



UADY
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN

Revista de Economía,

Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán

Análisis de la demanda de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) mexicano en el mercado de los Estados Unidos de América

Analyzing the market demand for Mexican tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) in the United States

Renato Francisco González Sánchez¹



Resumen

En este trabajo se estiman modelos de demanda de importación de tomate fresco y procesado de origen mexicano por el mercado de los EUA. El periodo de análisis es de enero 2000 a octubre 2024 con frecuencia mensual. Se emplean los modelos autorregresivos de rezagos distribuidos (ARDL), modelos cointegrantes como el FMOLS y CCR y la causalidad de Granger. Algunos resultados indican que al subir el precio de importación del tomate fresco mexicano en los EUA aumenta la demanda de este producto. Si aumenta el precio del tomate procesado importado mexicano disminuye su demanda. Si el tipo de cambio real aumenta (equivalente a disminuir la capacidad de compra de importaciones mexicanas del consumidor de EUA), entonces cae la cantidad demandada de tomate fresco mexicano. Al incrementarse el ingreso disponible real per cápita en los EUA, aumenta la demanda de tomate procesado; pero no se observan efectos en la demanda de tomate fresco. El tomate fresco producido en los EUA y el tomate importado de México son bienes sustitutos y entre este último y el tomate importado de Canadá son bienes complementarios. Estos comportamientos se observan para el largo plazo. Estos resultados son útiles para mejorar la política de fomento comercial agroalimentario mexicano; y para la planeación de empresas exportadoras de frutas y verduras frescas. Esto cobra importancia en escenarios de incertidumbre comercial de productos agrícolas entre EUA y México.

Palabras clave: comercio internacional de tomate, modelos ARDL, FMOLS y CCR

Clasificación JEL: C22, D12, F14, F47.

1- Universidad de Colima, Facultad de Economía, México. Correo electrónico: refrgosa@uclm.mx

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0737-2838>



 Abstract

This paper estimates import demand models for fresh and processed tomatoes of Mexican origin in the US market. The analysis period is from January 2000 to October 2024, with monthly data. Autoregressive distributed lag (ARDL) models, cointegrating models such as FMOLS and CCR, and Granger causality are used. Some results indicate that as the import price of fresh Mexican tomatoes in the US increases, the demand for this product rises. If the price of imported processed Mexican tomatoes increases, then the demand for this product decreases. If the real exchange rate increases (equivalent to a decrease in the purchasing power of US consumers for Mexican imports), then the quantity demanded of fresh Mexican tomatoes falls. When real per capita disposable income in the US increases, the demand for processed tomatoes rises; however, no effects on the demand for fresh tomatoes are observed. Fresh tomatoes produced in the US and tomatoes imported from Mexico are substitute goods, and tomatoes imported from Mexico and tomatoes imported from Canada are complementary goods. These behaviors are observed in the long run. These results are useful for improving Mexican agri-food trade promotion policies and for planning by companies exporting fresh fruits and vegetables. This is especially important in scenarios of trade uncertainty for agricultural products between the US and Mexico.

Keywords: International trade for tomatoes, ARDL, FMOLS and CCR models

JEL Classification: C22, D12, F14, F47

1. Introducción

El sistema de producción y consumo de tomate fresco y procesado en Norteamérica está altamente integrado. Con fricciones y complementariedades, los tres países Canadá, México y los Estados Unidos de América (EUA) han producido y comercializado estos productos cada vez más intensamente,¹ (véase paneles a) y b) del Gráfico 1). Los EUA son el principal país productor de la región, con 12.2 millones de toneladas promedio anual en los últimos 10 años. El 20% de esta producción se destina al mercado en fresco y el resto a la industria procesadora (USITC, 2011). El tomate se produce en diversos estados, pero Florida y California son los más destacados. En México se produce todo el año y en todo el país, pero son Sonora, Jalisco, Guanajuato, Puebla, Michoacán, y en particular Sinaloa quienes producen para la exportación. Canadá produce principalmente en Ontario, Columbia Británica y Quebec con sistemas de agricultura protegida (Pérez *et al.*, 2017).

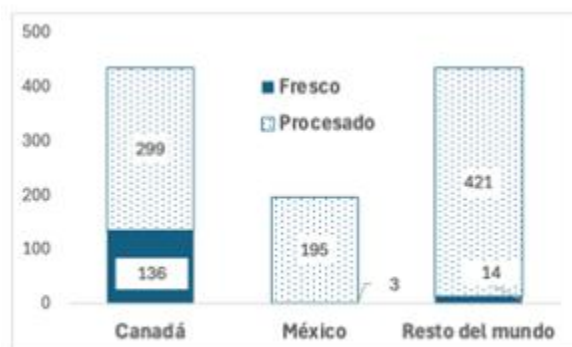
¹ Los datos y cifras que a continuación se reportan provienen de *FAO-STAT* (<https://www.fao.org/faostat/en/#data>) y *Global Agricultural Trade System (GATS)*. (<https://apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx>). Las estimaciones son propias.

