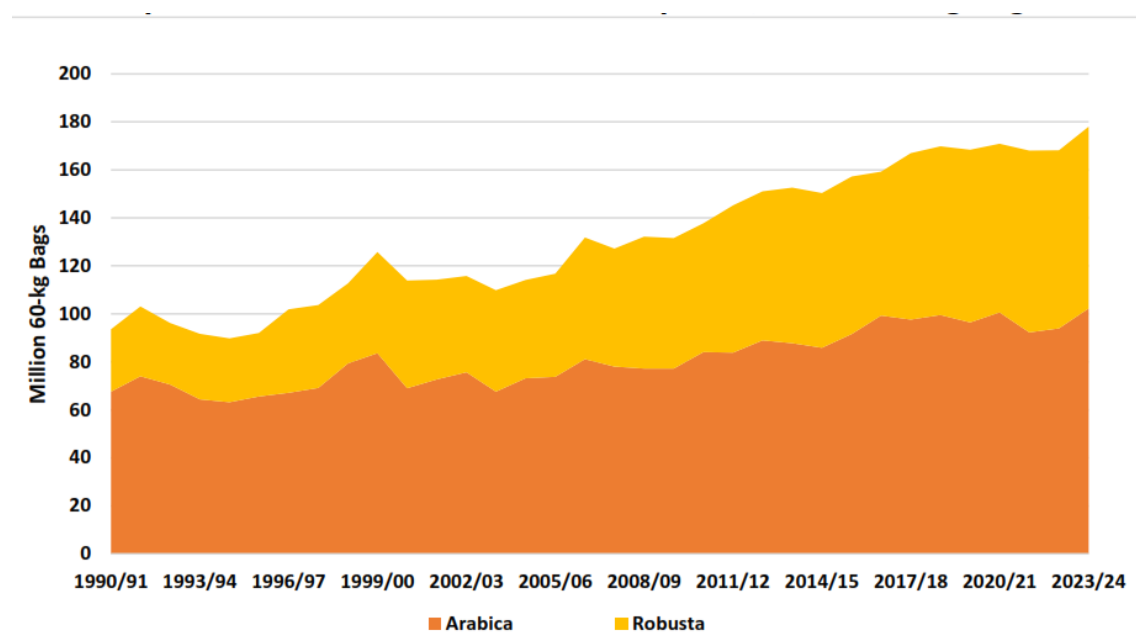


Figura 1. Producción mundial de café por especie, en millones de sacos de 60kg (OIC, 2023).

El cultivo de café es muy sensible a las variaciones de la temperatura y alteraciones en los patrones de precipitación, razones por las cuales las regiones cafetaleras del mundo se irán diferenciando cada vez más en las próximas décadas, a consecuencia del notable cambio climático que se han venido agudizando en los últimos años, y que ha afectado negativamente los rendimientos de los sistemas de producción cafetaleros (Magrach y Ghazoul,

2015). Además, el ascenso de la temperatura ha favorecido el desarrollo y expansión de la broca en todo el mundo, y ha afectado principalmente a productores de América Central y El Caribe en cuotas por encima de 1,200 msnm.

De acuerdo con Avelino *et al.* (2015), un claro ejemplo de los efectos del cambio climático en las plantaciones de café es la creciente expansión de la roya en México, Colombia y América Central en la última década. Esta enfermedad ha representado grandes desafíos para los productores, aumentado los costos de producción y disminuido sus ingresos (Villarreal, 2023).

En diversos estudios recientes, como los llevados a cabo por Bunn *et al.* (2015), Magrach y Ghazoul (2015) y Zullo *et al.* (2011), se ha destacado cómo el cambio climático podría propiciar una reconfiguración geográfica de las regiones cafetaleras a nivel mundial.

En la investigación desarrollada por Magrach y Ghazoul (2015) se estima que para el año 2050 las dos especies de café cultivadas en el mundo, experimentarán una pérdida de superficie cultivada de 50% de las actuales zonas cafetaleras, pero la ganancia de nuevos espacios de explotación cafetalera corresponderá a una distribución dispar, ya que las proyecciones muestran que el café arábigo solo tendría una ganancia de 9% de superficie nueva apta para el cultivo de esta especie. Por otra parte, para la variedad robusta el cambio climático duplicaría el número de hectáreas ideales para la siembra y cosecha de cafés robustos.

De acuerdo a las simulaciones de futuros escenarios en la producción de café se encontró que Brasil será un país que presentará importantes reducciones de tierras agrícolas con el cultivo de café de ambas especies (Bunn *et al.*, 2015); así mismo, en África Oriental y Madagascar podrían casi desaparecer la cadena productiva de café arábigo en las zonas de baja altitud, mientras que en las nuevas zonas cafetaleras de esta variedad podrían presentarse en el Sur de Brasil (Zullo *et al.*, 2011), la región oriental de África y la región occidental del continente asiático (Bunn *et al.*, 2015). La cuenca Amazónica y el Sudeste

Asiático son las futuras zonas para el cultivo de cafés robustos que en su conjunto podrían alcanzar los 97.4 millones de hectáreas.

Sin embargo, las nuevas regiones que podrían ofrecer las condiciones climáticas ideales para el establecimiento de ambas especies corresponden a áreas forestales principalmente en el continente asiático (Bunn *et al.*, 2015). En este caso, el sector cafetalero tendrá que aplicar una reconversión productiva en dichas regiones para poder satisfacer la demanda.

### **2.1.2 Estructura de mercado**

El café se ha posicionado en los mercados internacionales como uno de los productos agrícolas más valiosos (Abafita y Tadesse, 2021), dando lugar a un serie de acuerdos comerciales y a la institucionalización de todo el proceso comercial.

Derivado de la alta concentración de la producción mundial de café en Brasil durante el siglo XX, así como del crecimiento continuo de la producción en Colombia, hicieron posible que ambos países intentaran controlar los flujos del grano, como medida para cuidar los precios en el mercado internacional (Ponte, 2002). Brasil implementó un programa para evitar la sobreproducción y, con ello, lograr mantener estables los precios internacionales. Su estrategia consistió en retener y destruir los excedentes. Entre 1930 y 1941, Brasil destruyó alrededor de 4.32 millones de toneladas de café verde (OIC, 2013). Sin embargo, los esfuerzos brasileños en mantener estables los precios de café no tuvieron gran éxito, dado que Colombia, por su parte, no siguió la misma estrategia de retener y destruir excedentes. Colombia, por el contrario, decidió sacar ventaja ante la estrategia de regulación de precios que instrumentó Brasil (Pérez, 2009).

Ante los intentos de controlar los precios internacionales de forma individual por parte de Brasil, en 1936 y 1937 varios países productores llevaron a cabo un par de reuniones en Colombia y La Habana, para establecer acuerdos que les permitieran mantener un control de forma conjunta sobre los precios internacionales. Sin embargo, las dos primeras reuniones no lograron cristalizar

ninguna estrategia sólida, debido a los desacuerdos entre los países participantes y, más tarde, a la Segunda Guerra Mundial (OIC, 2013).

Fue hasta 1940, a través de la Tercera Conferencia Sobre Café, llevada a cabo en Nueva York, que se logró concretar y firmar un acuerdo para regular la balanza comercial del aromático. Estados Unidos de América y 14 países productores firmaron el Convenio Interamericano del Café, siendo el primer acuerdo que involucró a un país consumidor del producto; dicho convenio fue firmado en octubre de 1948 (Pérez, 2009).

La estrategia operativa de incluir en los acuerdos tanto a países productores como países consumidores, se extendió para acuerdos comerciales de varios tipos de mercancías, por lo que en 1948, 53 países firmaron el Estatuto de La Habana, cuya finalidad era integrar la Organización Internacional del Comercio. Esta iniciativa fue impulsada por la Conferencia de las Naciones Unidas para el Comercio y el Trabajo, y aunque no llegó a operar, sirvió de base para el desarrollo de futuros acuerdos (OIC, 2013).

Al transcurrir una década de haber concluido el primer convenio comercial del café, en 1958, 16 países firmaron el Convenio Latinoamericano del Café (convenio integrado en la firma de los Acuerdos de Washington, 1958). Entre los firmantes se encontraban países como: Francia, Portugal, Reino Unido y Bélgica, quienes fungieron como representantes de sus colonias africanas productoras de café (Lafer, 1973). Este nuevo convenio estableció un sistema de cuotas para las exportaciones de café con un plazo de un año. Al concluir la primera vigencia, se llevaron a cabo un par de renovaciones, finalizando la tercera renovación en 1962. En estos acuerdos solo participaron países productores, por lo que derivado de las condiciones internacionales del mercado cafetalero y de las experiencias adquiridas en la ejecución de los Convenios Latinoamericanos del Café de 1948 y 1958, en 1962 36 países productores y 13 consumidores firmaron el primer Acuerdo Internacional del Café<sup>3</sup> (Ponte, 2002); Esos acuerdos

---

<sup>3</sup> El Primer Acuerdo Internacional del Café firmado en 1962, es resultado del éxito que se tuvieron en los Acuerdos Latinoamericanos del café de 1958 (acuerdo regional).

fueron promovidos por el Grupo de Estudio del Café y por Estados Unidos y cubrieron entre 92% y 94% del comercio mundial de café (OIC, 2013). Con la integración de varios países productores y consumidores, fue posible desarrollar una estrategia de estabilización de precios, mediante el control de la oferta y demanda. Con la firma de este acuerdo, también se creó la Organización Internacional del Café.

El Segundo Acuerdo Internacional del Café correspondió al periodo de 1968 a 1973; se incorporaron 6 nuevos países productores y 7 países consumidores. Al tratarse de una renovación de los acuerdos, se continuó con las mismas estrategias de regulación de los precios internacionales y del sistema de cuotas para las exportaciones; además, se incorporaron acuerdos para evitar la expansión productiva y promover la diversificación de la producción, así como la creación de un fondo para la estabilización de precios. En 1972 se firmó el tercer Acuerdo Internacional del Café, en el que ya participaban 42 países productores y 23 países consumidores. En esta ocasión se fijaron nuevas reglas para definir las cuotas de producción para cada país. Este convenio tuvo una duración de 10 años (Portillo, 1993).

Durante la década de los 80s las exportaciones de café en el mundo se acentuaron debido a los ajustes estructurales que se llevaron a cabo en los principales países productores, con la finalidad de que estos países pudieran cumplir con los compromisos de deuda externa con la banca internacional (Quintero y Rosales, 2014). A pesar de que en este periodo los volúmenes de exportación mostraron una tendencia positiva, al comparar el valor de las exportaciones se encuentra que la tendencia fue a la baja.

En 1983 se firmó el Cuarto Acuerdo Internacional del Café por 47 países productores y 35 países consumidores; se estableció un sistema de diferenciación de café en cuatro grupos: arábigos colombianos, otros arábigos suaves, los cafés brasileños y los cafés robustos. El acuerdo se proyectó renovarlo en 1989. Sin embargo, debido a las políticas de libre mercado que empezaba a dominar el comercio internacional, se imposibilitó la continuidad de

las estrategias de regularización de los precios y del sistema de cuotas para la producción. En 1985 se interrumpió el sistema de cuotas, provocado por problemas meteorológicos que se presentaron en las zonas cafetaleras de Brasil, por lo que el 3 de Junio de 1989 se firmó un convenio para disolver los acuerdos que regulaban la producción (Callejas, 2000). Así, los precios y el flujo comercial del aromático quedaron determinados únicamente por las fuerzas de mercado.

En 1995 se logró firmar el Quinto Acuerdo internacional del Café, en donde se buscaba la cooperación internacional en materia de café, pero ya no se perseguía la regulación de los precios y ni de la producción (Pérez, 2009).

Una vez disueltos los acuerdos internacionales del café, los precios sufrieron una caída de un 40% en comparación a los precios vigentes durante el periodo de regularización, debido a que todas las reservas que se mantenían fuera de los flujos comerciales fueron liberadas e inundaron los mercados internacionales, generando una sobreoferta. Esta situación conllevó a que en 1993 la OIC estableciera un mecanismo de retención de las exportaciones, en donde se acordó que los países productores retendrían un 10% de la producción interna, con la finalidad de evitar una sobreoferta en los mercados internacionales. A esta iniciativa se sumó la Asociación de Países Productores de Café (APPC) y se incrementó el porcentaje de retención a un 20%. Sin embargo, estas medidas no funcionaron en su totalidad debido a diversos factores: en 1993 se presentó un incremento de precios en el producto debido a fuertes heladas en Brasil, además algunos países se negaron a participar en el programa de retención, entre ellos se encontraban México, Indonesia y Vietnam (OIC, 2013). A México le fue imposible participar en esas medidas, debido al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

La recuperación productiva de Brasil y la emergencia de nuevos países productores asiáticos propiciaron en 1998 el inicio de un gran desplome en los precios del café. Esta caída en los precios permaneció hasta 2004. Durante la crisis cafetalera se disolvió a APPC, debido a la imposibilidad de estabilizar y mejorar los precios del producto. Este fracaso se asoció a: la desaparición de

instituciones gubernamentales que operaron durante el periodo de regularización, la falta de precisión para la destrucción de excedentes y la inexistencia de castigos a países que no cumplieron los acuerdos de retención. En plena crisis, 45 países productores y 29 países consumidores, miembros de la OIC, firmaron el Sexto Acuerdo Internacional del Café, incluyendo un apartado en donde se contemplaba de forma íntegra y estratégica a todos los sectores de la cadena productiva: productores, transformadores industriales y comercializadores.

### **2.1.3 Transformación y exportación**

En la segunda mitad del siglo XX, aprovechando la innovación tecnológica para el envasado y la conservación de café procesado, se desarrollaron tostadores de café a gran escala para satisfacer la demanda creciente de los consumidores durante la posguerra. Algunos tostadores clave establecieron su dominio dentro de cada mercado nacional, como Lavazza en Italia, Jacobs, Eduscho y Tschibo en Alemania, Douwe Egberts en los Países Bajos y Gevalia en Suecia. Nestlé tomó el mando del mercado suizo, donde las mezclas solubles representaban más de la mitad de todo el café vendido en la década de los sesenta (Morris, 2013). En las últimas décadas unas pocas trasnacionales llegaron a controlar más de la mitad del comercio mundial del café, entre las cuales figuran Neuman Kafee (Alemania) Volcafé (Zuiza), Cargil (Estados Unidos), Esteve (Brasil-Suiza) Aron (Estados Unidos), Dreyfus (Francia) y Mitsubishi (Japón), las cuales controlan alrededor del 56% del mercado mundial (Roldán *et al.*, 2003).

En los últimos años, Nestlé ha forjado una extensa red de alianzas comerciales con las marcas cafeteras más destacadas a nivel mundial, entre las que se incluyen Starbucks, Nescafé y Nespresso. Además, ha consolidado su presencia en mercados regionales, como el de Estados Unidos, mediante la adquisición de una participación más significativa en Blue Bottle Coffee (Muñoz-Rodríguez, *et al.*, 2019). Estas estratégicas colaboraciones y expansión permiten a Nestlé consolidarse como líder en todas las categorías y mercados del sector cafetero.

Estados Unidos y la Unión Europea son actualmente los principales importadores de café verde, quienes a su vez exportan, una vez transformado por las grandes empresas cafeteras de estos países. En conjunto reciben el 60% de café verde para su transformación industrial (USDA, 2023b).

De acuerdo con ITC (2021) las exportaciones de café no sólo son un importante contribuyente a los ingresos en divisas, sino que también representan una proporción considerable de los ingresos fiscales y del producto interno bruto de muchos países productores. En Etiopía las exportaciones de café representan el 25% de su Producto Interno, mientras que para Burundi, Timor Leste, Uganda y Honduras las exportaciones del aromático representan entre el 10% y 20% de los ingresos nacionales.

En el estudio llevado a cabo por Abefita y Tadesse (2021), se emplearon datos de los 15 principales países exportadores de café en el mundo y sus relaciones comerciales con 150 países durante el período 2000-2015. Los resultados revelan que tanto el Producto Interno Bruto (PIB) del exportador (y su población) como el PIB del importador son factores determinantes que impulsan el comercio de café. Además, se observa que la distancia bilateral desempeña un papel crucial en estas relaciones comerciales, ya que, según el análisis, la distancia física obstaculiza el comercio de café, mientras que la presencia de una frontera común lo favorece.

Algunos aspectos culturales vinculados a relaciones coloniales, como compartir un colonizador común y el idioma, también inciden positivamente en el comercio del grano. Esta relación es destacada en las exportaciones de África Oriental hacia países europeos como el Reino Unido, Alemania y Francia (Ponte, 2002). Otras variables relevantes señaladas por Abefita y Tadesse (2021) en su investigación incluyen la depreciación en el tipo de cambio y la extensión de tierra cultivable en el país exportador. Por otro lado, se identifica que los aranceles impuestos por los países importadores y la crisis financiera mundial tienen un impacto significativo en la reducción del comercio de café.