Mientras Canadá y los EUA han reducido su producción de tomate (aproximadamente en -0.5% anual del año 2000 al 2024), México la ha aumentado a una tasa anual del 2.5% en el mismo periodo. Los tres países han observado disminuciones en la superficie cultivada; por lo que el aumento en los rendimientos explica el sostenimiento de la producción; y éste a su vez se explica por el uso de mayor tecnología, como agricultura protegida (invernaderos, macro túneles y/o malla sombra), pero también por una plétora de avances tecnológicos en semillas, nutrición, manejo de plagas y enfermedades, sistemas de riego, asistencia técnica, entre otros. Orona *et al.* (2022) estimaron que desde 2017 la producción de tomate bajo agricultura protegida representaba el 70% de la superficie sembrada y 32% de la producción en México. Esta podría alcanzar el 77% en la superficie y 46% en la producción para 2024 (Canales *et al.*, 2019; Duval *et al.*, 2018).

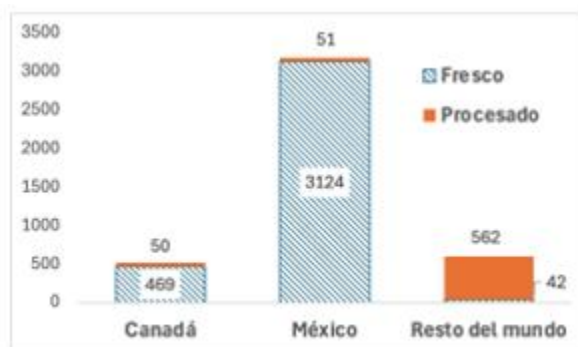
Los movimientos de comercio para el tomate fresco y procesado de los EUA tienen lugar con México y Canadá principalmente. Entre el 2000 y 2024, el volumen de las exportaciones promedio anual de tomate fresco hacia los EUA desde México creció un 4.5%; y desde Canadá el 2%. En este periodo ocurrieron dos crisis, la financiera global de 2008 y 2009, y la relacionada con el COVID-19 en 2020; así como la creciente inflación de alimentos a nivel mundial como efecto de las políticas anticíclicas del COVID y la invasión de Rusia a Ucrania en 2022. Como resultado de lo anterior, en el periodo de estudio (véase paneles b) y c) de la gráfica 1, y paneles a) al d) de la gráfica A1 de anexos) no se observan caídas abruptas en volúmenes exportados del producto o del precio al que se comercializa. En un trabajo detallado del comercio entre México y EUA, Zahnizer (2022) detectó que la caída en la importación de tomate mexicano por los EUA sólo fue temporal de abril a mayo de 2020, para resurgir posteriormente en su tendencia creciente de los últimos 25 años. En este contexto, en 2024 México exportó 1.92 millones de toneladas de tomate fresco a los EUA con un valor de 3,124 millones de dólares. En cambio, para el tomate procesado las exportaciones de Canadá cayeron a partir del 2008; mientras que las exportaciones de México –que han oscilado entre 15 a 30 mil toneladas anuales– sólo fueron altas en 2010 y 2011. Son por tanto las condiciones de los mercados domésticos las que explican los movimientos de comercio de estos productos entre estos países.

Gráfica 1. El comercio de tomate en América del Norte

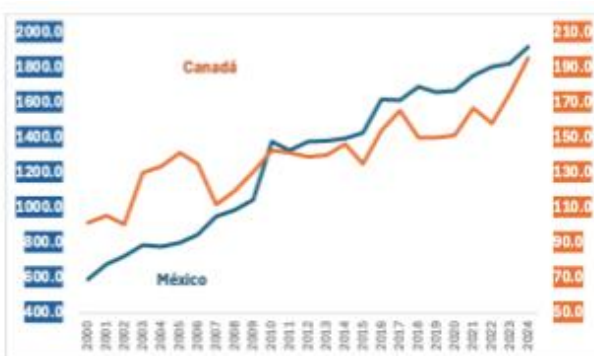
a) Exportaciones de EUA en 2024 1/



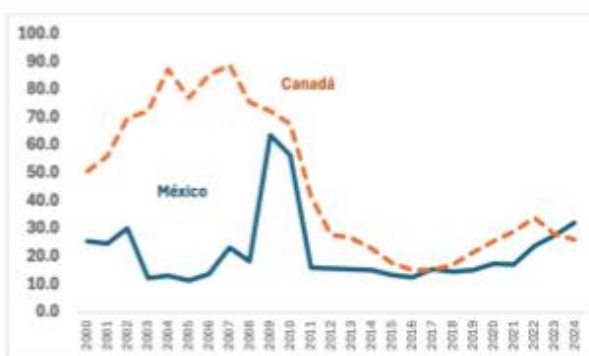
b) Importaciones de EUA en 2024 1/



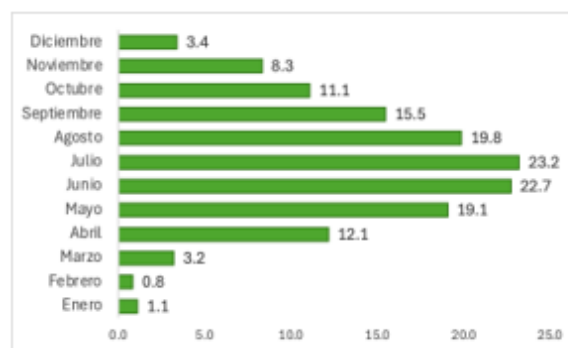
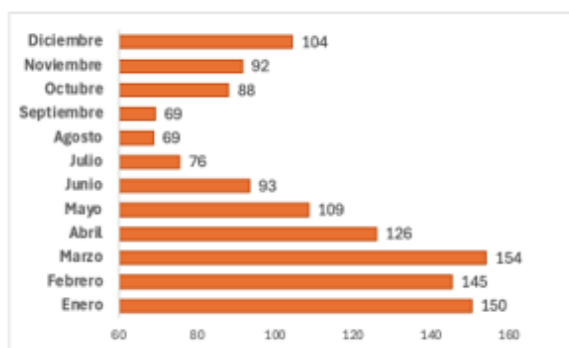
c) Volumen exportado a EUA de tomate fresco 2/



d) Vol. exportado a EUA de tomate procesado 2/



e) Exportación mensual de México a EUA 3/ f) Exportación mensual de Canadá a EUA 3/



Notas: 1/ En millones de dólares corrientes, 2/ En miles de toneladas. 3/ En miles de toneladas promedio mensuales de tomate fresco para periodo 2000 a 2024.

Fuente: Elaboración propia con datos de GATS. (<https://apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx>)

Las crecientes exportaciones de tomate fresco de México a los EUA han creado disputas comerciales entre productores de ambos países. La caída de la superficie y producción en Florida de este tipo de producto explican esta presión legal (Chanda *et al.*, 2021). La primera controversia

comercial comenzó en 1968, relacionada con los tamaños comerciales. En 1978 los EUA iniciaron una investigación antidumping contras las importaciones de México. En 1996 se inició otra, pero ésta se solventó con un acuerdo de suspensión de investigación antidumping y el establecimiento de precios mínimos. En 2002, mediante acuerdos, se suspendió otra investigación antidumping. En 2013 se acordó elevar los precios mínimos para invierno y verano (Pérez *et al.*, 2017). En 2019 se reinició otra disputa por precios dumping contra el tomate fresco de México; la cual se resolvió con otro acuerdo de suspensión y mantenimiento de precios mínimos (Chanda *et al.*, 2021). La apertura comercial, enmarcada en el Tratado de Libre Comercio, y las devaluaciones de mediados de la década de 1990, explican estas controversias.

Mientras México exporta a los EUA los mayores volúmenes de tomate fresco en los meses de invierno; Canadá lo hace en verano (véase paneles d) y e) de la gráfica 1). La competencia por la participación del mercado estadounidense ha conducido a explotar las ventajas competitivas de cada país con estrategias de inversión tecnológica, especialización en diversas variedades de tomate y competencia de precios (Pérez *et al.*, 2017). Esto significa una amplia y variada disponibilidad de tomate fresco en el mercado de EUA (roma, redondo, cherry, etc.). Las cadenas de comida rápida y restauranteras lo incluyen en sus platillos, y las cadenas de supermercados y mercados locales ofrecen este producto para consumo en los hogares. Las preocupaciones de salud por el consumidor y el aumento de preferencias por tomate madurado en la planta (en contraste con el cortado antes de madurar o verde) explican el alto consumo de tomate fresco en el mercado estadounidense.

Para los productores y comercializadores de tomate fresco (mexicanos o estadounidenses) exportar o distribuir implica el empleo de la cadena de frío para transporte y distribución a los canales mayoristas y minoristas; lo cual hace compleja y complementaria la producción e importación de tomate de Estados Unidos (Cui *et al.*, 2022). Autores como Duval *et al.*, (2018) presentan evidencia de que la importación de tomate mexicano por los EUA tiene un alto efecto multiplicador en el ingreso de los agentes económicos y en la generación de empleos; lo cual revela la importancia de la complementariedad de mercados estadounidenses para el tomate. Desde la década de los 1990 se observaba la concentración oligopólica e integración vertical de la industria del tomate en los tres países; con pocas empresas que producen y exportan. En el caso de México y los EUA las empresas amplían la estacionalidad de su mercado mediante la compra o renta de tierras o contratos con productores locales (Padilla-Bernal *et al.*, 2003; Johnnecheck *et al.*, 2010).

La producción de tomate en México tiene un enorme impacto económico en las regiones de producción. Entre los más importantes está la generación de empleo rural (78,920 empleos remunerados en 2023 –CEFP, 2025), la demanda de insumos agroquímicos, equipo y maquinaria (aunque este se imbrica con otros cultivos dada la lógica de periodos de siembra y cosecha de frutas y hortalizas y la rotación de estos cultivos), el valor agregado generado por empaques y procesadoras; así como en la logística de transporte a la frontera o al interior del país. Si se considera a los seis estados mexicanos que más contribuyen en la exportación (mencionados anteriormente) la superficie cosechada de tomate en 2024 fue de 27.8 mil hectáreas (un 56% del total nacional destinado a este cultivo) y su valor de producción a precios corrientes fue 37.5 mil

millones de pesos (46% del total nacional)². En función de la modalidad de producción (tradicional o cielo abierto o agricultura protegida; esto es, malla sombra o invernadero), el costo de producción de una hectárea de tomate oscila entre 628 mil y 10.4 millones de pesos (reales a diciembre de 2025). El costo de la mano de obra (para labores de cultivo y cosecha) oscila entre el 11% y 40%; mientras que la demanda de insumos (fertilizantes, pesticidas y semilla) está entre el 31% y el 48%³. La derrama económica y el empleo en las zonas productoras es considerable para este cultivo.