#### 2.1.4 Consumo

En promedio se consumen aproximadamente 165 millones de sacos de café en todo el mundo, lo que equivale a la sorprendente cifra de 3,000 millones de tazas diarias (ITC, 2021). En las tres últimas décadas, el consumo global de café ha crecido a una tasa media anual de 2.3%. No obstante, en los últimos años se han registrado fluctuaciones en esta tendencia, atribuidas a eventos externos al sector, como la pandemia del COVID-19 en 2020, así como a las dinámicas de precios que persisten en el mercado (OIC, 2023).

En la Figura 2 se observa que alrededor del 30% del consumo mundial de café se concentra en Europa, esta región se destaca por un alto consumo, principalmente los países nórdicos, y en general todos los países europeos se caracterizan por un consumo medio anual de 9 kg de café (Figuerola-Hernández *et al.*, 2019). En contraste, la región de Centro América, el Caribe y México presentan un bajo consumo en comparación a las demás regiones del mundo, esto a pesar de ser una región productora, situación contraria observada en Brasil, donde el consumo y producción son destacables a nivel mundial (USDAb, 2023).

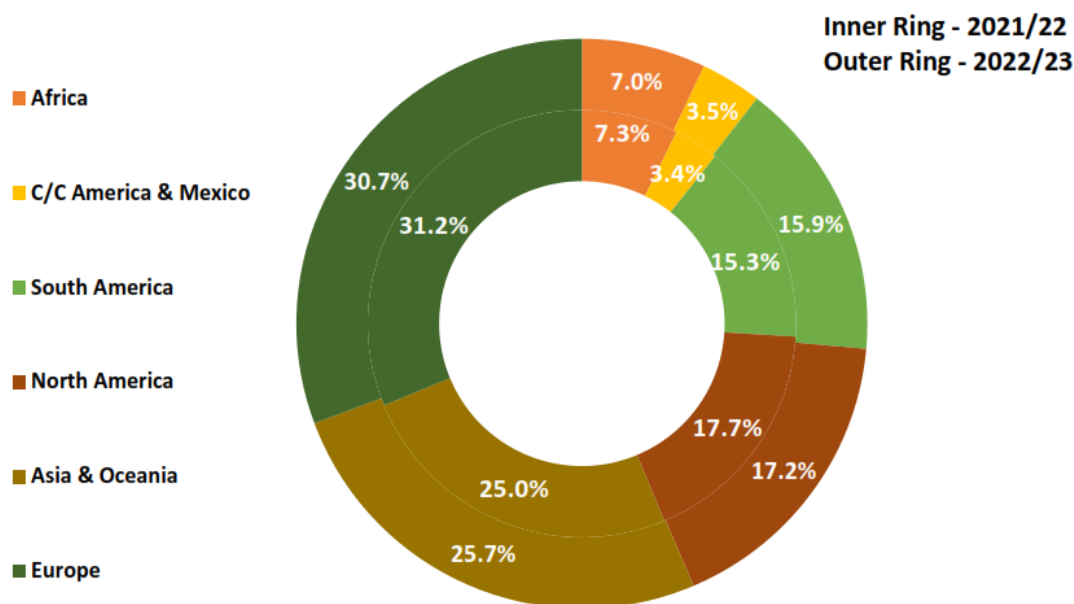


Figura 2. Consumo porcentual de café por regiones en el ciclo cafetalero 2021/22 y 2022/23. Fuente: OIC, 2023.

La expansión de la demanda de café en el mundo durante las últimas décadas se ha debido a la popularización de nuevos modelos de negocio en el sector, el cual gira entorno a conceptos como cafés de especialidad. Este concepto ha derivado una segmentación del mercado (Villarreal, 2023).

### **Cafés de especialidad**

El café que se consumía en el mundo durante el período de regularización de precios era de baja calidad, lo cual se debía al sistema estable de precios que no incentivaba a la mejoría de las cualidades del café. Esta situación condujo a que algunos países consumidores adoptarán sistemas y hábitos de consumo con exigencias de calidad (Pérez, 2009).

El primer movimiento consumista con requerimientos especiales se dio en Estados Unidos con la revolución “cafés de especialidad o gourmet” en la década de los sesenta. Este tipo de café se distinguió por estar constituido por granos seleccionados por su calidad, cuidadosamente cultivados, sometidos a proceso de transformación laboriosos y a una preparación especial, con la finalidad de ofrecer un sabor excepcional al consumidor. Esta clase de cafés especiales fue liderada y monopolizada por Starbucks (Ponte, 2002). Sin embargo, el gremio cafetalero no percibió esta tendencia consumista como un movimiento que beneficiara a los productores, dado que este concepto se derivaba de la administración estratégica empresarial.

La tendencia consumista de cafés gourmet o de especialidad solidificó algunas instituciones internacionales de carácter privado, las cuales se encargaron de la promoción de los cafés de especialidad y del diseño de las estrategias comerciales. El primer organismo internacional en este fragmento de consumo fue la Speciality Coffee Asociation of America (SCAA), con sede en Estados Unidos. Después se la Specialty Coffee Asociation of Europe (SCAE), con sede en Reino Unido, la cual tiene la finalidad de promover los cafés gourmet en Europa (Pérez, 2009).

En Europa aparecieron dos sistemas de consumo de café: el sistema de café orgánico y el sistema de comercio justo (Ponte, 2002). A partir de 1990 el

consumo de café orgánico cobró una gran importancia en países económicamente desarrollados, principalmente en Dinamarca, Austria, Suiza, Alemania, EUA y Canadá, quienes en su conjunto representaban una demanda total de 10.5% de la producción mundial. Además, el café orgánico experimentó una expansión de la demanda de 16% durante la década de los noventa. A este mercado lo han cubierto países latinoamericanos, como: México, Perú, Colombia y Nicaragua (Dilas-Jiménez et al., 2021). Debido a la enorme aceptación que tuvo el café orgánico en el mercado europeo y norteamericano, a través de la International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) con sede en Alemania, se definieron los mecanismos para unificar y estandarizar las diferentes iniciativas de producción orgánica alrededor del mundo, así como las normas de acreditación de agencias para la certificación de productos orgánicos (Lee y Bateman, 2021).

El esquema de comercio justo ha sido un sistema que ha buscado valorizar el trabajo de todos los participantes en la cadena de suministro del café, principalmente de los productores (Pancsira, 2022). Bajo este esquema se ha buscado integrar los aspectos económicos, sociales y ecológicos en la producción y comercialización del grano. Sin embargo, este esquema no ha tenido los resultados prometidos. Por ejemplo, para 2016 en EE.UU la demanda total de café bajo el esquema de comercio justo apenas alcanzó el 5% (Lee y Bateman, 2021). Para homologar y estandarizar las diferentes iniciativas de comercio justo se fundó la Fairtrade Labelling Organizations International (FLO International) ubicada en Alemania (Pancsira, 2022).

#### **2.1.5 El empleo**

Durante el periodo en los que se seguían los acuerdos internacionales del café, la renta en el sector cafetalero se distribuía de forma proporcional a la participación de cada agente económico a lo largo de la cadena productiva. Los países productores retenían alrededor del 20% de la renta total, mientras que los países procesadores del grano concentraban el 55% de los ingresos totales, pero a partir de la década de los noventa la renta se distribuyó de forma inequitativa

entre los países productores e industrializadoras del producto, cayendo la renta en siete puntos porcentuales para las naciones productores mientras que los países consumidores y transformadores alcanzaron a concentrar el 78% de la renta total, esta transferencia de renta en favor a las economías procesadoras de café fueron consecuencia de la discontinuidad de los acuerdos internacionales del café y entrada en vigor del esquema de libre mercado globalizado (Ponte, 2002; Rojo, 2022). Esta situación condujo a un asentamiento de problemas en el primer eslabón de la cadena productiva del café, en donde se concentran alrededor de 50 países subdesarrollados, ubicados en África, Asia y América latina (Silveira *et al.*, 2016).

Actualmente el café se cultiva alrededor de 52 países (ICT, 2021), en los cuales se estima que existen entre 20 a 25 millones de familias que siguen dependiendo económicamente del cultivo y cosecha del café (Kai-Hua *et al.*, 2020; Chain-Guadarrama *et al.*, 2019).

## **2.2 Sector cafetalero en México**

En México el café es el cultivo con mayor importancia económica y social, es una de las principales fuentes generadoras de divisas para el país, siendo superado únicamente por las divisas generadas por el petróleo y las remesas de los emigrantes (Galvez-Soriano y Cortés, 2021). De acuerdo con el informe anual del USDA en 2023 y de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, el café se cultiva en 15 entidades federativas de 480 municipios, en los cuales se emplean alrededor de 500,000 productores de pequeña escala.

### **2.2.1 Producción**

De acuerdo con los datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, durante 2020 en México se cosecharon 1,025,035 toneladas de café cereza provenientes de una superficie estimada a 648,487 ha, dando lugar a un rendimiento equivalente a  $1.58 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ , el cual es un indicador de la recuperación de la productividad de la cafecultura mexicana, dado que en la década pasada México presentó una caída en su rendimiento hasta alcanzar  $1.3 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  en 2016 y 2017.

El 80% de la producción nacional de café provienen de 5 identidades federativas: Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Guerrero según el Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA, 2023). El café arábigo es la especie que ha predominado en más del 95% de la producción nacional hasta el año 2017, tal como se puede apreciar en la Figura 3, sin embargo, en los últimos 6 años la producción de café robusto se ha aproximado a un 14% de la producción nacional.

El reciente aumento del diez por ciento en la producción total de café en México se atribuye a la sustitución de las plantaciones por nuevas variedades más resistentes a las plagas y enfermedades del cultivo. La decisión de renovar los cafetales fue una respuesta al agravamiento de la roya durante la segunda década del siglo actual (Villarreal, 2023). Veracruz es el estado que predomina actualmente en la producción de café robusto, el cual se canalizan para el suministro a la industria de café soluble (USDA, 2023).

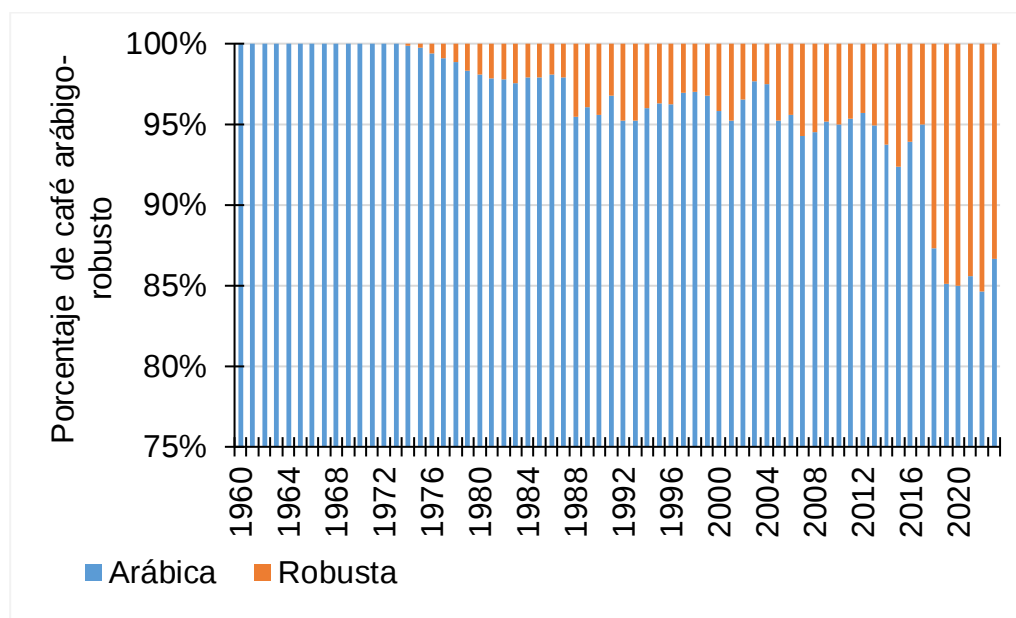


Figura 3. Distribución porcentual de la producción de café arábigo y robusto en México. Elaboración propia con datos de la USDA, periodo 1960-2023.

De acuerdo con la ubicación geográfica de las zonas cafetaleras en el territorio mexicano y las condiciones climáticas, la cosecha de café se produce entre

octubre y mayo, pero el 80% de la cosecha por cada ciclo agrícola se consigue entre diciembre y marzo, tal como se puede observar en la Figura 4.

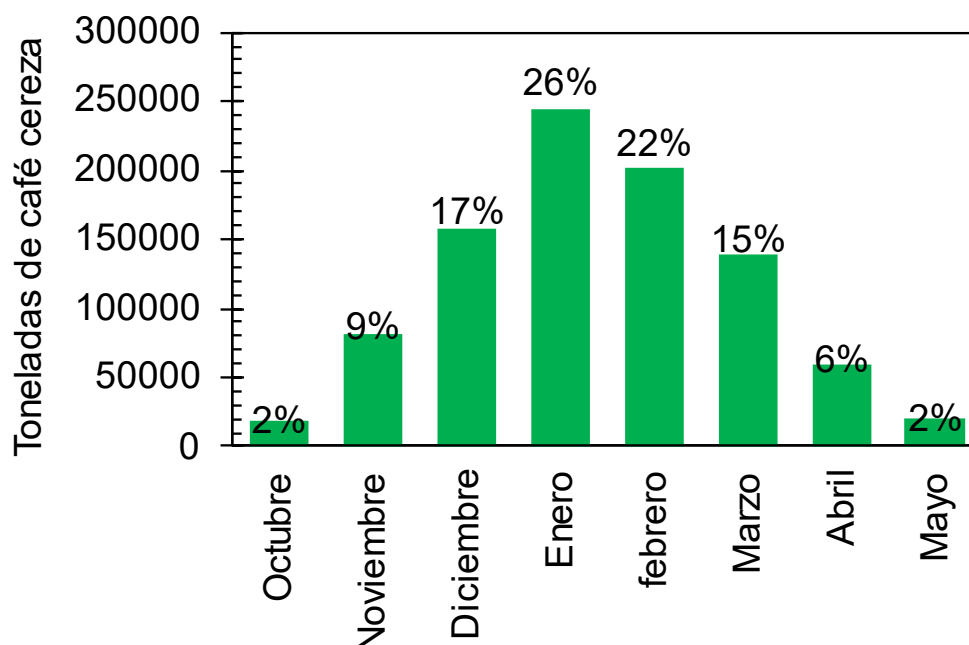


Figura 4. Periodo de cosecha de café en México. Elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca (SIAP).

### 2.2.2 Mercado

Durante la vigencia de los acuerdos internacionales del café de la OIC, cuyo fin era mantener una estabilidad en los precios, así como la existencia del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE), México desarrolló una expansión comercial; es decir, el país mantuvo una balanza comercial superavitaria y creciente, tal como se puede observar en la Figura 5.

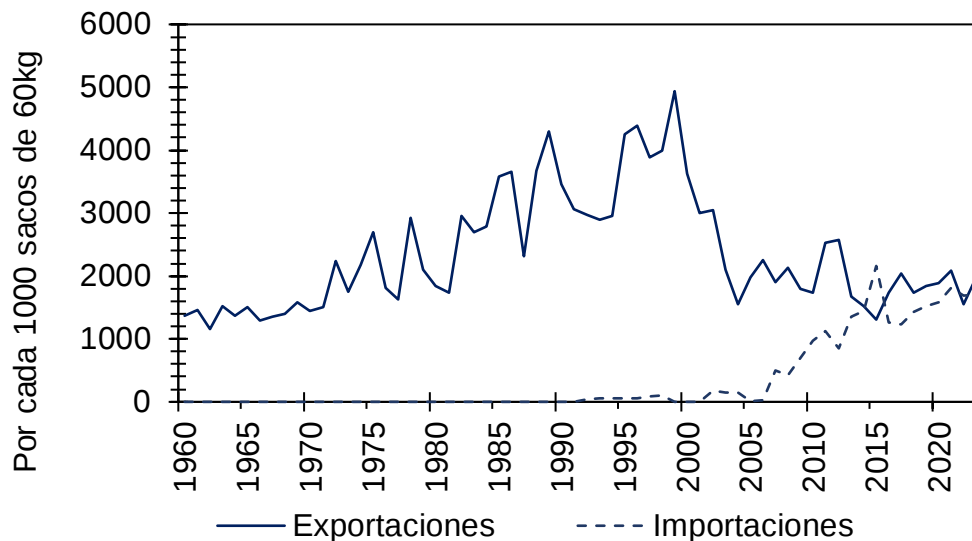


Figura 5. Actividad comercial de México de café verde en 1000 sacos de 60kg. Elaboración propia con datos de la USDA, 2023.