El objetivo de este trabajo es determinar el impacto que tienen diversas variables como precios de importación y domésticos, el ingreso disponible per cápita y tipo de cambio (dólar-peso) en la demanda del consumidor estadounidense de tomate fresco y procesado proveniente de México. En este sentido, se construyen modelos de demanda del consumidor y se emplean diversas técnicas de econometría de series de tiempo, cuyos resultados se contrastan críticamente con investigaciones similares o paralelas. Además de la introducción, el trabajo presenta un apartado de revisión de literatura, así como de materiales y métodos. En otras secciones se presentan los resultados, la discusión y las conclusiones.

2. Revisión de literatura

Existe una abundante literatura sobre las exportaciones agrícolas de México a los EUA. En términos generales, la mayoría puede agruparse en los textos dedicados a analizar las ventajas comparativas, los modelos de comercio, oferta y demanda de productos agroalimentarios y el impacto económico-sectorial en México y EUA, entre otros. En el año 2022, las importaciones de EUA desde México fueron: 49% frutas, y 72% hortalizas (Huang *et al.*, 2022). La cercanía geográfica al mercado de los EUA y la ventana comercial de invierno; así como la posibilidad de que México produzca todo el año, la presencia de microclimas, la mayor disponibilidad de mano de obra y el enorme progreso tecnológico en la agricultura, entre otros elementos, han permitido saltos en la productividad y diversidad de los productos agrícolas y agroalimentarios (como frutas y hortalizas) que México puede exportar (Charlton *et al.*, 2019; Guan *et al.*, 2017; González y Tinoco, 2025; Canales *et al.*, 2019; Zahniser, 2025).

Estos aspectos explican la profusión de estudios relacionados con la competitividad comercial y de exportación de diferentes frutas y verduras frescas mexicanas; entre las que se encuentra también el tomate (Montaño-Méndez *et al.*, 2021; Bustamante-Lara *et al.*, 2022; Caamal-Cauich *et al.*, 2025). La importancia de la integración de cadenas agroalimentarias para el tomate en la región de Norteamérica (Canadá, México y los EUA), el impacto económico positivo o negativo en las regiones productoras y en las cadenas agroalimentarias y logísticas se documentan en trabajos de diversos autores (Canales *et al.*, 2019; Cui *et al.*, 2022; Chanda *et al.*,

² Datos de la página *Panorama agroalimentario 2025: fortaleciendo la estadística agroalimentaria desde la raíz*. México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/2025.pdf

³ Se elaboró con datos de la página *Agrocostos Interactivo*. México: Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. <https://www.fira.gob.mx/agrocostosApp/AgroApp.jsp>

2021; Huang *et al.*, 2022; Zahniser, 2022; Zahniser, 2025; Duval *et al.*, 2017; Estes, 2003; Borja-Bravo *et al.*, 2013 y Bustamante-Lara *et al.*, 2022)

El enfoque teórico de la presente investigación se basa en la estimación de una función de demanda de tomate fresco y procesado por el mercado de los EUA. De acuerdo con Pindyck y Rubinfeld (1992), toda función de demanda de un producto se explica por el precio propio, el precio de bienes relacionados, el ingreso, y otras variables asociadas a la naturaleza del producto o servicio demandado, que para el presente trabajo es el tipo de cambio. El enfoque de función de demanda de productos mexicanos ha sido empleado en otros trabajos para diferentes frutas mexicanas (Evans y Nalampang, 2009; Lopez y Mnatsakayan, 2021; Martínez-Damián *et al.*, 2024; González y Tinoco, 2025). En el contexto internacional, Hadi y Chung (2022) modelan una función de demanda de carne de res de Indonesia, y Forgenie y Khoiriyah (2023) amplían dicha función para incluir la demanda de importación de alimentos por este país. Agbo (2022) también estudia los determinantes de la importación de alimentos por Egipto; mientras que Bhattacharya (2019) analiza los determinantes de la exportación de frutas frescas de la India. Estos trabajos también incluyen como regresores a algunas variables que se emplean en este trabajo.

En estudios previos sobre exportaciones de tomate de México a los EUA, el ingreso per cápita es un regresor considerado (Gómez-Gómez *et al.*, 2022), los precios domésticos en México y en los EUA también son variables analizadas (Pérez *et al.*, 2017; Govindasamy *et al.*, 2025; Hernández-Soto y Alcalde-Jiménez 2024). Al considerarse el tipo de cambio como predictor del comportamiento de volúmenes exportados, diversos autores lo confirman (Aliyu y Ismail, 2017; Hadi y Chung, 2022) aunque para otros productos agroalimentarios.

Para modelar los factores que explican los movimientos de importaciones o exportaciones agrícolas o pecuarias entre dos países, en la literatura reciente se emplean diversas técnicas econométricas multivariantes. En el caso del comercio del tomate mexicano a mercados extranjeros, en particular el área de Norteamérica, el cuadro A1 de anexos presenta los estudios más recientes. Como se observa, estos trabajos emplean diferentes modelos de series de tiempo (vectores autorregresivos, de corrección de errores, mínimos cuadrados), modelos de simulación espacial, hasta análisis de correlaciones y descriptivo. El modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL) se ha empleado ampliamente para parametrizar la demanda de diferentes frutas; ejemplos de esto son González y Tinoco (2025) para analizar a demanda de limón mexicano por el mercado estadounidense, y Alias *et al.* (2012) para el comercio del tomate por Malasia.

En este contexto, el aporte del presente trabajo es que se estiman modelos de demanda basados en la teoría del consumidor, por lo que se emplean variables no consideradas en otros trabajos. Al tratarse de series de tiempo, se emplearon modelos econométricos adecuados a este tipo de variables, como la cointegración y modelos de corto y largo plazo. Los modelos empleados en este trabajo no se habían ensayado para el comercio del tomate en Norteamérica y esto brinda originalidad al trabajo. No menos importante es que se incluye en el análisis al mercado de tomate fresco y procesado, por lo que se tiene una visión más amplia del fenómeno comercial de estos productos en la región.

La revisión de los estudios similares no trata de ser exhaustiva; en el sentido de que lo que se busca es justificar el modelo de demanda empleado y la metodología de estimación, basada

en series de tiempo, para el trabajo que aquí se presenta. Estos elementos son tratados a mayor detalle en la siguiente sección.

3. Materiales y métodos

La información para este trabajo se obtuvo de diversas fuentes. Para los volúmenes y valor del tomate que México y Canadá exportan a los EUA se emplea el código armonizado del Sistema de Comercio Agrícola Global (GATS) del Departamento de Agricultura de los EUA. Este sistema emplea el valor del comercio en frontera, que se basa principalmente en el precio FOB, como lo indica la página donde se toman los datos. Los precios se deflactan con el índice de precios al consumidor de cada país. La frecuencia de los datos es mensual, para el periodo de enero de 2000 a octubre de 2024. Más detalles del procesamiento de las variables y bases de datos, el uso de deflatores y fuente de datos puede observarse en el cuadro 1.

Cuadro 1. Fuente y descripción de las variables series mensuales

Variables	Descripción
Fracción arancelaria de 6 dígitos: 070200	Tomate fresco de distintos tipos (roma, cherry redondo o tipo uva, bola, etc.), incluye orgánico y proveniente de invernaderos o de campo abierto que EUA importa de México y Canadá. Los valores están en toneladas y miles de dólares. El precio se obtiene de la división de estos dos valores, con lo que se mide en dólares por kilo, y se deflacta con el CPI de EUA (julio 2024 = 100). Fuente: https://apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx
Fracciones arancelarias de 6 dígitos: 200210 210320 200950	Tomate procesado o preparado, incluido el enlatado y completo, cátsup, salsa, puré y jugos que EUA importa de México y Canadá. Los valores están en toneladas y miles de dólares. El precio se obtiene de la división de estos dos valores, con lo que se mide en dólares por kilo y se deflacta con el CPI de EUA (julio 2024 = 100). Fuente: https://apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx
Precio del tomate fresco en el mercado de EUA	El precio es un promedio en las ciudades de los EUA, en dólares por libra de tomate cultivado en campo abierto. Variable no ajustada estacionalmente. Se deflacta con el CPI de EUA (octubre 2024 = 100). Fuente: U.S. Bureau of Labor Statistics, Federal Reserve Bank of St. Louis. Link: https://fred.stlouisfed.org
Índice de precio al productor de tomate procesado en EUA.	Índice de precios al productor de preparado de tomate como salsa, catsup y enlatado en los EUA. Diciembre de 1987=100 no ajustado por estacionalidad. Fuente: FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis. https://fred.stlouisfed.org/series/WPU02440127
Ingreso disponible real per cápita en EUA	Serie en dólares constantes (2024 =100) de EUA. Fed. Reserve Bank of St. Louis. https://fred.stlouisfed.org/

Tipo de cambio real en los EUA*/	Expresa cuántos dólares de EUA paga un consumidor en EUA por un peso mexicano; en el contexto del mercado de EUA. Fuentes: Federal Reserve Bank of St. Louis. https://fred.stlouisfed.org Banco de México. https://www.banxico.org.mx/
----------------------------------	--

Notas: CPI: Consumer Price Index. */ El cociente de índice de precios al consumidor en EUA entre el índice de precio al consumidor en México se multiplica por el tipo de cambio corriente.

Fuente: Elaboración propia

A fin de alcanzar el objetivo de este trabajo se estiman funciones de demanda del tomate fresco y procesado de origen mexicano en el mercado de los EUA. En este sentido, se proponen las siguientes expresiones algebraicas:

$$QF_{US} = f(PFI_{MX}, PFI_{CA}, PF_{US}, IDR_{US}, TCR_{US}) \dots (1)$$

$$QP_{US} = f(PPI_{MX}, PPI_{CA}, ITP_{US}, IDR_{US}, TCR_{US}) \dots (2)$$

donde la cantidad importada de tomate fresco mexicano por el mercado de los EUA (QF_{US}) es función del precio propio de importación de tomate fresco mexicano en el mercado EUA (PFI_{MX}), de los precios relacionados del tomate fresco de Canadá importado por el mercado EUA (PFI_{CA}) y del precio promedio en ciudades de EUA de tomate fresco cultivado en campo (PF_{US}); así como del ingreso disponible real per cápita en los EUA (IDR_{US}), el tipo de cambio real (TCR_{US}) expresado en dólares de EUA por peso mexicano. Este tipo de cambio particular es la capacidad de compra de importaciones mexicanas de un consumidor estadounidense. De manera equivalente para la ecuación (2), la cantidad importada de tomate procesado mexicano al mercado de los EUA (QP_{US}) depende del precio de importación del tomate procesado mexicano en el mercado de EUA (PPI_{MX}), del precio de importación tomate procesado de Canadá en el mercado de EUA (PPI_{CA}), del índice de precio al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US}) y las variables ya definidas del tipo de cambio real y el ingreso disponible per cápita del consumidor de EUA. Para estimar elasticidades, las variables descritas se transforman a logaritmos naturales.