Sin embargo, a partir de la suspensión de los acuerdos internacionales de regularización de la OIC, la desaparición de la INMECAFE y la adopción de políticas comerciales que impulsan el libre mercado, México comenzó a importar café verde y procesado principalmente de Brasil y EE.UU. (USDA, 2023A). Además de los cambios estructurales e institucionales, actualmente se acentúan los problemas fitosanitarios como la roya, los cuales agudizan las tendencias de exportación e importación del aromático (Rojo, 2022). Las exportaciones e importaciones mexicanas de café en la última década fluctuaron entre 90 mil y 120 mil toneladas por año (FIRA, 2023). En el siglo pasado los volúmenes de exportación de café mexicano eran superiores a estas cifras y las importaciones era nulas.

Según los datos oficiales de la OIC (2023), México se ubica como el noveno país del mundo en exportaciones de café, ya sea verde, tostado, molido o soluble. Sin embargo, al analizar detenidamente las exportaciones por categoría, se observa que las exportaciones de café verde desde México son poco significativas en comparación con los volúmenes exportados por los 10 principales países en este rubro. Por otro lado, en los últimos años México se ha destacado como uno de los 5 principales países en la exportación de café tostado y molido, a pesar de

que sus volúmenes han experimentado una reducción del 30%. En 2023, México exportó 7,160 toneladas netas de café tostado y molido, en contraste con las 10,387 toneladas netas exportadas en 2019. En cuanto a las exportaciones de café soluble para el mismo periodo, México se encuentra en el noveno lugar, con volúmenes que fluctúan entre las 19,840 y 20,770 toneladas netas (USDA, 2023a).

### **2.2.3 Consumo**

En relación con el consumo doméstico nacional de países productores y no productores, México figura en la posición número 14 a nivel mundial, pero si se realiza una distinción entre países consumidores-productores y consumidores-no-productores, México se posiciona en el sexto puesto dentro de los países productores y consumidores (USDA, 2023a). Sin embargo, el consumo nacional *per cápita* de café aún no es relevante con respecto al consumo mundial del aromático.

El consumo de café en México se divide en un 63% de café soluble y 37% de café tostado y molido (FIRA, 2023). En las dos últimas décadas se ha observado un crecimiento en el consumo mexicano de café (ver Figura 6), atribuido a la introducción de marcas reconocidas en el territorio nacional y al fomento de bebidas combinadas con el café para aromatizarlas o incrementar la gama de sabores; estas prácticas contribuyen al aumento de la capacidad del sector cafetalero para captar mayor número de consumidores con diferentes gustos y preferencias (Cruz-Flores *et al.*, 2020).

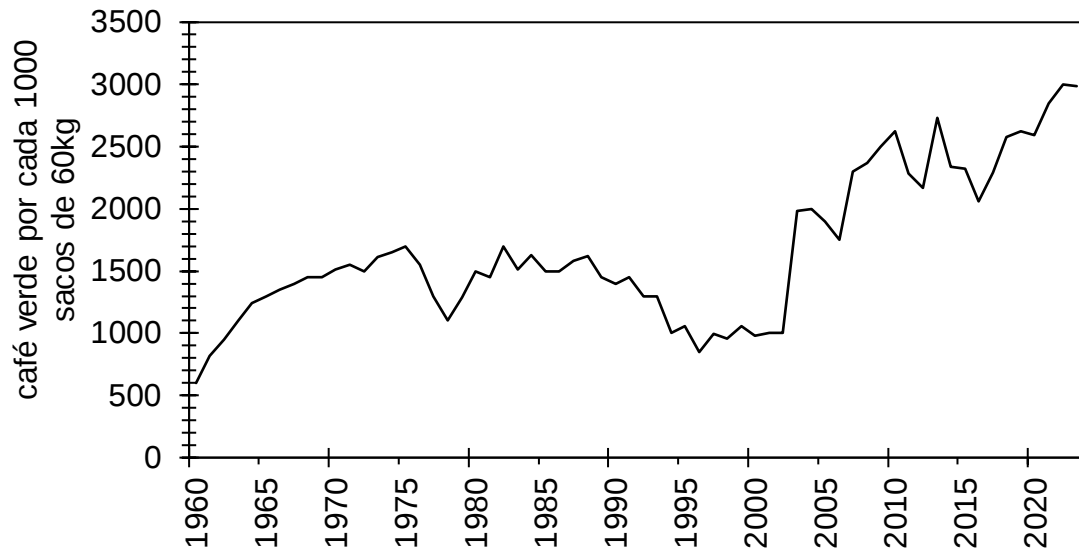


Figura 6. Consumo total de café en México. Elaboración propia con datos de la USDA, 2023.

La continua expansión demográfica y la constancia del ingreso de turistas en el territorio nacional también son factores que explican la expansión del consumo de café en México (OIC, 2023).

#### 2.2.4 Desempleo y migración

Los precios bajos del café vinieron acompañados de una serie de problemas sociales y económicos directamente impresos de las familias de los productores. Al liberar los precios a nivel internacional en el sector cafetalero, los pequeños productores fueron los primeros en recibir los efectos negativos: el primer efecto de una bajada de precios, se tradujo a una reducción en los niveles de ingresos que obtenían los productores por el desarrollo de la cafeticultura (Hernandez-Trillo, 2018; Rojo, 2022).

Se estima que los niveles de ingresos de los pequeños productores mexicanos se redujeron en 65% (Nava-Tablada, 2012). En respuesta a este descenso de los ingresos se presentó una importante expulsión migratoria del 50% del total de cafeticultores de sus zonas de origen. Los primeros flujos migratorios fueron de carácter interno, es decir, de las comunidades rurales a las ciudades, pero en

la actualidad la migración internacional ha empezado a dispararse (Ortega y Ramírez, 2013).

En México entre el 60% y 70% de los cafecultores pertenecer a un grupo indígena, situación que los pone en desventaja dentro del proceso de acumulación de capital. En los últimos años se estima que 500 mil familias estuvieron involucradas en la cafecultura nacional (Contreras-Medina *et al.*, 2020).

## **2.3 Precios del café**

### **2.3.1 Volatilidad actual de los precios del café**

Actualmente los precios internacionales del café se caracterizan por ser altamente volátiles. Esa volatilidad se atribuye principalmente a la baja elasticidad precio de la oferta y la demanda de este producto agroindustrial, dado que ante una pequeña variación en la cantidad de oferta o demanda del aromático, los precios responden con una mayor variación en términos absolutos (Otero y Milas, 2001).

La baja elasticidad precio de la oferta del café, podría deberse a que las nuevas plantaciones de café no entran en producción desde el primer ciclo agrícola; se necesitan al menos dos años para comenzar a producir y contribuir al aumento de la oferta, por lo tanto, la oferta no varía en el corto plazo ante cambios en los precios. Situación similar observado en el consumo, dado que no varía significativamente ante cambios en los precios (Pancsira, 2022). Consecuentemente, la volatilidad de los precios del café, afecta directamente a los diferentes agentes económicos involucrados en la cadena de suministro; productores, transformadores, comerciantes y consumidores, pero con mayor profundidad a los productores (Kai-Hua *et al.*, 2020; Otero y Milas, 2001).

En las últimas tres décadas, posteriores a la suspensión de los acuerdos regulatorios de la OIC, los precios del café han experimentado dos picos históricos destacables, ocurridos en 1997 y 2011. No obstante, también es importante mencionar los picos de precios altos registrados en 1994, 2015 y 2022 como se muestra en la Figura 7. Sin embargo, estos picos históricos de precios

no se han reflejado significativamente en las utilidades de los productores, debido a los incrementos constantes en los precios de los insumos agrícolas necesarios para el mantenimiento y producción de las plantaciones, las cuales han absorbido dichos incrementos de precios en el aromático (FIRA, 2023).

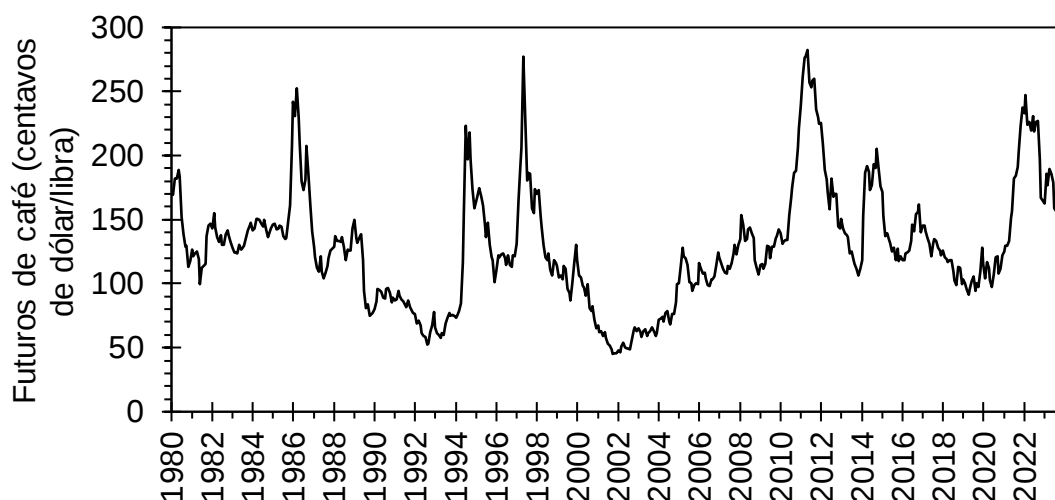


Figura 7. Cotización del café arábigo en el mercado de futuros en la Bolsa de Nueva York (1980-2023). Elaboración propia con datos de *investing.com*.

Se han identificado depresiones, especialmente en 1992 y 2002. Se considera que los precios bajos registrados en 2002 representan la crisis más profunda para el sector cafetalero, lo cual ha sido denominado como la crisis del café (Figueroa-Hernández *et al.*, 2019).

Derivado de la dinámica de los precios que perciben los productores de café, actualmente, a pesar de tener un arraigo con el cultivo de café, los productores complementan sus bajos ingresos con la diversificación de cultivos o el desarrollo de actividades económicas diferentes a la agricultura (Vázquez-López *et al.*, 2022).

### 2.3.2 Tipo de precios del café

Debido a las diferencias en la calidad entre los cafés robusta y arábica, se produce una variación en las cotizaciones en los mercados internacionales. La OIC publica diariamente en su página oficial cuatro precios diferentes, correspondientes a los distintos grupos definidos por este organismo, además de

un quinto precio que actúa como un valor de referencia general. Estos precios se utilizan como punto de referencia en los mercados internacionales, lo que se refleja en las cotizaciones de futuros en la Bolsa de Nueva York y la Bolsa de Chicago, donde se negocian el café arábica y robusta, respectivamente. La relación entre los precios *Spot* y de futuros se puede verificar al comparar las gráficas de la Figura 7 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para el periodo 1990-2019:

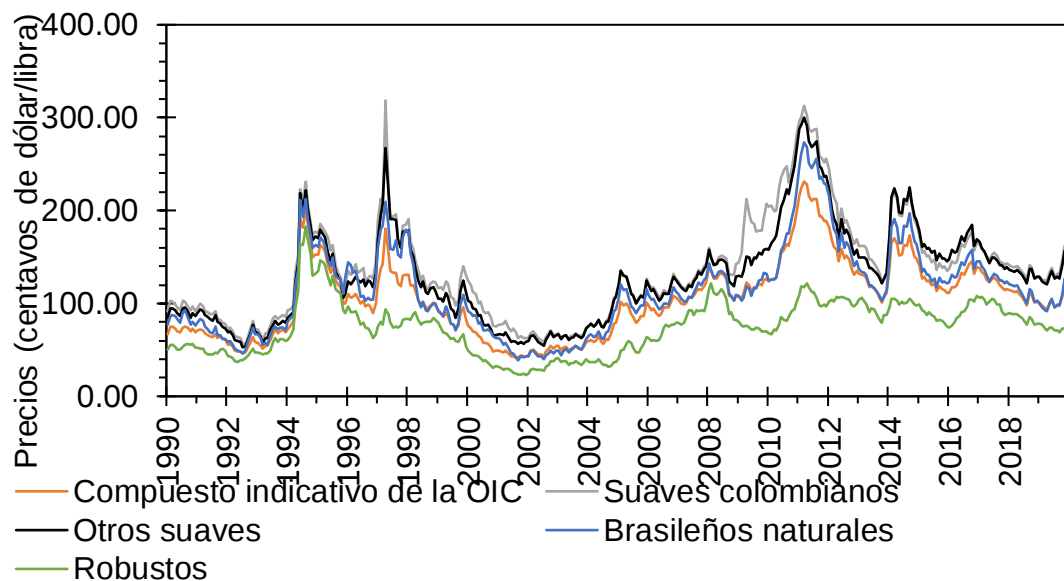


Figura 8. Precio indicativo y por grupo publicado por la Organización Internacional del Café. Elaboración propia con datos de la OIC.

Los precios correspondientes a los grupos arábigos suaves y colombianos son las que han presentado las mejores cotizaciones en los mercados internacionales, como evidencia de su alta calidad. Mientras tanto, los grupos de los naturales brasileños y de otros arábigos presentan generalmente cotizaciones similares o cercanos a los precios indicativos compuestos de la OIC, tal como lo podemos verificar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Los cafés robustos son los que actualmente presentan las menores cotizaciones en el mercado. Sin embargo, es importante señalar que los precios publicados por la OIC eran muy similares en el primer quinquenio en la década de los

noventa; sin embargo, posteriormente a este periodo los precios de café robusto y de los arábigos se han diferenciado notablemente. Esta situación podría deberse a la suspensión de los acuerdos internacionales regulatorios de la OIC y al fomento del libre mercado en los países productores.

## **2.4 Teoría sobre las series de tiempo**

### **2.4.1 ¿Qué es una serie de tiempo?**

Una serie de tiempo es una colección de datos observados de una misma variable que siguen un orden cronológico con  $t = 1, 2, \dots, T$  de un proceso estocástico (Montenegro, 1989). Esta sucesión cronológica se representa en la ecuación (1):

$$Y_t = \{y_1, y_2, \dots, y_T\} \quad (1)$$

Un aspecto de interés particular de las series de tiempo corresponde a la propiedad de *estacionariedad*, propiedad fundamental para pronosticar su comportamiento en un periodo posterior a la serie  $Y_t$ ; es decir, en  $\hat{y}_{t+p}$  a partir de  $y_{t-p}$  rezagos (Elizalde, 2022). De lo contrario, si una serie de tiempo no cuenta con este atributo esencial de estacionariedad, las series de tiempo no serían útiles para construir un pronóstico; sus aplicaciones se limitarían a un simple análisis de su comportamiento dentro del periodo observado (Gujarati y Porter, 2010). Por lo tanto, la estacionariedad es una cualidad deseable en las series de tiempo.

Un proceso estocástico estacionario es aquel cuya media y varianza (primer y segundo momento de la función de distribución de probabilidades) son constantes en el tiempo,  $\mu$  y  $\sigma^2$ , respectivamente. Así mismo, la covarianza debe ser independiente del tiempo y únicamente debe estar en función de la distancia entre los dos periodos de la serie temporal  $Y_t$  y  $Y_{t-1}$  (Gujarati y Porter, 2010).

Dada la gran importancia de la estacionariedad de las series de tiempo, resulta necesario revisar los métodos que permiten analizar estadísticamente si una serie de tiempo es estacionaria o no y, en caso de no lo sea, será necesario revisar los métodos que permiten desarrollar procedimientos de transformación

para dotar a las series de tiempo no estacionarias de atributos de estacionariedad. Los investigadores han encontrado que los procesos estocásticos referentes a variables económicas suelen no ser estacionarios (Granger, 1986; Gujarati y Portes, 2010).

## 2.4.2 Análisis de la estacionariedad

### Función de autocorrelación

Una de las pruebas usualmente utilizadas para evaluar la estacionariedad de una serie de tiempo, es mediante la determinación de una función de autocorrelación (FAC) con  $k$  rezagos, la cual se denota por  $p_k$ , tal como se expresa en la ecuación (2):

$$p_k = \frac{y_k}{y_0} \quad (2)$$

donde  $y_k$  es la covarianza en el rezago  $k$ , y  $y_0$  es la varianza. De la ecuación (2) se deduce fácilmente que si no se considera ningún rezago, es decir se toma el valor de  $k = 0$ , resultaría un valor de  $p_k = 1$ . De igual forma, se observa que el valor de  $p_k$  es adimensional y que  $p_k \in (-1,1)$ , esta deducción es lógica y corresponde a la naturaleza de todo coeficiente de correlación (Montenegro, 1989).

La representación gráfica de una FAC en la bibliografía se le conoce comúnmente como *correlograma*, el cual permite intuir, mediante un análisis visual, si una serie de tiempo es de naturaleza estacionaria, antes de efectuar alguna prueba estadística (Gujarati y Porter, 2010).