Si las variables dependientes de (1) y (2) se generalizan en y_t y las independientes en x_t ; para una estimación individual, (1) y (2) se pueden expresar en un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos, ARDL(p,q,...,q):

$$y_t = c_0 + c_1 t + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta'_i x_{t-i} + \gamma' z_t + u_t \dots (3)$$

donde los términos constante (c_0) y tendencia lineal ($c_1 t$) pueden ser opcionales. Los rezagos definidos por $p \in [1, p^*]$ y $q \in [0, q^*]$ se establecen de manera conservadora para asegurar los suficientes grados de libertad. Finalmente, los términos $\gamma' z_t$ expresan al coeficiente (γ') de un conjunto z_t de variables exógenas que pueden explicar las fluctuaciones de corto plazo y que no afectan el equilibrio de largo plazo. Siguiendo a Kripfganz y Schneider (2022), la ecuación (3) puede estimarse más convenientemente de la siguiente manera:

$$\Delta y_t = c_0 + c_1 t + \pi_y y_{t-1} + \pi_x x_t + \sum_{i=1}^{p-1} \psi_{yi} \Delta y_{t-i} + \omega' \Delta x_t + \sum_{i=1}^{q-1} \psi'_{xi} \Delta x_{t-i} + \gamma' z_t + u_t \dots (4).$$

donde Δ es el operador de primeras diferencias, p y q expresan el número de rezagos, y u_t es el término de error de ruido blanco. En la ecuación (3) se puede definir la prueba de cotas (bound test): $H_0: (\pi_y = 0) \cap (\pi_x = 0)$ vs. $H_1: (\pi_y \neq 0) \cap (\pi_x \neq 0)$, (Sarihan, 2024; Pesaran *et al.*, 2001; Ogunjobi *et al.*, 2022). Al rechazar H_0 se indica que las variables cointegran o que presentan una relación de equilibrio de largo plazo. La ecuación (4) permite estimar los coeficientes de corto y largo plazo de las funciones de demanda.

En este trabajo se evalúa la robustez del componente de largo plazo del modelo ARDL mediante su reestimación con modelos cointegrantes; tales como mínimos cuadrados completamente modificados (FMOLS, desarrollado por Phillips y Hansen, 1990) y la Regresión Canónica Cointegrante (CCR, propuesta por Park, 1992).

El modelo FMOLS es una regresión de variables instrumentales con regresores no estacionarios; además, constituye una corrección semi paramétrica para eliminar los problemas causados por la correlación de largo plazo entre la ecuación cointegrante y las innovaciones estocásticas de la regresión (Adom *et al.*, 2015). Esta técnica proporciona parámetros consistentes aun con muestras pequeñas, y supera los problemas de endogeneidad, correlación serial, sesgo de omisión de variables, errores de medida y permite la heterogeneidad en los parámetros (Priyankara 2018). Como lo proponen Adom *et al.* (2015), el modelo FMOLS se puede estimar con:

$$\hat{\theta}_{FMOLS} = (\sum_{t=1}^T Z_t Z_t')^{-1} (\sum_{t=1}^T Z_t Y_t^+ - T \begin{bmatrix} \Lambda_{12}^+ \\ 0 \end{bmatrix}) \dots (5)$$

donde los términos Y_t^+ y Λ_{12}^+ , corrigen la endogeneidad y la correlación serial. El estimador FMOLS es asintóticamente insesgado y presenta una distribución asintótica normal completamente eficiente, lo que permite realizar pruebas de Wald estándar mediante la inferencia estadística de chi-cuadrado asintótica (Adom *et al.*, 2015; Priyankara, 2018; Wang y Wu, 2012).

El modelo CCR también se emplea para evaluar vectores cointegrantes. El CCR realiza una transformación de los datos (y_t , x_t); empleando a los estimadores de las innovaciones y las matrices de covarianzas de largo plazo (Adom *et al.*, 2015). El CCR también resuelve los problemas y restricciones mencionados para el FMOLS. El CCR consiste en una regresión uniecuacional en la que también se puede aplicar una regresión multivariante sin modificaciones y sin pérdida de eficiencia (Park, 1992; Priyankara, 2018). Siguiendo a Adom *et al.*, (2015), el estimador CCR se obtiene de:

$$\hat{\theta}_{CCR} = (\sum_{t=1}^T Z_t^* Z_t^{*1})^{-1} \sum_{t=1}^T Z_t^* Y_t^* \dots (6)$$

donde las variables con asteriscos expresan a las variables transformadas. Los modelos FMOLS y CCR se emplean para evaluar la consistencia o robustez de resultados de modelos con vectores cointegrantes, tanto para los basados en series de tiempo como en modelos de panel (Pattak *et al.*, 2023; Aliyu e Ismail 2017; Dogan y Seker 2016). Para una revisión más detallada sobre estos modelos se recomienda revisar a Wang y Wu (2012). Las estimaciones para este trabajo se realizaron con el programa E-views 12.