Debido a que en la práctica solo se cuentan con determinados eventos de un proceso estocástico, esta situación implica el cálculo de una función de autocorrelación muestral  $\hat{p}_k$ . De la Ecuación (2):

$$\hat{p}_k = \frac{\hat{y}_k}{\hat{y}_0} \quad (3)$$

donde  $\hat{y}_k$  y  $\hat{y}_0$  se calculan a través de las siguientes expresiones:

$$\hat{y}_k = \frac{\sum (Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{n} \quad (4)$$

$$\hat{y}_0 = \frac{\sum (Y_t - \bar{Y})^2}{n} \quad (5)$$

En (4) y (5),  $n$  representa el tamaño de la muestra o serie de tiempo.

Al aplicar la Ecuación (3), es importante conocer la longitud adecuada de los rezagos de una serie de tiempo. Según Gujarati y Porter (2010) una buena referencia es considerar una tercera o una cuarta parte de la longitud de la serie de tiempo. Una vez solventado el número apropiado de rezagos, interesa saber si el valor de  $\hat{p}_k$  revela una serie de tiempo estacionaria, para ello es necesario contar con pruebas estadísticas factibles de decisión.

De acuerdo a Gujarati y Porter (2010), Bartlett (1976) demostró que, si una serie de tiempo es puramente aleatoria,  $\hat{p}_k$  se distribuye como una función de densidad de probabilidad normal con media 0 y varianza  $(1/n)$ , por lo que, la probabilidad del intervalo de confianza es:

$$IC = P\left(\hat{p}_k - Z_{\alpha/2}\sigma \leq \hat{p}_k \leq \hat{p}_k + Z_{\alpha/2}\sigma\right) \quad (6)$$

Si  $0 \in IC$ , entonces  $\hat{p}_k$  indica una serie de tiempo estacionaria, dado que el verdadero valor de  $p_k$  podría ser significativamente similar a cero en el rezago  $k$ . Sin embargo, en vez de evaluar si cada coeficiente de la FAC es aproximadamente cero, se puede utilizar el estadístico  $Q$ , desarrollado por Box y Pierce en 1970 (González y Lobato, 2003).

$$Q = n \sum_{k=1}^m \hat{p}_k^2 \quad (7)$$

donde  $n$  es el tamaño de la muestra y  $m$  es la longitud del rezago.

Con este estadístico podemos probar la hipótesis conjunta de que los valores de  $p_k$  con  $k$  rezagos son simultáneamente cero. Para ello, hay que tener en cuenta que en muestras grandes el estadístico  $Q$  de Box y Pierce sigue una distribución

aproximada a la *Ji-Cuadrada* con  $m$  grados de libertad (González y Lobato, 2003). Por lo tanto, la prueba de hipótesis conjunta para este planteamiento general es:

$$H_0: p_k = 0 \quad vs \quad H_a: p_k \neq 0$$

El criterio de decisión es:

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ si } Q_{cal} > Q_{cri}$$

donde los valores de  $Q_{cri}$  son recuperadas de las tablas de *Ji-Cuadrada* con  $m$  grados de libertad.

### **Prueba raíz unitaria**

La aplicación de un análisis de raíz unitaria facilita una identificación más precisa de la estacionariedad de una serie de tiempo  $y_t$ , en contraste con el análisis gráfico. Además, una ventaja adicional del análisis de raíz unitaria para tales series de tiempo es su capacidad para proporcionar una solución, a través de procesos de diferenciación, en el caso de identificar una serie de tiempo no estacionaria.

El punto de partida para explorar la existencia de raíz unitaria en un proceso estocástico es la consideración de un modelo de caminata aleatoria, el cual se expresa en la Ecuación (8) (Liu y Covarrubias, 2023):

$$y_t = py_{t-1} + u_t \quad -1 \leq p \leq 1 \quad (8)$$

donde  $u_t$  es un término de error de ruido blanco. Si  $p = 1$ , entonces  $y_t$  sería un proceso estocástico no estacionario. Sin embargo, en la práctica no se puede estimar el valor de  $p$  por medio de una regresión de  $y_t$  sobre  $y_{t-1}$  por medio de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), y probar la hipótesis mediante el estadístico  $t$ , debido a los sesgos que presenta una raíz unitaria con respecto a la distribución *t-student*. Por lo tanto, para superar esta dificultad se aplica un proceso de diferenciación a la Ecuación (8) para obtener una expresión equivalente. Si se sustrae  $Y_{t-1}$  en ambos miembros de la igualdad de la Ecuación (8), se tiene:

$$y_t - y_{t-1} = py_{t-1} - y_{t-1} + u_t$$

$$\Delta y_t = (p - 1)y_{t-1} + u_t$$

De acuerdo a Gujarati y Porter (2010), Martínez (2003) y Ríos (2015), la anterior expresión, en los documentos de divulgación comúnmente se presenta como:

$$\Delta y_t = \delta y_{t-1} + u_t \quad (9)$$

donde  $\delta = p - 1$ , y  $\Delta$  es el operador de primeras diferencias. De la ecuación (9) se prueba la hipótesis nula de que  $\delta = 0$  ( $y_t \sim I(1)$ ), contra la hipótesis alterna  $\delta < 0$  ( $y_t \sim I(0)$ )<sup>4</sup>. Si  $\delta = 0$  entonces  $p = 1$ , lo que implica que  $y_t$  tiene raíz unitaria y, por lo tanto, la serie de tiempo no es estacionaria (Martínez, 2003). En consecuencia, en esta prueba solo se tienen que calcular las primeras diferencias y hacer una regresión de  $y_{t-1}$  sobre las primeras diferencias, con el objetivo de calcular el coeficiente ( $\delta$ ), el cual permitirá inferir si la serie de tiempo presenta estacionariedad o no.

### Prueba Dickey-Fuller

La prueba Dickey-Fuller (DF) es una de las pruebas más comunes que permite identificar la estacionariedad en un proceso estocástico, al desarrollar un análisis de raíz unitaria. De acuerdo con (Liu y Covarrubias, 2023) para la investigación de la estacionariedad de un serie de tiempo mediante un análisis de raíz unitaria, se pueden formular tres planteamientos diferentes, el cual está en función del comportamiento temporal del proceso estocástico, por lo tanto los planteamientos pueden ser:

- $y_t$  es una caminata aleatoria sin intercepto

$$\Delta y_t = \delta y_{t-1} + u_t \quad (10)$$

- $y_t$  es una caminata aleatoria con Intercepto

---

<sup>4</sup> La notación  $I(d)$  con  $d = 0, 1, 2 \dots$  se refiere al número de diferencias que se debe aplicar a una serie de tiempo para adquirir la estacionariedad.  $d$  se le denomina "orden de integración". La mayoría de las variables económicas son de primer orden  $I(1)$  (Granger, 1986).

$$\Delta y_t = \beta_1 + \delta y_{t-1} + u_t \quad (11)$$

□  $y_t$  es una caminata aleatoria con Intercepto y tendencia

$$\Delta y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta y_{t-1} + u_t \quad (12)$$

En la ecuación (12)  $t$  representa el tiempo o la tendencia en el proceso estocástico. Para cada uno de los tres planteamientos antes presentados, se aplica la prueba estadística de raíz unitaria; es decir  $H_0: \delta = 0$  vs  $H_a: \delta < 0$ , en función del siguiente criterio de decisión:

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ si } |\tau_{cal}| < |\tau_{c(\alpha/2)}|$$

El valor crítico  $\tau_c$  corresponde a los valores estimados Dickey-Fuller, los cuales corresponden a un ajuste de la distribución  $t$  (Granger, 1986). Al aceptar  $H_0$  implica que una serie de tiempo presenta raíz unitaria y, en consecuencia, se estaría hablando de una  $y_t$  no estacionaria, mientras que al rechazar la hipótesis nula se concluye que la serie de tiempo sí cuenta con estacionariedad (Dickey y Fuller, 1979).

En la Ecuación (10) la estacionariedad se presenta con una media igual a cero, mientras que para la Ecuación (11) la estacionariedad es con una media diferente de cero; para el caso de la Ecuación (12), el rechazo de  $H_0$ , además de concluir que la serie de tiempo no presenta raíz unitaria, también se puede probar de forma simultánea que existe una tendencia determinista ( $\alpha \neq 0$ ), mediante la prueba  $F$  de Fisher, pero con los valores tabulados por Dickey y Fuller (Gujarati y Porter, 2010).

### **Prueba Dickey-Fuller Aumentada**

La prueba denominada *Dickey-Fuller Aumentada* (DFA) se consigue después de ampliar las ecuaciones (10), (11) y (12) con los valores rezagados de la variable dependiente  $\Delta y_t$  y la correlación temporal de  $u_t$ ; por lo tanto, las ecuaciones resultantes son:

$$\Delta y_t = \delta y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (13)$$

$$\Delta y_t = \beta_1 + \delta y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (14)$$

$$\Delta y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (15)$$

donde  $\varepsilon_t$  es un término de error, de ruido blanco y  $\Delta y_{t-1} = (y_{t-1} - y_{t-2})$ ,  $\Delta y_{t-2} = (y_{t-2} - y_{t-3})$ , etc. El número de diferencias rezagadas que se deben incluir a menudo se determina de forma empírica, con la idea de incluir los suficientes términos para que el término de error en las ecuaciones (13), (14) y (15) no esté serialmente relacionado y pueda estimarse de manera insesgada  $\delta$ . La prueba de hipótesis sigue siendo la identificación de raíz unitaria con los estadísticos planteados por Dickey y Fuller.

### Prueba de Philips-Perron

Con la finalidad de evaluar una serie de tiempo a nivel, frecuentemente se utiliza la prueba Dickey-Fuller con una modificación no paramétrica, cuya ventaja radica en el tratamiento de series temporales con presencia de heterocedasticidad en el proceso de identificación de una raíz unitaria. Sin embargo, su potencia es menor a la prueba Dickey-Fuller Aumentada (Kwaku *et al.*, 2020). A este nuevo planteamiento se le denomina prueba de Phillips-Perron (PP) y no requiere la especificación del número de rezagos.

La prueba Phillips-Perron se utiliza para evaluar la misma prueba de hipótesis bajo el mismo criterio de decisión que en la prueba estadística de Dickey-Fuller y Dickey-Fuller Aumentada. Para ello se tiene:

$$\tilde{t}_\alpha = t_\alpha \left( \frac{\gamma_0}{f_0} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T(f_0 - \gamma_0)(Se(\hat{\alpha}))}{2f^{\frac{1}{2}}s} \quad (16)$$

donde  $S$  representa el error estándar de la regresión,  $\gamma_0$  es un estimador respecto al error de la varianza que converge al valor verdadero cuando el tamaño de la muestra aumenta, y  $f_0$  es un estimador del espectro residual con frecuencia cero (González-Estrada *et al.*, 2007).

### 2.4.3 Modelo Vectorial Autorregresivo

Dentro de las ciencias económicas, cuando se pretende describir, pronosticar y desarrollar inferencia estadística sobre un conjunto de series temporales, es fundamental aplicar metodologías analíticas que tengan la capacidad de capturar la dinámica conjunta de las series de tiempo, que en ocasiones se involucran decenas de variables para un análisis (Guzmán y Alba, 2008).

Para el estudio de sistemas temporales dinámicos presentan un importante auge en la década de los ochenta, con el desarrollo de modelos vectoriales autorregresivos (VAR), desarrollados en la Universidad de Minnesota por Sims *et al.* (1982) y Sims (1986), quien fue pionero en esta área y, por ello, ganó el Premio Nobel.

Un modelo VAR se plantea como un sistema de ecuaciones interrelacionadas de forma conjunta, donde una serie de tiempo se explica por su propio rezago, el rezago de las otras variables, más los errores estocásticos que se puedan generar en cada ecuación del sistema (Trujillo, 2010). El modelo VAR se expresa en diferencias para series de tiempo no estacionarias, tal como se puede verificar en la Ecuación (17).

$$\Delta y_t = \Pi + \sum_{i=1}^p \psi_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (17)$$

En la Ecuación (17)  $\Delta y_t$  representa el vector con  $k$  series de tiempo en diferencias,  $p$  es el número de rezagos óptimos para el modelo VAR,  $\Delta y_{t-i}$  es el vector con series de tiempo en diferencias en el rezago  $i$  de dimensión  $k \times 1$ ,  $\psi_i$  es la matriz de dimensión  $k \times k$  correspondiente a los parámetros de las series de tiempo con  $i$  rezago,  $\Pi$  es un vector de constantes de  $k \times 1$ , y  $\varepsilon_t$  es el vector de innovaciones o ruido blanco. Esta especificación matemática implica que cada

ecuación que conforma el sistema dinámico está integrada por el mismo número de variables explicativas, las cuales están interrelacionadas (Rahmer *et al.*, 2019).

La Ecuación (17) representa un sistema dinámico en el que todas las variables son endógenas. Sin embargo, en el modelo también se pueden considerar variables exógenas (Brugger y Ortiz, 2012; Dominguez *et al.*, 2010; Espinosa y Vaca, 2014; Tuyén *et al.*, 2020), con lo cual se obtiene un modelo ampliado como se muestra en la Ecuación (18).

$$\Delta y_t = \Pi + \sum_{i=1}^p \psi_i \Delta y_{t-i} + \Phi x_t + \varepsilon_t \quad (18)$$

donde  $\Phi$  es una matriz  $k \times d$  que acompaña al vector de variables exógenas en el sistema dinámico;  $x_t$  corresponde al vector de series de tiempo con dinámica independiente a la dinámica de las variables endógenas (Domínguez *et al.*, 2010; Espinosa y Vaca, 2014; Tuyén *et al.*, 2020).

Existen diversos criterios estadísticos para identificar el orden de rezago óptimo de un sistema VAR, entre los cuales destacan: la razón de verosimilitud (LR), el error de predicción final (PPE), el criterio de Información de Akaike (AIC), el criterio de Información de Schwarz (SC) y el criterio de Información de Hannan-Quinn (HQ) (Geburu y Ramakrishna, 2018; Hamzah *et al.*, 2020). El rezago óptimo de un modelo VAR se presenta cuando los criterios estadísticos presentan valores mínimos. Por lo tanto, es fundamental calcular más de un criterio de información para comparar y verificar si uno o más criterios convergen al mismo número de rezago óptimo, de acuerdo con su valor mínimo.

#### 2.4.4 Cointegración

La estimación de modelos econométricos con series de tiempo requiere procedimientos analíticos específicos. Correr una regresión estándar con variables estocásticas podría resultar en una regresión espuria. Para no caer en este tipo de errores, se recomienda desarrollar un análisis de cointegración de

las variables (Engle y Granger, 1987; Granger, 1986; Gujarati y Porter, 2010; Tuy  n *et al.*, 2020).

La cointegración de series de tiempo se traduce a una relación de equilibrio de largo plazo entre las variables estocásticas (Granger, 1986). Por otro lado, un sistema dinámico cointegrado evita la perdida de información, contrario a lo que sucede cuando se aplican diferencias a las variables para convertir las series de tiempo estocásticas en series estacionarias. Por lo tanto, debido a los atributos que se derivan de los sistemas cointegrados, un análisis de cointegración resulta fundamental en el análisis de series de tiempo.

### **Cointegración de dos series de tiempo**

Para desarrollar un análisis de cointegración, se plantea una combinación lineal entre las variables estocásticas, tal como se muestra en la Ecuación (19) de forma general y simplificada para dos series temporales, las cuales deben cumplir el requisito de tener un mismo nivel de integración (Engle y Granger, 1987; Granger, 1986). En este análisis se busca determinar si los residuos  $u_t$  presentan estacionariedad o no (Rios, 2015).

$$y_t = \theta x_t + u_t \quad (19)$$

donde  $y_t$  y  $x_t$  son dos vectores que almacenan series de tiempo estocásticas integradas del mismo orden  $I(d)$ ,  $\theta$  es un parámetro que ajusta los residuos  $u_t$  en un vector estacionario  $I(0)$ . Por lo tanto, al parámetro  $\beta$  se le denomina *parámetro cointegrado* (Engle y Granger, 1987).

Dado que  $u_t$  es un vector de residuos que se busca estimar, resulta conveniente expresar la Ecuación (19) de la siguiente forma:

$$u_t = y_t - \theta x_t \quad (20)$$

Es importante señalar que en la Ecuación (19) o (20) no se observan componentes determinísticos de las series temporales. De acuerdo con Granger (1986), esto implica que las series de tiempo incluidas en la combinación lineal, no deben ser procesos estocásticos determinísticos y que, en caso de serlo, los

parámetros  $\beta_2$  de los componentes determinísticos de las series temporales deben ser iguales:  $\beta_{2,y} = \beta_{2,x}$ .

### **Cointegración de k series de tiempo**

El concepto de cointegración se puede extender a un modelo con  $k$  variables, el cual se puede representar por el vector  $y_t$ , donde todas las series de tiempo están integradas de orden  $d$  ( $d > 0$ ), además de cumplirse de que las series de tiempo no presentan tendencia en la media, es posible expresar en términos generales una representación de Wold (Granger, 1986):

$$C(B)e_t = (I - B)^d x_t \quad (21)$$

Al normalizar la ecuación (21) en una matriz identidad ( $C(0) = I_N$ ), es posible que  $y_t$  se encuentre cointegrado; es decir,  $CI(d, b)$ , si existe un vector  $\beta$  tal que:

$$z_t = \beta' y_t \quad (22)$$

donde la estacionariedad de la combinación lineal se alcanza con  $(d - b)$  diferenciaciones, donde  $b > 0$  (Engle y Granger, 1987; Johansen, 1986; Johansen, 1991).

La generalización de un análisis de cointegración a  $k$  variables, conduce a pensar que pueden existir más de un vector  $\beta$  de cointegración. En un sistema multivariado pueden existir  $r$  vectores de cointegración para los cuales se cumpla que:  $r \leq k - 1$ , los cuales conducen a combinaciones lineales estables para  $z_t$  en el tiempo (Almendra-Arao *et al.*, 2008; Granger, 1986).

Para evaluar estadísticamente si un sistema multivariado está cointegrado, se aplican pruebas estadísticas para evaluar la hipótesis nula  $H_0$ : existen  $r$  vectores de cointegración, contra la hipótesis alterna  $H_a$ : existen  $r + 1$  vectores de cointegración, bajo el estadístico de la traza y de los valores propios correspondientes a la metodología iterativa de Johansen desarrollado en la década de los 90s (Babu y Muniyappa, 2021). Los estadísticos de la traza y del valor propio de Johansen son estimados mediante la metodología de máxima verosimilitud.

Para calcular el estadístico de la traza y el máximo valor propio se emplean las expresiones siguientes:

$$J_{trace} = -T \sum_{i=r+1}^k \ln(I - \hat{\lambda}_i) \quad (23)$$

$$J_{max} = -T \ln(I - \hat{\lambda}_{r+1}) \quad (24)$$

donde  $J_{trace}$  y  $J_{max}$  corresponden a los estadísticos de la traza y del máximo valor propio respectivamente,  $T$  representa la longitud de las series de tiempo, el calculo de  $\hat{\lambda}_i$  y  $\hat{\lambda}_{r+1}$  se puede consultar en las publicaciones de Johansen (Maysami y Koh, 2000).

#### 2.4.5 Vector con corrección de errores

Una extensión de un modelo VAR, corresponde a un modelo vectorial con corrección de errores (VEC), el cual integra la dinámica de corto y largo plazo de un conjunto de series de tiempo cointegradas (Engle y Granger, 1987). La forma general de un modelo VEC corresponde a la expresión de la Ecuación (25).

$$\Delta y_t = \Pi + \alpha \beta' y_t + \sum_{i=1}^p \psi_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (25)$$

Al examinar la Ecuación (25) se puede notar que algunos de sus componentes corresponden a la Ecuación (17), referente a un modelo VAR definido en la sección 2.4.3, mientras que las demás componentes corresponden a la Ecuación (22). Esta similitud se debe justamente a que un VEC captura la dinámica de corto y largo plazo de un conjunto de series de tiempo, como se menciona con anterioridad. Los términos de la Ecuación (17) integrados en la Ecuación (25) capturan el comportamiento de las variables temporales en el corto plazo, mientras que los componentes de la Ecuación (22) describen la dinámica de las series de tiempo en el largo plazo.

Cualquier perturbación en el corto plazo, provoca que las series de tiempo se desvíen del equilibrio en el largo plazo; por tal motivo, se introduce un término de ajuste representado por  $\alpha$  en la Ecuación (25). Al termino de ajuste  $\alpha$  se le

denomina *velocidad de ajuste* y es un vector que contiene k términos, un parámetro para cada ecuación del sistema dinámico (Hamilton, 2020). Al componente  $\alpha\beta'y_t$  del modelo VEC se le denomina *termino de corrección del error* (Bonilla, 2011).

La Ecuación (25) se puede extender aún más al considerar variables exógenas en un sistema dinámico (Pesaran *et al.*, 2000), por lo cual es posible establecer la siguiente expresión:

$$\Delta y_t = \Pi + \alpha\beta'y_t + \sum_{i=1}^p \psi_i \Delta y_{t-i} + \Phi x_t + \varepsilon_t \quad (26)$$

Cuando un modelo vectorial con corrección de errores incorpora variables exógenas, se tiene mayor capacidad para capturar las complejas relaciones dinámicas que pueden existir entre variables pertenecientes a diferentes sistemas, pero que están interconectadas por fenómenos comunes. Esta integración de variables endógenas y exógenas en un marco integrado ofrece una visión más completa de la interacción entre estas variables. Permite no solo comprender la naturaleza de las relaciones entre ellas, sino también analizar cómo los cambios en las variables exógenas inciden en las variables endógenas, tanto en el corto como en el largo plazo.

Al integrar variables exógenas en el modelo VEC de la Ecuación (25) para llegar a la Ecuación (26), se obtiene una comprensión más profunda de cómo los factores externos afectan el comportamiento de las variables endógenas a lo largo del tiempo. Esta integración de variables endógenas y exógenas tienen una amplia aplicación en el estudio de fenómenos económicos y financieros (Pesaran *et al.*, 2000).

#### **2.4.6 Análisis de causalidad en el sentido de Granger**

En el estudio de sistemas dinámicos es fundamental conocer el sentido de las relaciones que guardan las series de tiempo. Uno de los análisis más empleados en este campo corresponde al *análisis de causalidad* en el sentido de Granger (Guzmán y Alba, 2008).

La prueba de causalidad en el sentido de Granger se desarrolla con un modelo lineal, donde la serie de tiempo  $x_{jt}$  es explicada por su propio rezago y por el rezago de las variables restantes que conforman el sistema vectorial dinámico. Esta prueba se desarrolla considerando un sistema dinámico planteado como se muestra en la Ecuación (27):

$$A_0 x_t = \sum_{j=1}^m A_j x_{t-j} + \varepsilon_t \quad (27)$$

$A_0$  y  $A_j$  representan las matrices de coeficientes,  $x_t$  representa el vector con  $k$  series de tiempo,  $j$  es el contador del rezago ( $j \in (1, m)$ ),  $m$  es la longitud de rezago óptimo para el ajuste del modelo, y el termino  $\varepsilon_t$ , como de costumbre, representa el *ruido blanco* del sistema.

Para ejemplificar la relación causal que puede existir entre dos series de tiempo, se pueden considerar las series de tiempo  $x_t$  y  $y_t$ , por lo que se puede plantear el siguiente sistema con dos series de tiempo y dos ecuaciones:

$$x_t = \sum_{j=1}^m a_j x_{t-j} + \sum_{j=1}^m b_j y_{t-j} + \varepsilon'_t \quad (28)$$

$$y_t = \sum_{j=1}^m c_j x_{t-j} + \sum_{j=1}^m d_j y_{t-j} + \varepsilon''_t \quad (29)$$

Del anterior sistema se evalúan las hipótesis nulas  $H_0: y_t$  no causa a  $x_t$ , y  $H_0: x_t$  no causa a  $y_t$ ; para la ecuación (26) y Ecuación (27), respectivamente, de acuerdo con Granger (1969). El sistema simplificado, presentado en las anteriores ecuaciones, es el planteamiento adecuado para sistemas dinámicos con series de tiempo alimentadas con datos mensuales (Granger, 1969).

## 2.5 REFERENCIAS

- Abafita, J., y Tadesse, T. (2021). Determinants of global coffee trade: Do RTAs matter? Gravity model analysis. *Cogent Economics & Finance*, 9(1). <https://www.informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/23322039.2021.1892925>
- Almendra-Arao, G., González-Estrada, Adrián, y Mora-Flores, J. S. (2008). Los ciclos económicos de México y sus regularidades empíricas. *Agrociencia*, 42(3), 299-311.
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J., y Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7(2), 303-321. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
- Babu, B. N. P., y Muniyappa, A. (2021). The interdependence of coffee futures and spot markets—An econometric analysis. *Journal of Plantation Crops*, 49(1), 56-66. <https://doi.org/10.25081/jpc.2021.v49.i1.7061>
- Bonilla, C. S. (2011). Estructura económica y desempleo en Colombia: Un análisis VEC. *Sociedad y Economía*, 20, 99-124.
- Brugger, S., y Ortiz, E. (2012). Mercados accionarios y su relación con la economía real en América Latina. *Problemas del Desarrollo*, 43(168), 63-93.
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle, R. O., y Kirschke, D. (2015). A bitter cup: Climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1), 89-101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Callejas, E. S. (2000). Regulación y desregulación en el caso del café. *Análisis Económico*, 15(31), 185-205.
- Chain-Guadarrama, A., Martínez-Salinas, A., Aristizábal, N., y Ricketts, T. H. (2019). Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate: A review of coffee berry borer control and pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 280, 53-67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.011>
- Contreras-Medina, D. I., Contreras-Medina, L. M., Pardo-Núñez, J., Olvera-Vargas, L. A., y Rodríguez-Peralta, C. M. (2020). Roadmapping as a Driver for Knowledge Creation: A Proposal for Improving Sustainable Practices in the Coffee Supply Chain from Chiapas, Mexico, Using Emerging Technologies. *Sustainability*, 12(14), 1-26. <https://doi.org/10.3390/su12145817>
- Cruz-Flores, M., Espinoza-Ortega, A., Thomé-Ortiz, H., y Vizcarra-Bordia, I. (2020). Motives for coffee consumption at coffee shops in Mexico. *Coffee Science*, 15, 1-13. <https://doi.org/10.25186/.v15i.1757>
- Dickey, D. A., y Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>
- Dominguez, I. E., Ullibarri, M., y Zabaleta, I. (2010). Un modelo VAR aplicado al empleo y las horas de trabajo. *Estadística Española*, 52(173), 5-29.

- Elizalde, G. H. P. (2022). *Determinantes de la inversión extranjera directa en México. Un análisis de los factores de eficiencia*. (Tesis de Doctorado, Colegio de Posgraduados, Montecillos, Estado de México, México). Consultado en [http://193.122.196.39:8080/bitstream/handle/10521/4816/Elizalde\\_Guzman\\_HP\\_DC\\_PSEI\\_Econom%c3%ada\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://193.122.196.39:8080/bitstream/handle/10521/4816/Elizalde_Guzman_HP_DC_PSEI_Econom%c3%ada_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Engle, R. F., y Granger, C. W. J. (1987). Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Espinosa, A. O. A., y Vaca, G. P. A. (2014). Causas del desempleo en Colombia en el siglo xxi evidencia a partir de un modelo var-x cointegrado. *Revista de Economía del Caribe*, 14, 90-115.
- Fernández, S., y Cordero, J. (2007). Biología de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari)(Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en condiciones de laboratorio. *Bioagro*, 19(1), 35-40.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2023). *Perspectivas 2023*. <https://www.fira.gob.mx/Nd/NEstEcon.jsp>
- Figueroa-Hernández, E., Pérez-Soto, F., Godínez-Montoya, L., Perez-Figueroa, R. A., Figueroa-Hernández, E., Pérez-Soto, F., Godínez-Montoya, L., y Perez-Figueroa, R. A. (2019). Los precios de café en la producción y las exportaciones a nivel mundial. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 14(1), 41-56. <https://doi.org/10.21919/remef.v14i1.358>
- Gebu, G., y Ramakrishna, R. (2018). Forecasting Analysis of Coffee Export by multivariate Timeseries Models of Vector Autoregressive and Cointegration: A case study of Ethiopia. *International Journal of Computational Engineering Research*, 8(11), 1-10.
- González, M., y Lobato, I. (2003). Contrastes de autocorrelación. *Gaceta de Economía*, 14, 41-57.
- González-Estrada, Adrián., Almendra-Arao, G., González-Estrada, A., y Almendra-Arao, G. (2007). Nuevo método para la identificación de los ciclos económicos de México. *Investigación Económica*, 66(261), 13-33.
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424-438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Granger, C. W. J. (1986). Developments in the Study of Cointegrated Economic Variables. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 48(3), 213-228. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1986.mp48003002.x>
- Granger, C. W. J. (1988). Some recent development in a concept of causality. *Journal of Econometrics*, 39(1), 199-211. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(88\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0304-4076(88)90045-0)
- Gujarati, D. N., y Porter, D. C. (2010). *Econometría* (5ª ed.). México: McGraw-Hill.
- Guzmán, P. M. P., y Alba, I. P. G. (2008). El modelo VAR y sus principales problemas. *Panorama Economico*, 3(6), 95-117.
- Hamilton, J. D. (2020). *Time series analysis*. Princeton University Press.

- Hamzah, L. M., Nabilah, S. U., Russel, E., Usman, M., y Virginia, E. (2020). Dynamic Modelling and Forecasting of Data Export of Agricultural Commodity by Vector Autoregressive Model. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 55(3), 1-10. <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.55.3.41>
- Henderson, T. P. (2019). La roya y el futuro del café en Chiapas. *Revista mexicana de sociología*, 81(2), 389-416.
- Hernández-Trillo, F. (2018). Mexico, NAFTA, and beyond. *The International Trade Journal*, 32(1), 5-20. <https://doi.org/10.1080/08853908.2017.1387622>
- International Coffee Organization (2013). *La Organización Internacional del Café de 1963 a 2013: 50 años sirviendo a la comunidad cafetera mundial*. <http://dev.ico.org/documents/cy2012-13/history-ico-50-years-c.pdf>
- International Coffee Organization (2023). *Coffee report and outlook*. [https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee\\_Report\\_and\\_Outlook\\_December\\_2023\\_ICO.pdf](https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee_Report_and_Outlook_December_2023_ICO.pdf).
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2), 231-254. [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3)
- Johansen, S. (1994). The role of the constant and linear terms in cointegration analysis of nonstationary variables. *Econometric Reviews*, 13(2), 205-229. <https://doi.org/10.1080/07474939408800284>
- Kai-Hua, W., Chi-Wei, S., Ran, T., y Lin-Na, H. (2020). Are there periodically collapsing bubble behaviours in the global coffee market? *Agrekon*, 59(1), 65-77. <https://doi.org/10.1080/03031853.2019.1631865>
- Kwaku, A. J., Twumasi-Ankrah, Sampson, Baah, G. K., Arthur, D., y Adoma, P. W. (2020). Evaluating the performance of unit root tests in single time series processes. *Mathematics and Statistics*, 8(6), 205-229. <https://doi.org/DOI: 10.13189/ms.2020.080605>
- Lafer, C. (1973). O convenio internacional do café. *Revista da Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo*, 68(2), 285-340.
- Lee, Y., y Bateman, A. (2021). The competitiveness of fair trade and organic versus conventional coffee based on consumer panel data. *Ecological Economics*, 184, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106986>
- Liu, S. X., y Covarrubias, L. J. G. (2023). Convergencia dinámica de series temporales y su inconsistencia con la estacionariedad en análisis económicos. *Análisis económico*, 38(97), 5-26. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2022v38n97/liu>
- Magrach, A., y Ghazoul, J. (2015). Climate and Pest-Driven Geographic Shifts in Global Coffee Production: Implications for Forest Cover, Biodiversity and Carbon Storage. *Plos One*, 10(7), 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133071>
- Martínez, A. G. (2003). Raíz unitaria y cambio estructural en las series de tiempo de México. *Denarius*, (8), 41-60.
- Maysami, R. C., y Koh, T. S. (2000). A vector error correction model of the Singapore stock market. *International Review of Economics & Finance*, 9(1), 79-96. [https://doi.org/10.1016/S1059-0560\(99\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S1059-0560(99)00042-8)

- Montenegro, G. A. (1989). La función de autocorrelación y su empleo en el análisis de series de tiempo. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 23, 117-132.
- Morris, J. (2013). Why espresso? Explaining changes in European coffee preferences from a production of culture perspective. *European Review of History: Revue Européenne d'histoire*, 20(5), 881-901. <https://doi.org/10.1080/13507486.2013.833717>
- Muñoz-Rodríguez, M., Gómez-Pérez, D., Santoyo-Cortés, V. H., y Rosales-Lechuga, R. (2019). *Los negocios del café ¿Cómo innovar en el contexto de la paradoja del café, en pro de una red de valor más inclusiva y accesible?*. México: Universidad Autónoma Chapingo. <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/272>
- Nava-Tablada, M. E. (2012). Migración internacional y cafecultura en Veracruz, México. *Migraciones internacionales*, 6(3), 139-171.
- Ortega, H. A., y Ramírez, V. B. (2013). Crisis de la cafecultura y migración en el contexto de pobreza y marginación. El caso de los productores indígenas de Huehuetla, Puebla. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 9(1), 173-186. <https://doi.org/10.35197/rx.09.01.e.2013.14.a0>
- Otero, J., y Milas, C. (2001). Modelling the spot prices of various coffee types. *Economic Modelling*, 18(4), 625-641. [https://doi.org/10.1016/S0264-9993\(00\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S0264-9993(00)00056-0)
- Pancsira, J. (2022). International Coffee Trade: A literature review. *Journal of Agricultural Informatics*, 13(1), 26-35. <https://doi.org/10.17700/jai.2022.13.1.654>
- Pérez, A. P. (2009). Las transformaciones institucionales en la producción y comercialización internacional del café en el siglo XX e inicios del XXI. Problemas del Desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía*, 38(150), 107-132. <https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2007.150.7679>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., y Smith, R. J. (2000). Structural analysis of vector error correction models with exogenous I(1) variables. *Journal of Econometrics*, 97(2), 293-343. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(99\)00073-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(99)00073-1)
- Ponte, S. (2002). The 'Latte Revolution'? Regulation, Markets and Consumption in the Global Coffee Chain. *World Development*, 30(7), 1099-1122. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(02\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(02)00032-3)
- Portillo, L. (1993). El Convenio Internacional del Café y la crisis del mercado. *Comercio exterior*, 43, 373-391.
- Quintero, R. M. L., y Rosales, M. (2014). El mercado mundial del café: tendencias recientes, estructura y estrategias de competitividad. *Visión Gerencial*, (2), 191-307.
- Rahmer, B. J., Saenz, H. G., y Garzón, J. S. (2019). Estimación de un modelo de vectores autorregresivos para pronóstico de demanda. Un estudio empírico. *CEASGA-working papers*, 2(2), 92-113.
- Rios, O. A. (2015). La cointegración en series de tiempo, una aplicación a la relación entre el PIB y el nivel de exportaciones en Colombia. *Revista Heurística*, 17, 67-76.