4. Análisis de resultados

4.1. Estadísticas descriptivas

En el cuadro 2 se presentan los estadísticos básicos en niveles (es decir en su escala de medición) para las 10 variables bajo estudio. De manera complementaria, la gráfica A1 de los anexos muestra el desempeño de cada variable para el periodo de análisis. La cantidad importada de tomate fresco mexicano por los EUA tiene una de las tasas de crecimiento promedio anual (TCPA) más altas. Por otra parte, su curtosis no es elevada (menor a tres); por lo que eventos extremos de caídas o alzas en volúmenes no se presentan. Este comportamiento contrasta con la cantidad de tomate procesado mexicano importado por EUA; pues tiene alta curtosis (asociada a los años 2009 al 2011) y su TCPA es plana en el periodo.

Los precios del tomate fresco presentan una asimetría positiva, lo cual indica que los aumentos de precios han sido mayores que las caídas; esto a pesar de que, en el periodo de análisis, el precio del tomate importado de Canadá y el doméstico de EUA tienen una tasa de crecimiento promedio anual (TCPA) negativa; en cambio la tasa del precio del tomate fresco importado de México es positiva, aunque baja. Estos precios también tienen una curtosis elevada (mayor a tres), lo que muestra que eventos extremos de alza o caída de precios se observan con mucha frecuencia.

Los precios del tomate procesado importado de México y Canadá, y el índice de precio doméstico en EUA observan una curtosis baja (con excepción para el producto mexicano). Estos precios presentan una TCPA positiva alta para el producto canadiense y estadounidense, y baja para el producto mexicano. El ingreso disponible real per cápita en EUA y el tipo de cambio real presentan curtosis bajas, aunque EUA tiene una TCPA positiva, para México la TCPA es negativa y alta. Todas las variables analizadas no se acercan a una distribución normal Gaussiana.

La presentación en frecuencia mensual de las variables permite observar la estacionalidad anual para las cantidades importadas y precios del tomate fresco mexicano en el mercado de EUA. Dado que una proporción alta de la producción en México se realiza por agricultura protegida, la estacionalidad no obedece a eventos climáticos, sino a la programación de la producción para coincidir con la ventana de invierno. Esta estacionalidad influye en la parametrización de los modelos de regresión, que más adelante se presentan. Por lo anterior, se consideró necesario incluir las pruebas HEGY (Hylleberg *et al.*, 1990), las cuales muestran que la variable de importación de tomate fresco mexicano por el mercado de EUA presenta esta característica para los periodos anuales, semestrales, cuatrimestrales y trimestrales. Este fenómeno no se presenta para la importación de tomate procesado (véase cuadro A2 de anexos).

Cuadro 2. Estadística básica de las series en niveles

	IDR_{US}	TCR_{US}	PF_{US}	PFI_{CA}	PFI_{MX}	QF_{US}	QP_{US}	PPI_{CA}	ITP_{US}	PPI_{MX}
Media	42464	0.098	2.4	3.2	1.6	106367	1812.4	1.58	1.52	1.4
V. Máx.	61509	0.175	4.1	6.8	2.7	210433	7948.4	2.96	2.30	2.4
V. Mín.	34865	0.044	1.8	2.1	0.9	18019	184.1	0.91	1.15	0.7
Des. Est.	4765	0.039	0.3	0.8	0.2	47031	1325.4	0.38	0.26	0.3
Asimetría	0.647	0.317	1.349	1.217	0.648	-0.068	2.101	0.39	1.16	-0.25
Curtosis	2.825	1.866	6.663	4.530	5.996	2.002	4.705	0.26	1.56	3.06
J-B	21.17	20.97	256.93	102.63	132.26	12.59	494.05	8.57	96.84	3.18
Prob.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.014	0.00	0.20
TCPA (%)	1.47*	-5.52*	-0.74*	-1.42*	0.32*	5.35*	0.54	2.6*	2.03*	0.49**

Notas: Los acrónimos indican: Ingreso disponible real per cápita en EUA (IDR_{US}) en dólares; Tipo de cambio real o capacidad de compra de importaciones mexicanas del consumidor de EUA (TCR_{US}) dólares por peso; Precio promedio en ciudades de EUA de tomate fresco cultivado en campo (PF_{US}), dólares por libra; Precio de importación de tomate fresco de Canadá en el mercado de EUA (PFI_{CA}) dólares por kilo; Precio de importación de tomate fresco mexicano en el mercado de EUA (PFI_{MX}) dólares por kilo; Precio de importación de tomate procesado mexicano en el mercado de EUA (PPI_{MX}) dólares por kilo; Cantidad importada de tomate fresco mexicano en el mercado de los EUA (QF_{US}) en toneladas; Índice de precio al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US}); Cantidad importada de tomate procesado mexicano al mercado de los EUA (QP_{US}); Precio de importación tomate procesado de Canadá en el mercado de EUA (PPI_{CA}) dólares por kilo. TCPA = tasa de crecimiento promedio anual, obtenida a través de un modelo exponencial. Significativo al (*) = 99.% y (**) = 95%. Fuente: Elaboración propia.

El cuadro A3 (mostrado en los anexos) presenta los resultados de las pruebas de raíz unitaria de las series. Se emplearon las pruebas ADF y KPSS, con los supuestos de variable extrínseca constante y variable exógena con constante y tendencia. Como se puede apreciar, tres de las series son estacionarias en logaritmos de precios, así como en sus primeras diferencias. Asimismo, siete de las series son estacionarias hasta que se aplican las primeras diferencias. En virtud de que se tiene una combinación de series estacionarias en niveles y en primeras diferencias, pero ninguna es estacionaria en segundas diferencias $I(2)$, el modelo ARDL y la prueba de cotas para evaluar la cointegración o relación de largo plazo, son los más adecuados (Pesaran y Shin, 1999; Martínez-Damián *et al.*, 2024).