- Rojo, C. R. R. (2022). Competitividad del café mexicano en el comercio internacional: Un análisis comparativo con Brasil, Colombia y Perú (2000 – 2019). *Análisis Económico*, 37(94), 181-199. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2022v37n94/Rivera>
- Sims, C. A. (1986). Are forecasting models usable for policy analysis?. *Quarterly Review*, 10(1), 2-16.
- Sims, C. A., Goldfeld, S. M., y Sachs, J. D. (1982). Policy Analysis with Econometric Models. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1982(1), 107-164. <https://doi.org/10.2307/2534318>
- Slalova, G., y Georgieva, N. (2019). World production of coffee imports and exports in Europe, Bulgaria and USA. *Trakia Journal of Sciences*, 17(1), 619-626. 10.15547/tjs.2019.s.01.098
- Trujillo, C. G. H. T. (2010). La metodología del vector autorregresivo: Presentación y algunas aplicaciones. *UCV-Scientia*, 2(2), 103-108. <https://doi.org/10.18050/revucv-scientia.v2i2.874>
- Tuyến, Đ. T., Caihong, Z., y Hồng, N. T. (2020). Assessing the relationship between international market and agricultural commodity export prices: Evidence from vietnamese coffee. *Dalat University Journal of Science*, 10(4), 57-73. [https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.10.4.673\(2020\)](https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.10.4.673(2020))
- United States Department of Agriculture (2023a). *Coffee Annual: Mexico*. [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee%20Annual\\_Mexico%20City\\_Mexico\\_MX2023-0024.pdf](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee%20Annual_Mexico%20City_Mexico_MX2023-0024.pdf)
- United States Department of Agriculture (2023b). *Coffee: World Markets and Trade*. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>
- Vázquez-López, Espinoza-Arellano, J. J., González-Mancilla, A., y Guerrero-Ramos, L. A. (2022). Características de productores y plantaciones de café en la zona norte de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 101-111.
- Villarreal, J. G. A. (2023). Comercialización y producción de café, un análisis cultural en la zona de Hidalgo, México. *South Florida Journal of Development*, 4(3), 1164-1182. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n3-012>
- Zullo, J., Pinto, H. S., Assad, E. D., y de Ávila, A. M. H. (2011). Potential for growing Arabica coffee in the extreme south of Brazil in a warmer world. *Climatic Change*, 109(3), 535-548. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0058-0>

### 3 ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN DE LOS PRECIOS DE CAFÉ MEXICANO, COLOMBIANO Y FUTURO

**Citation:** Apellido-  
Apellido, N., Apellido-  
Apellido, N., Apellido-  
Apellido, N., &  
Apellido-Apellido, N.,  
(20224). Título del  
artículo. *Agro  
Productividad*  
[https://doi.org/10.3285  
4/xxx](https://doi.org/10.32854/xxx)

Academic Editors:  
Jorge Cadena

Iniguez and Lucero del  
Mar Ruiz Posadas

Received: month, year.

Approved: month,  
year.

Published on-line:  
month, day, year.

This work is licensed  
under a Creative  
Commons Attribution-  
Non- Commercial 4.0  
International license.



**Los autores no deben  
realizar ningún cambio  
en este apartado.**

Jorge-Vázquez, Oscar<sup>1</sup>; González-Estrada, Adrian<sup>2</sup>; Martínez-Damián,  
Miguel A.<sup>2</sup>; Reyna-Izaguirre, Diana A.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México,  
México. C. P. 56230.

\*Autor para correspondencia: [adrglez@prodigy.net.mx](mailto:adrglez@prodigy.net.mx)

#### 3.1 Abstract

**Objective:** Estimating an econometric model regarding the dynamics of  
mexican arabica coffee export prices with the joint influence of colombian  
arabica spot prices and coffee futures from the New York Stock  
Exchange.

**Design/methodology/approach:** Were applied unit root test,  
cointegration análisis, estimate a vector error correction model, Granger's  
causality tests, impulse response function analysis and variance  
decomposition análisis.

**Results:** The results show the relationships among prices of Colombian and mild arabica coffees have in the long term under the temporal control of futures prices.

**Limitations on study/implications:** The estimated model can be expanded by incorporating financial, climatic, and policy variables; however, the lack of availability of information with the same periodicity makes it difficult to develop more robust models.

**Findings/conclusions:** The inherent volatility of coffee prices was corroborated, suggesting the importance of understanding and properly modeling these market fluctuations. This study provides a deeper insight into the interconnectedness between the various determinants of coffee markets, and highlights the need for effective risk management strategies for participants in that market.

**Keywords:** vector error correction model, unit root, cointegration.

### 3.2 Resumen

**Objetivo:** Estimar un modelo econométrico referente a la dinámica de precios de exportación del café arábigo mexicano con la influencia conjunta de precios spot de arábigos colombianos y de futuros de cafés arábigos de la Bolsa de Nueva York.

**Diseño/metodología/aproximación:** Se aplicaron pruebas de raíz unitaria, análisis de cointegración, estimación de un modelo vectorial con corrección de errores, pruebas de causalidad en el sentido de Granger,

análisis de funciones de respuesta al impulso y análisis de la descomposición de varianza.

**Resultados:** Los resultados evidencian la relación dinámica que guardan en el largo plazo los precios de arábigos colombianos y arábigos suaves bajo el control temporal de las cotizaciones de futuros.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** El modelo estimado se puede ampliar incorporando variables financieras, climáticas y de políticas, sin embargo, la falta de disponibilidad de información con la misma periodicidad dificulta desarrollar modelos más robustos.

**Hallazgos/conclusiones:** Se corroboró la volatilidad inherente a los precios del café, lo que sugiere la importancia de comprender y modelar adecuadamente estas fluctuaciones en el mercado. Este estudio proporciona una visión más profunda de la interconexión entre los distintos elementos del mercado del café y destaca la necesidad de estrategias de gestión de riesgos efectivas para los participantes en este mercado.

**Palabras clave:** vector con corrección de errores, raíz unitaria, cointegración.

### 3.3 Introducción

De acuerdo con el informe del Centro de Comercio internacional en 2021, Organización internacional del Café en 2023 (OIC por sus siglas) y Tuyén et al. (2020), el café es uno de los cultivos agrícolas tropicales más

comercializados en el mundo, involucrando a más de 52 países productores para el suministro de la demanda global.

Dentro de la cadena productiva del café, una de las variables de mayor interés corresponde a los precios del aromático; sin embargo, en el mundo se distinguen dos variedades de café: café arábigo y café robusto (Otero y Milas, 2001; Tuyén et al., 2020). Derivado de la diferenciación la Organización Internacional del Café registra 4 tipos de precios: arábigos colombianos, arábigos suabes, naturales brasileños y robustos (Figueroa-Hernández *et al.*, 2019).

Para estudiar el dinamismo de los precios de café, se han desarrollado diversas investigaciones empleando modelos bivariados y multivariados, como se pueden apreciar en las investigaciones desarrolladas de forma individual por Babu y Muniyappa (2021); Frey y Manera (2007); Hussien (2015); Jaramillo-Villanueva *et al.* (2016); Otero y Milas (2001); Tuyén et al. (2020) y otros. Entre los modelos econométricos destacan: Modelos vectoriales autorregresivos (VAR), modelos vectoriales con corrección de errores (VEC), análisis de cointegración, funciones de impulso respuesta, descomposición de la varianza, causalidad en el sentido de Granger, análisis de ciclos y cambios estructurales, con los cuales se investigan las dinámicas de transmisión de precios, determinantes de las exportaciones y la demanda, asimetría y dinámica de costos de producción y relaciones de variables financieras y económicas sobre precios de café.

En México no se cuentan con investigaciones abundantes de los precios de café, donde se utilicen modelos multivariados de series de tiempo como los modelos VAR, VEC y el análisis de cointegración. Una de las investigaciones bajo este enfoque que se desarrolló en México corresponde al trabajo de Jaramillo-Villanueva *et al.* (2016), quienes investigaron la transmisión de precios internacionales a los precios domésticos pagados al productor.

La presente investigación tuvo como objetivo estimar un modelo econométrico alimentado por tres series temporales los cuales corresponden a precios spot y futuros para cafés arábigos (registrados de forma mensual en el periodo 1990 a 2019). En este trabajo se pretende realizar un análisis de cointegración y definición de un modelo VEC para capturar la dinámica conjunta de precios del café arábigo, deduciendo las relaciones dinámicas que presentan los principales precios del aromático, en relación con el cual se rigen las exportaciones mexicanas de café.

### 3.4 Materiales y métodos

Para formar los vectores de datos se compilaron las series de tiempo de dos fuentes diferentes: la Organización Internacional del Café (OIC) para los precios spot y del sitio web de investing.com para las cotizaciones de futuros en la Bolsa de Nueva York. Las series de tiempo procedentes de la OIC corresponden a los precios mensuales de los arábigos suaves ( $PM_t$ ), grupo al que pertenece el café arábigo mexicano, y a los precios mensuales de arábigos colombianos ( $PU_t$ ). Mientras tanto, la serie de tiempo procedente del sitio investing.com corresponden a las

cotizaciones medias mensuales de los contratos de futuros cotizados en la Bolsa de Nueva York ( $PW_t$ ). Para el desarrollo del análisis estadístico de esta investigación, se aprovecharon las herramientas analíticas integradas en el software *Econometric Views* versión 12 (*EViews* 12).

Se desarrolló un análisis estadístico para la identificación de la presencia de raíz unitaria en las tres series de tiempo. Se aplicaron las pruebas Dickey-Fuller Aumentada (ADF) y Phillips-Perron (PP), con el objetivo de evaluar la hipótesis nula de que existe una raíz unitaria en cada una de las series de tiempo frente a la hipótesis alternativa de que no existe tal raíz.

Tomando en cuenta la naturaleza de las series de tiempo, precios spot y futuros, se planteó un modelo vectorial autorregresivo con variables endógenas, correspondientes a los precios spot de arábigos colombianos y arábigos suaves, debido a que su dinámica se desarrolla en los mercados al contado. Por otra parte, los futuros se consideraron como variable exógena, ya que son definidos anticipadamente por los participantes de la bolsa, en la cual juega un papel importante la especulación.

Siguiendo la notación de modelos VAR-X presentada en diversas investigaciones (Espinosa y Vaca, 2014; Nicholson *et al.*, 2017) se definió el sistema de ecuaciones dinámicas:

$$\begin{bmatrix} \Delta PM_t \\ \Delta PU_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11}^1 & \phi_{12}^1 \\ \phi_{21}^1 & \phi_{22}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta PM \\ \Delta PU \end{bmatrix}_{t-1} + \dots + \begin{bmatrix} \phi_{11}^p & \phi_{12}^p \\ \phi_{21}^p & \phi_{22}^p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta PM \\ \Delta PU \end{bmatrix}_{t-p} + pw_t \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{bmatrix} \quad (30)$$

El orden de rezago que se consideró en el modelo VAR-X estuvo en función del valor más bajo de cinco criterios, a saber: razón de verosimilitud (LR), error de predicción final (PPE), criterio de información de Akaike (AIC), criterio de información de Schwarz (SC) y criterio de información de Hannan-Quinn (HQ), tal como señalan Gebru y Ramakrishna (2018). Estos criterios de selección del orden de rezago óptimo para un sistema multivariado dinámico, son los que usualmente han sido utilizados en estudios econométricos que involucran series de tiempo (Gebru y Ramakrishna, 2018; Hamzah *et al.*, 2020).

Con la finalidad de estudiar la dinámica de largo plazo de las series de tiempo, se estimó un vector de cointegración. Para estimar la ecuación de cointegración se siguió la metodología planteada por Johansen (1988). En este análisis se evaluó la hipótesis nula ( $H_0$ ) de que existen máximo  $r$  vectores de cointegración, contra la hipótesis alterna ( $H_a$ ) de que existen más de  $r$  vectores de cointegración (Johansen, 1988; Babu y Muniyappa, 2021), donde  $r$  debe ser menor al número de variables endógenas del sistema dinámico (Engle y Granger, 1987; Johansen, 1994).

Con la ecuación de cointegración estimada, se planteó un modelo vectorial con corrección de errores (VEC), con la finalidad de generar un modelo econométrico que describa la dinámica de las series de tiempo en el corto y largo plazo.

Para identificar la causalidad entre los precios spot de cafés arábigos colombianos, arábigos suaves y futuros se aplicó la prueba de causalidad en el sentido de Granger. Las series de tiempo se evaluaron en parejas con hipótesis nula ( $H_0$ ) de que  $x_t$  no causa a  $y_t$  en el sentido de Granger, contra la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) de que  $x_t$  causa a  $y_t$ , en el sentido de Granger.

Para sintetizar la estructura dinámica de las series de tiempo se investigaron los efectos que causan algunos *shocks* aleatorios de las variables endógenas sobre cada variable dependiente en el modelo VAR-X. En el análisis de las funciones de respuesta al impulso no se incorporaron innovaciones aleatorias de la variable exógena del modelo, de acuerdo a lo señalado por Brugger y Ortiz (2012). Se realizó el análisis de la descomposición de varianza de Cholesky, el cual permitió aislar la variabilidad porcentual de cada variable endógena ante un shock en alguna de las variables endógenas.

### 3.5 Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados de las pruebas de raíz unitaria (ver Cuadro 1 y Cuadro 2) Dickey-Fuller Aumentada (ADF) y Phillips-Perron (PP), se determina que las series temporales están integradas del mismo orden dado que se consigue la estacionariedad en primeras diferencias, este atributo de las series temporales es común en las series económicas y financieras, las cuales suelen ser  $I(1)$  es decir que son integradas de orden 1 (Brugger y Ortiz, 2012; Granger, 1988). Esta condición es primordial para plantear modelos multivariados las cuales pretendan

capturar la dinámica de variables estocásticas (Jordán, 2014: Stock y Watson, 1993).

Cuadro 1. Resultados de las pruebas de raíz unitaria, datos a nivel

| Variable | Dickey-Fuller Aumentada |         |        | Phillips-Perron |         |        | Conclusión    |
|----------|-------------------------|---------|--------|-----------------|---------|--------|---------------|
|          | Estadístico t           | tc 5%   | Prob.* | Estadístico t   | tc 5%   | Prob.* |               |
| PM       | -2.9553                 | -3.4229 | 0.1466 | -2.1152         | -3.4228 | 0.535  | Raíz unitaria |
| PU       | -2.2935                 | -3.423  | 0.4359 | -2.5854         | -3.4228 | 0.2873 | Raíz unitaria |
| PW       | -2.9074                 | -3.4231 | 0.1614 | -2.655          | -3.4228 | 0.2563 | Raíz unitaria |

\*p valor de Dickey-Fuller Aumentada y p valor de Phillips-Perron

Cuadro 2. Resultados de las pruebas de raíz unitaria, datos en primeras diferencias

| Variable | Dickey-Fuller Aumentada |         |        | Phillips-Perron |         |        | Conclusión   |
|----------|-------------------------|---------|--------|-----------------|---------|--------|--------------|
|          | Estadístico t           | tc 5%   | Prob.* | Estadístico t   | tc 5%   | Prob.* |              |
| PM       | -10.553                 | -1.9418 | 0.0000 | -15.6477        | -1.9418 | 0.0000 | Estacionaria |
| PU       | -9.3416                 | -1.9418 | 0.0000 | -18.9764        | -1.9418 | 0.0000 | Estacionaria |
| PW       | -7.3654                 | -1.9418 | 0.0000 | -15.6773        | -1.9418 | 0.0000 | Estacionaria |

\*p valor de Dickey-Fuller Aumentada y p valor de Phillips-Perron

Las series de tiempo se ajustaron a un modelo vectorial autorregresivo cointegrado con variable exógena (VAR-X). Esta especificación difiere

con algunas investigaciones referentes al café, como es el caso de Jaramillo-Villanueva *et al.* (2016) y Tuyén *et al.* (2020). Estas discrepancias podrían atribuirse a la diferencia del periodo de análisis y al número de series consideradas, las cuales suelen ser modelos bivariados.

De acuerdo con el valor más bajo de cinco criterios: razón de verosimilitud (LR), error de predicción final (PPE), criterio de información de Akaike (AIC), criterio de información de Schwarz (SC) y criterio de información de Hannan-Quinn (HQ), se concluyó que las series de tiempo bajo estudio se ajustan a un modelo con dos rezagos, como se aprecia en el Cuadro 3.

El análisis de cointegración con la metodología de Johansen, hace posible observar que, tanto el estadístico de la traza como el estadístico del máximo valor propio, muestran que existe a lo más un vector de cointegración a un nivel de significancia del 5% (Cuadro 4 y Cuadro 5), similar a los resultados de Jaramillo-Villanueva *et al.* (2016). Estos resultados confirman, desde un punto de vista estadístico, que el modelo bajo consideración cuenta con la capacidad para capturar la dinámica a corto y largo plazo de los precios spot de cafés arábigos, teniendo en cuenta la dinámica de futuros. Esta variable no fue considerada por Jaramillo-Villanueva *et al.* (2016) ni por Tuyén *et al.* (2020), no obstante que la inclusión de la dinámica de las cotizaciones de futuros de café

conduce a una mejor modelización entre los dos mercados vinculados: el spot y el de futuros, como lo señalan Babu y Muniyappa (2021).

Cuadro 3. Resultados para la longitud de rezagos para el modelo VAR

| Rezago | LR       | FPE       | AIC     | SC      | HQ      |
|--------|----------|-----------|---------|---------|---------|
| 0      | NA       | 8525.000  | 14.727  | 14.749  | 14.735  |
| 1      | 671.090  | 1191.500  | 12.759  | 12.826  | 12.786  |
| 2      | 43.4624* | 1071.408* | 12.653* | 12.765* | 12.697* |
| 3      | 7.1675   | 1073.600  | 12.654  | 12.812  | 12.717  |
| 4      | 2.4471   | 1091.000  | 12.671  | 12.873  | 12.751  |

\* Valor mínimo

Cuadro 4. Resultados análisis de cointegración, estadístico de la traza

| Hipótesis nula, numero de vectores de cointegración | Eigenvalor | Estadístico de la Traza | 0.05 valor critico | Prob.* |
|-----------------------------------------------------|------------|-------------------------|--------------------|--------|
| Ningún vector**                                     | 0.7304     | 464.7                   | 25.872             | 0.0000 |
| A lo mas 1 vector                                   | 0.0355     | 12.481                  | 12.518             | 0.0507 |

\* p valor de MacKinnon-Haug-Michelis (1999)

\*\*rechazo de hipótesis nula

Cuadro 5. Resultados análisis de cointegración, estadístico del máximo valor propio

| Hipótesis nula, numero de vectores de cointegración | Eigenvalor | Estadístico Max. Eiunge. | 0.05 valor critico | Prob.* |
|-----------------------------------------------------|------------|--------------------------|--------------------|--------|
| Ningún vector **                                    | 0.7304     | 452.22                   | 19.387             | 0.0001 |
| A lo mas 1 vector                                   | 0.0355     | 12.481                   | 12.518             | 0.0507 |

\* p valor de MacKinnon-Haug-Michelis (1999)

\*\*rechazo de hipótesis nula

La combinación lineal que mantiene una relación de equilibrio en el largo plazo entre el precio spot de cafés arábigos colombianos y los precios spot de cafés arábigos suaves, como los cafés de México, se ajusta a un modelo con tendencia lineal y término constante, de acuerdo con la Ecuación (31):

$$PM_{t-1} = 107.6943 + 0.076325PU_{t-1} + 0.066254T \quad (31)$$

El haber encontrado una ecuación de cointegración entre las variables endógenas del modelo VAR-X(2) significa está justificada la especificación y estimación de un modelo de corrección de errores VEC (Jordán, 2014), con el cual es posible estudiar la dinámica de los precios en los mercados spot de cafés arábigos. Con base en lo anterior, se estimaron las dos siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}\Delta PM_t = & -0.798EC_{(2)} + 0.3015\Delta PM_{t-1} + 0.2021\Delta PM_{t-2} - 0.2351\Delta PU_{t-1} \\ & - 0.1226\Delta PU_{t-2} + 0.751PW_t - 90.549\end{aligned}\quad (32)$$

$$\begin{aligned}\Delta PU_t = & -0.928EC_{(2)} + 0.5978\Delta PM_{t-1} + 0.2398\Delta PM_{t-2} - 0.5749\Delta PU_{t-1} \\ & - 0.1923\Delta PU_{t-2} + 0.8755PW_t - 105.5853\end{aligned}\quad (33)$$

La notación  $EC_{(2)}$  representa la Ecuación (31).

Se encontró que los cafés arábigos colombianos tienen una mayor velocidad de ajuste en comparación con los cafés arábigos suaves en el largo plazo. Este hecho se debe al nivel de participación que tiene Colombia en los mercados internacionales de cafés arábigos, ya que es el país con la mayor producción y comercialización de esa variedad (OIC, 2023). Por el contrario, los países productores de cafés arábigos suaves tienen una menor participación porcentual en el comercio internacional. Este es el caso de México, lo cual se traduce en una menor velocidad de ajuste; sin embargo, este valor es superior al encontrado por Jaramillo-Villanueva et al., (2016), estas discrepancias pueden atribuirse a la diferencia en periodo de análisis y a las especificaciones del modelo, dado que ellos desarrollaron el análisis únicamente con precios spot, una de las series fue ajustado con el índice de precios al productor (precio domestico), lo que probablemente introdujo sesgos, como resultado de que se construyó una serie con interpolaciones.

La prueba de causalidad en el sentido de Granger muestra que las series temporales referentes a los precios spot de cafés arábigos suaves, arábigos colombianos y futuros de cafés arábigos, presentan una

causalidad bidireccional en el sentido de Granger; resultados similares fueron reportados por Babu y Muniyappa (2021) y Otero y Milas (2001), quienes señalan que justamente en el mercados de cafés arábigos se presenta esta situación particular de causalidad bilateral entre precios spot y futuros, caso contrario al mercado de cafés robustos.

Finalmente, con el análisis de las funciones de respuesta al impulso, mediante la descomposición de Cholesky con una desviación estándar y el análisis de la descomposición de la varianza en una longitud de 12 periodos (un año), se identificaron las perturbaciones de las series temporales endógenas en el corto plazo ante shocks en cada una de las variables. De estas pruebas se identifican respuestas temporales en tres periodos únicamente (un trimestre): ante un shock positivo en los precios de arábigos colombianos, el precio de los arábigos suaves presenta una respuesta temporal negativa de tres periodos; mientras tanto, un shock en los precios spot de arábigos suaves, los precios de arábigos colombianos presentan una respuesta temporal positiva muy notable. Posterior a los tres periodos de impacto de algún shock aleatorio en cada una de las variables, las respuestas tienden al equilibrio de forma asintótica como se observa en la Figura 9.

La descomposición de varianza de la serie de tiempo correspondiente a los precios spot de cafés arábigos suaves y arábigos colombianos muestra que ante una innovación en los precios spot de cafés arábigos suaves, la dinámica de la misma variable es explicada por más del 97%

en todo el periodo, con muy poca influencia del comportamiento temporal de los precios spot de arábigos colombianos. Por otra parte, un shock aleatorio en los precios de arábigos Colombianos, muestra una importante variabilidad en los precios de arábigos suaves, lo cual revela el poder de mercado que tienen los cafés arábigos colombianos; a pesar de la gran variabilidad de cafés arábigos suaves ante shocks en arábigos colombianos, al transcurrir 3 trimestres, las variaciones de precios en el sistema dinámico se observa una distribución equitativa (cercano al 50%).

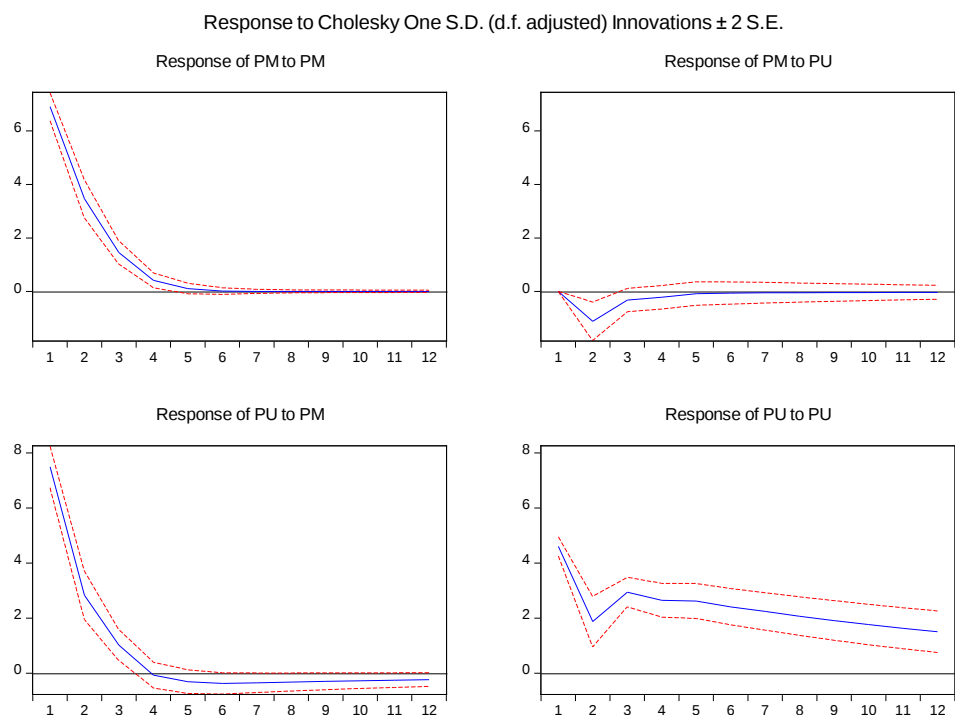


Figura 9. Funciones de respuesta al impulso

### 3.6 Conclusiones

Los precios spot del café arábigo colombiano y los precios spot utilizados por México para las exportaciones de café verde (arábigo suave) están

estrechamente relacionados a largo plazo. Los cambios bruscos en cualquiera de estos precios solo tienen efectos temporales, que se disipan con el tiempo.

Esta investigación ofrece herramientas cuantitativas para que los productores de café en México gestionen los riesgos y, así, minimicen las pérdidas a las que frecuentemente se enfrentan. Una alternativa estratégica para la gestión de riesgos por parte de los productores nacionales es la consideración de instrumentos financieros, tales como los futuros de café, con el fin de reducir la brecha entre los precios spot y los precios de futuros, ya que actualmente son los futuros de café los que dirigen la dinámica de los precios spot. Sin embargo, este planteamiento presenta desafíos significativos para el sector cafetalero nacional, especialmente debido al predominio de minifundios en el sector.

### 3.7 Referencias

1. International Trade Centre (2021). The coffee guide. Fourth Edition. <https://intracen.org/es/media/5718>
2. International Coffee Organization (2023). Coffee report and outlook. [https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee\\_Report\\_and\\_Outlook\\_December\\_2023\\_ICO.pdf](https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee_Report_and_Outlook_December_2023_ICO.pdf).
3. Tuyền, Đ. T., Caihong, Z., y Hồng, N., T. (2020). Assessing the relationship between international market and agricultural commodity export prices: Evidence from vietnamese coffee. *Dalat University Journal of Science*, 10(4), 57-73. [https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.10.4.673\(2020\)](https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.10.4.673(2020))

4. Otero, J. y Milas, C. (2001). Modelling the spot prices of various coffee types. *Economic Modelling*, 18(4), 625-641.  
[https://doi.org/10.1016/S0264-9993\(00\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S0264-9993(00)00056-0)
5. Figueroa-Hernández, E., Pérez-Soto, F., Godínez-Montoya, L., Perez-Figueroa, R. A., Figueroa-Hernández, E., Pérez-Soto, F., Godínez-Montoya, L. y Perez-Figueroa, R. A. (2019). Los precios de café en la producción y las exportaciones a nivel mundial. *Revista mexicana de economía y finanzas*, 14(1), 41-56.  
<https://doi.org/10.21919/remef.v14i1.358>
6. Babu, B., N., P. y Muniyappa, A. (2021). The interdependence of coffee futures and spot markets: An econometric analysis. *Journal of Plantation Crops*, 49(1), 56-66.  
<https://doi.org/10.25081/jpc.2021.v49.i1.7061>
7. Frey, G. y Manera, M. (2007). Econometric Models of Asymmetric Price Transmission. *Journal of Economic Surveys*, 21(2), 349-415.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00507.x>
8. Hussien, H., B. (2015). Determinants of Coffee Export Supply in Ethiopia: Error Correction Modeling Approach. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 6(5), 31-38.
9. Jaramillo-Villanueva, J., L. y Benítez-García, E. (2016). Trasmisión de precios en el mercado mexicano e internacional de café (Coffea arabica L.): Un análisis de cointegración. *Agrociencia*, 50(7), 931-944.

10. Espinosa, A., O., A. y Vaca, G., P., A. (2014). Causas del desempleo en Colombia en el siglo xxi evidencia a partir de un modelo var-x cointegrado. *Revista de Economía del Caribe*, (14), 90-115.
11. Nicholson, W., B., Matteson, D., S. y Bien, J. (2017). VARX-L: Structured regularization for large vector autoregressions with exogenous variables. *International Journal of Forecasting*, 33(3), 627-651. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2017.01.003>
12. Gebru, G., y Ramakrishna, R. (2018). Forecasting Analysis of Coffee Export by multivariate Timeseries Models of Vector Autoregressive and Cointegration: A case study of Ethiopia. *International Journal of Computational Engineering Research*, 8(11), 1-10.
13. Hamzah, L., M., Nabilah, S., U., Russel, E., Usman., M. y Virginia, E. (2020). Dynamic Modelling and Forecasting of Data Export of Agricultural Commodity by Vector Autoregressive Model. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 55(3), 1-10. <http://www.jsju.org/index.php/journal/article/view/631>
14. Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2), 231-254. [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3)
15. Engle, R., F. y Granger, C., W., J. (1987). Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. <https://www.jstor.org/stable/1913236>
16. Johansen, S. (1994). The role of the constant and linear terms in cointegration analysis of nonstationary variables. *Econometric*

*Reviews*, 13(2), 205-229.

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07474939408800284>

17. Brugger, S. y Ortiz, E. (2012). Mercados accionarios y su relación con la economía real en América Latina. *Problemas del Desarrollo*, 43(168), 63-93.

18. Granger, C., W., J. (1988). Some recent development in a concept of causality. *Journal of Econometrics*, 39(1), 199-211.  
[https://doi.org/10.1016/0304-4076\(88\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0304-4076(88)90045-0)

19. Jordán, S., J. (2014). Modelo vec para la estimación de inflación bursátil: Evidencia empirica en mercados norteamericanos. *Investigación & Desarrollo*, 1(14), 66-80.

20. Stock, J., H. y Watson, M., W. (1993). A Simple Estimator of Cointegrating Vectors in Higher Order Integrated Systems. *Econometrica*, 61(4), 783-820. <https://doi.org/10.2307/2951763>

## **4 CONCLUSIONES GENERALES**

Los precios spot del café arábigo colombiano y los precios spot utilizados por México para las exportaciones de café verde (arábigo suave) están estrechamente relacionados a largo plazo. Los cambios bruscos en cualquiera de estos precios solo tienen efectos temporales, que se disipan con el tiempo.

Esta investigación ofrece herramientas cuantitativas para que los productores de café en México gestionen los riesgos y, así, minimicen las pérdidas a las que frecuentemente se enfrentan.

Una alternativa estratégica para la gestión de riesgos por parte de los productores nacionales es la consideración de instrumentos financieros, tales como los futuros de café, con el fin de reducir la brecha entre los precios spot y los precios de futuros, ya que actualmente son los futuros de café los que dirigen la dinámica de los precios spot. Sin embargo, este planteamiento presenta desafíos significativos para el sector cafetalero nacional, especialmente debido al predominio de minifundios en el sector.

Según datos de FIRA en México, alrededor del 70% de los productores son minifundistas, a diferencia de países líderes en la producción mundial como Colombia y Brasil. Esta dificultad podría superarse mediante programas de capacitación para la integración comercial y el establecimiento de acuerdos estratégicos para optimizar la cadena productiva del café en el país, reduciendo costos logísticos e incrementando beneficios para todos los agentes económicos involucrados en el sector.

## 5 LITERATURA CITADA

- Abafita, J., y Tadesse, T. (2021). Determinants of global coffee trade: Do RTAs matter? Gravity model analysis. *Cogent Economics & Finance*, 9(1). <https://www.informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/23322039.2021.1892925>
- Almendra-Arao, G., González-Estrada, Adrián, y Mora-Flores, J. S. (2008). Los ciclos económicos de México y sus regularidades empíricas. *Agrociencia*, 42(3), 299-311.
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J., y Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7(2), 303-321. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
- Babu, B. N. P., y Muniyappa, A. (2021). The interdependence of coffee futures and spot markets—An econometric analysis. *Journal of Plantation Crops*, 49(1), 56-66. <https://doi.org/10.25081/jpc.2021.v49.i1.7061>
- Barrios-Puente, G., Galván-Manuel, O., Pérez-Soto, F., Sangerman-Jarquín, D. M., García-Sánchez, R. C., Barrios-Puente, G., Galván-Manuel, O., Pérez-Soto, F., Sangerman-Jarquín, D.M., y García-Sánchez, R.C. (2022). Cobertura de precios para el café, utilizando el mercado de futuros. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(6), 1147-1154. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.3313>
- Bonilla, C. S. (2011). Estructura económica y desempleo en Colombia: Un análisis VEC. *Sociedad y Economía*, 20, 99-124.
- Brugger, S., y Ortiz, E. (2012). Mercados accionarios y su relación con la economía real en América Latina. *Problemas del Desarrollo*, 43(168), 63-93.
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle, R. O., y Kirschke, D. (2015). A bitter cup: Climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1), 89-101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Callejas, E. S. (2000). Regulación y desregulación en el caso del café. *Análisis Económico*, 15(31), 185-205.
- Chain-Guadarrama, A., Martínez-Salinas, A., Aristizábal, N., y Ricketts, T. H. (2019). Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate: A review of coffee berry borer control and pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 280, 53-67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.011>
- Contreras-Medina, D. I., Contreras-Medina, L. M., Pardo-Núñez, J., Olvera-Vargas, L. A., y Rodríguez-Peralta, C. M. (2020). Roadmapping as a Driver for Knowledge Creation: A Proposal for Improving Sustainable Practices in the Coffee Supply Chain from Chiapas, Mexico, Using Emerging Technologies. *Sustainability*, 12(14), 1-26. <https://doi.org/10.3390/su12145817>
- Cruz-Flores, M., Espinoza-Ortega, A., Thomé-Ortiz, H., y Vizcarra-Bordia, I. (2020). Motives for coffee consumption at coffee shops in Mexico. *Coffee Science*, 15, 1-13. <https://doi.org/10.25186/v15i.1757>

- Dickey, D. A., y Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>
- Dominguez, I. E., Ullibarri, M., y Zabaleta, I. (2010). Un modelo VAR aplicado al empleo y las horas de trabajo. *Estadística Española*, 52(173), 5-29.
- Elizalde, G. H. P. (2022). *Determinantes de la inversión extranjera directa en México. Un análisis de los factores de eficiencia*. (Tesis de Doctorado, Colegio de Posgraduados, Montecillos, Estado de México, México). Consultado en [http://193.122.196.39:8080/bitstream/handle/10521/4816/Elizalde\\_Guzman\\_HP\\_DC\\_PSEI\\_Econom%c3%ada\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://193.122.196.39:8080/bitstream/handle/10521/4816/Elizalde_Guzman_HP_DC_PSEI_Econom%c3%ada_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Engle, R. F., y Granger, C. W. J. (1987). Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Espinosa, A. O. A., y Vaca, G. P. A. (2014). Causas del desempleo en Colombia en el siglo xxi evidencia a partir de un modelo var-x cointegrado. *Revista de Economía del Caribe*, 14, 90-115.
- Fernández, S., y Cordero, J. (2007). Biología de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari)(Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en condiciones de laboratorio. *Bioagro*, 19(1), 35-40.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2023). *Perspectivas 2023*. <https://www.fira.gob.mx/Nd/NEstEcon.jsp>
- Figueroa-Hernández, E., Pérez-Soto, F., Godínez-Montoya, L., Perez-Figueroa, R. A., Figueroa-Hernández, E., Pérez-Soto, F., Godínez-Montoya, L., y Perez-Figueroa, R. A. (2019). Los precios de café en la producción y las exportaciones a nivel mundial. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 14(1), 41-56. <https://doi.org/10.21919/remef.v14i1.358>
- Frey, G., y Manera, M. (2007). Econometric Models of Asymmetric Price Transmission. *Journal of Economic Surveys*, 21(2), 349-415. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00507.x>
- Gebru, G., y Ramakrishna, R. (2018). Forecasting Analysis of Coffee Export by multivariate Timeseries Models of Vector Autoregressive and Cointegration: A case study of Ethiopia. *International Journal of Computational Engineering Research*, 8(11), 1-10.
- González, M., y Lobato, I. (2003). Contrastes de autocorrelación. *Gaceta de Economía*, 14, 41-57.
- González-Estrada, Adrián., Almendra-Arao, G., González-Estrada, A., y Almendra-Arao, G. (2007). Nuevo método para la identificación de los ciclos económicos de México. *Investigación Económica*, 66(261), 13-33.
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424-438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Granger, C. W. J. (1986). Developments in the Study of Cointegrated Economic Variables. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 48(3), 213-228. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1986.mp48003002.x>

- Granger, C. W. J. (1988). Some recent development in a concept of causality. *Journal of Econometrics*, 39(1), 199-211. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(88\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0304-4076(88)90045-0)
- Gujarati, D. N., y Porter, D. C. (2010). *Econometría* (5ª ed.). México: McGraw-Hill.
- Guzmán, P. M. P., y Alba, I. P. G. (2008). El modelo VAR y sus principales problemas. *Panorama Económico*, 3(6), 95-117.
- Hamilton, J. D. (2020). *Time series analysis*. Princeton University Press.
- Hamzah, L. M., Nabilah, S. U., Russel, E., Usman, M., y Virginia, E. (2020). Dynamic Modelling and Forecasting of Data Export of Agricultural Commodity by Vector Autoregressive Model. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 55(3), 1-10. <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.55.3.41>
- Henderson, T. P. (2019). La roya y el futuro del café en Chiapas. *Revista mexicana de sociología*, 81(2), 389-416.
- Hernandez-Trillo, F. (2018). Mexico, NAFTA, and beyond. *The International Trade Journal*, 32(1), 5-20. <https://doi.org/10.1080/08853908.2017.1387622>
- Hussien, H. B. (2015). Determinants of Coffee Export Supply in Ethiopia: Error Correction Modeling Approach. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 6(5), 31-38.
- International Coffee Organization (2013). *La Organización Internacional del Café de 1963 a 2013: 50 años sirviendo a la comunidad cafetera mundial*. <http://dev.ico.org/documents/cy2012-13/history-ico-50-years-c.pdf>
- International Coffee Organization (2023). *Coffee report and outlook*. [https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee\\_Report\\_and\\_Outlook\\_December\\_2023\\_ICO.pdf](https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee_Report_and_Outlook_December_2023_ICO.pdf).
- International Trade Centre (2021). *The coffee guide*. Fourth Edition. <https://intracen.org/es/media/5718>
- Jaramillo-Villanueva, J.L., Benítez-García, E., Jaramillo-Villanueva, J.L., y Benítez-García, E. (2016). Trasmisión de precios en el mercado mexicano e internacional de café (*Coffea arabica* L.): Un análisis de cointegración. *Agrociencia*, 50(7), 931-944.
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2), 231-254. [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3)
- Johansen, S. (1994). The role of the constant and linear terms in cointegration analysis of nonstationary variables. *Econometric Reviews*, 13(2), 205-229. <https://doi.org/10.1080/07474939408800284>
- Jordán, S., J. (2014). Modelo vec para la estimación de inflación bursátil: Evidencia empirica en mercados norteamericanos. *Investigación & Desarrollo*, 1(14), 66-80.
- Kai-Hua, W., Chi-Wei, S., Ran, T., y Lin-Na, H. (2020). Are there periodically collapsing bubble behaviours in the global coffee market? *Agrekon*, 59(1), 65-77. <https://doi.org/10.1080/03031853.2019.1631865>
- Kwaku, A. J., Twumasi-Ankrah, Sampson, Baah, G. K., Arthur, D., y Adoma, P. W. (2020). Evaluating the performance of unit root tests in single time

- series processes. *Mathematics and Statistics*, 8(6), 205-229. <https://doi.org/DOI: 10.13189/ms.2020.080605>
- Lafer, C. (1973). O convenio internacional do café. *Revista da Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo*, 68(2), 285-340.
- Lee, Y., y Bateman, A. (2021). The competitiveness of fair trade and organic versus conventional coffee based on consumer panel data. *Ecological Economics*, 184, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106986>
- Liu, S. X., y Covarrubias, L. J. G. (2023). Convergencia dinámica de series temporales y su inconsistencia con la estacionariedad en análisis económicos. *Análisis económico*, 38(97), 5-26. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2022v38n97/liu>
- Magrath, A., y Ghazoul, J. (2015). Climate and Pest-Driven Geographic Shifts in Global Coffee Production: Implications for Forest Cover, Biodiversity and Carbon Storage. *Plos One*, 10(7), 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133071>
- Martínez, A. G. (2003). Raíz unitaria y cambio estructural en las series de tiempo de México. *Denarius*, (8), 41-60.
- Maysami, R. C., y Koh, T. S. (2000). A vector error correction model of the Singapore stock market. *International Review of Economics & Finance*, 9(1), 79-96. [https://doi.org/10.1016/S1059-0560\(99\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S1059-0560(99)00042-8)
- Montenegro, G. A. (1989). La función de autocorrelación y su empleo en el análisis de series de tiempo. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 23, 117-132.
- Morris, J. (2013). Why espresso? Explaining changes in European coffee preferences from a production of culture perspective. *European Review of History: Revue Européenne d'histoire*, 20(5), 881-901. <https://doi.org/10.1080/13507486.2013.833717>
- Muñoz-Rodríguez, M., Gómez-Pérez, D., Santoyo-Cortés, V. H., y Rosales-Lechuga, R. (2019). *Los negocios del café ¿Cómo innovar en el contexto de la paradoja del café, en pro de una red de valor más inclusiva y accesible?*. México: Universidad Autónoma Chapingo. <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/272>
- Nava-Tablada, M. E. (2012). Migración internacional y cafecultura en Veracruz, México. *Migraciones internacionales*, 6(3), 139-171.
- Nicholson, W., B., Matteson, D., S. y Bien, J. (2017). VARX-L: Structured regularization for large vector autoregressions with exogenous variables. *International Journal of Forecasting*, 33(3), 627-651. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2017.01.003>
- Ortega, H. A., y Ramírez, V. B. (2013). Crisis de la cafecultura y migración en el contexto de pobreza y marginación. El caso de los productores indígenas de Huehuetla, Puebla. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 9(1), 173-186. <https://doi.org/10.35197/rx.09.01.e.2013.14.ao>
- Otero, J., y Milas, C. (2001). Modelling the spot prices of various coffee types. *Economic Modelling*, 18(4), 625-641. [https://doi.org/10.1016/S0264-9993\(00\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S0264-9993(00)00056-0)

- Pancsira, J. (2022). International Coffee Trade: A literature review. *Journal of Agricultural Informatics*, 13(1), 26-35. <https://doi.org/10.17700/jai.2022.13.1.654>
- Pérez, A. P. (2009). Las transformaciones institucionales en la producción y comercialización internacional del café en el siglo XX e inicios del XXI. Problemas del Desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía*, 38(150), 107-132. <https://doi.org/10.22201/ieec.20078951e.2007.150.7679>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., y Smith, R. J. (2000). Structural analysis of vector error correction models with exogenous I(1) variables. *Journal of Econometrics*, 97(2), 293-343. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(99\)00073-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(99)00073-1)
- Ponte, S. (2002). The 'Latte Revolution'? Regulation, Markets and Consumption in the Global Coffee Chain. *World Development*, 30(7), 1099-1122. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(02\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(02)00032-3)
- Portillo, L. (1993). El Convenio Internacional del Café y la crisis del mercado. *Comercio exterior*, 43, 373-391.
- Quintero, R. M. L., y Rosales, M. (2014). El mercado mundial del café: tendencias recientes, estructura y estrategias de competitividad. *Visión Gerencial*, (2), 191-307.
- Rahmer, B. J., Saenz, H. G., y Garzón, J. S. (2019). Estimación de un modelo de vectores autorregresivos para pronóstico de demanda. Un estudio empírico. *CEASGA-working papers*, 2(2), 92-113.
- Ramos-Rivera, L., Nava-Tablada, M.E., y Escamilla-Prado, E. (2021). Mercados diferenciados en organizaciones cafetaleras del centro de Veracruz, México. *Interconectando Saberes*, 6(12), 177-184. <https://doi.org/10.25009/is.v0i12.2716>
- Rios, O. A. (2015). La cointegración en series de tiempo, una aplicación a la relación entre el PIB y el nivel de exportaciones en Colombia. *Revista Heurística*, 17, 67-76.
- Rivera, E.G., Rojas, A.M.V., y Juárez, E.R. (2021). El origen del café en México y el incremento de su producción en Chiapas, 1893-1920. Hatso-Hnini. *Revista de Investigación de Paisajes y Espacio Construido*, 1(1), 79-88.
- Rojó, C. R. R. (2022). Competitividad del café mexicano en el comercio internacional: Un análisis comparativo con Brasil, Colombia y Perú (2000 – 2019). *Análisis Económico*, 37(94), 181-199. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2022v37n94/Rivera>
- Santiago-Santiago, A. K., Arana-Coronado, O. A., Brambila-Paz, J. de J., Matus-Gardea, J. A., Sosa-Montes, M., Santiago-Santiago, A. K., Arana-Coronado, O. A., Brambila-Paz, J. de J., Matus-Gardea, J. A., y Sosa-Montes, M. (2020). Evaluación financiera con metodología de opciones reales de inversión para producción y venta de café orgánico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 493-505. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.1877>
- Sims, C. A. (1986). Are forecasting models usable for policy analysis?. *Quarterly Review*, 10(1), 2-16.
- Sims, C. A., Goldfeld, S. M., y Sachs, J. D. (1982). Policy Analysis with Econometric Models. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1982(1), 107-164. <https://doi.org/10.2307/2534318>

- Slalova, G., y Georgieva, N. (2019). World production of coffee imports and exports in Europe, Bulgaria and USA. *Trakia Journal of Sciences*, 17(1), 619-626. [10.15547/tjs.2019.s.01.098](https://doi.org/10.15547/tjs.2019.s.01.098)
- Stock, J., H. y Watson, M., W. (1993). A Simple Estimator of Cointegrating Vectors in Higher Order Integrated Systems. *Econometrica*, 61(4), 783-820. <https://doi.org/10.2307/2951763>
- Trujillo, C. G. H. T. (2010). La metodología del vector autorregresivo: Presentación y algunas aplicaciones. *UCV-Scientia*, 2(2), 103-108. <https://doi.org/10.18050/revucv-scientia.v2i2.874>
- Tuyến, Đ. T., Caihong, Z., y Hồng, N. T. (2020). Assessing the relationship between international market and agricultural commodity export prices: Evidence from vietnamese coffee. *Dalat University Journal of Science*, 10(4), 57-73. [https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.10.4.673\(2020\)](https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.10.4.673(2020))
- United States Department of Agriculture (2023a). *Coffee Annual: Mexico*. [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee%20Annual\\_Mexico%20City\\_Mexico\\_MX2023-0024.pdf](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee%20Annual_Mexico%20City_Mexico_MX2023-0024.pdf)
- United States Department of Agriculture (2023b). *Coffee: World Markets and Trade*. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>
- Vanegas, J.G., Alcaraz, J.V., y Bobadilla, E.E. (2023). Determinantes de la competitividad exportadora de los productores de café en el estado de Puebla, México. *Espacios*, 43(06), 59-75. <https://doi.org/10.48082/espacios-a23v44n06p05>
- Vázquez-López, Espinoza-Arellano, J. J., González-Mancilla, A., y Guerrero-Ramos, L. A. (2022). Características de productores y plantaciones de café en la zona norte de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 101-111.
- Villarreal, J. G. A. (2023). Comercialización y producción de café, un análisis cultural en la zona de Hidalgo, México. *South Florida Journal of Development*, 4(3), 1164-1182. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n3-012>
- Zullo, J., Pinto, H. S., Assad, E. D., y de Ávila, A. M. H. (2011). Potential for growing Arabica coffee in the extreme south of Brazil in a warmer world. *Climatic Change*, 109(3), 535-548. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0058-0>