En los cuadros A4 y A5 de los anexos se presentan las salidas de los modelos ARDL completos para la demanda de tomate fresco y procesado (es decir, con especificación de la ecuación 3, presentada anteriormente). Cabe destacar que en estos modelos se especifica el impacto de la estacionalidad anual, así como de las variables ficticias (*dummies*) asociadas a los meses de alto y bajo volumen exportado en el modelo adecuado. Los estadísticos que evalúan la confiabilidad y robustez de los modelos ARDL estimados se presentan en el cuadro A6 de los anexos. Como se observa, el valor del estadístico de F es mayor que los valores críticos en las cotas superiores para los diferentes niveles de significancia. Esto confirma la existencia de relaciones de equilibrio de largo plazo entre las variables de los modelos. Al pie del cuadro en mención se presentan los estadísticos de autocorrelación y heterocedasticidad que indican que los residuos de ambos modelos son homocedásticos o de igual varianza y no tienen problemas de autocorrelación. La prueba Jarque-Bera no rechaza que estos residuos sean normales tipo Gauss.

La prueba de Reset de Ramsey no rechaza la hipótesis de que el modelo para el tomate procesado está bien especificado. Las gráficas A2 y A3, también en los anexos, presentan las figuras de las pruebas CUSUM y CUSUM al cuadrado; las cuales indican la estabilidad de los parámetros de los modelos en el periodo de estudio, al 95% de confianza. Estos estadísticos indican que los modelos ARDL estimados son lo suficientemente estables para analizar las implicaciones de los modelos de corto y largo plazo (Pachiyappan *et al.*, 2021; Zimon *et al.*, 2023).

4.2. Resultados de los modelos

El cuadro 3 presenta los resultados del modelo ARDL de largo plazo y los modelos cointegrantes para el tomate fresco; y el cuadro 4 los modelos para el tomate procesado. La parametrización de estos últimos siguió las especificaciones de variables *dummies* y estacionalidad del modelo ARDL correspondiente. Al pie de estos cuadros se muestran las pruebas de cointegración de los modelos FMOLS y CCR (Engle y Granger, 1987). Al tratarse de variables linealizadas en logaritmos naturales, los coeficientes representan elasticidades. Así, al incrementarse un 1% el precio promedio doméstico del tomate de los EUA, disminuye la cantidad de tomate mexicano importado por los EUA entre -0.947% y -1.12%. En otras palabras, la elasticidad es prácticamente unitaria y estos dos tipos de tomate se comportan como bienes complementarios. Si el precio del tomate importado de Canadá aumenta un 1%, aumenta la cantidad de tomate mexicano importado por los EUA en un 0.548%. Esto indica que estos productos son sustitutos; aunque este resultado no se confirma con los arrojados por los modelos cointegrantes. Al aumentar el precio del tomate mexicano importado en EUA, aumenta su demanda entre 0.594% y 0.715%. Este resultado es contraintuitivo; aunque algunos elementos pueden explicar este comportamiento. En particular el tomate mexicano es el más barato (comparado con el canadiense o el doméstico de EUA). Otro aspecto es que el tomate fresco mexicano está disponible en los meses de invierno, y el consumidor norteamericano lo compra, aunque tenga picos de precios, dado que hay menos disponibilidad del tomate fresco de Florida. Una explicación adicional puede estar ligada al acuerdo de suspensión a la investigación antidumping y daño a la industria doméstica estadounidense en 1996. Este acuerdo estableció precios mínimos desde entonces; fueron modificados posteriormente y continúan vigentes. Por debajo de estos precios acordados es posible importar tomate mexicano al mercado de EUA.

Los cambios en el ingreso real disponible per cápita en EUA no influyen en la demanda de tomate mexicano. Esto sucede a pesar de que ambas variables tienen tasas de crecimiento positivo y alto en el caso del tomate, en el periodo de estudio. En cambio, el tipo de cambio real sí tiene impacto. Así, si este aumenta un 1% (es decir la capacidad de compra de importaciones mexicanas por parte del consumidor de EUA disminuye) la demanda de tomate importado de México cae entre -1.09% y -1.353%. Esta es la estimación de elasticidad con valores más altos de entre las variables analizadas. En otras palabras, si se encarece el peso mexicano, una menor cantidad de tomate fresco mexicano se importará por el mercado de los EUA. Sin embargo, lo opuesto también aplica; una caída de esta variable, por ejemplo, en las devaluaciones del peso

mexicano frente al dólar, puede acarrear fuertes incrementos en las importaciones de tomate fresco.

Las variables *dummies* muestran lo significativa que es la caída o aumento de la cantidad demandada en los meses de baja o alta demanda; tanto en los coeficientes que modifican a la constante como a la pendiente. Destaca en esto el componente cíclico, el cual indica que la estacionalidad anual tiene un impacto en los volúmenes importados de tomate fresco. Este efecto estacional se confirma en todos los modelos empleados.

Cuadro 3. Modelo ARDL de largo plazo para tomate fresco

Variable en logaritmos naturales	ARDL		FMOLS		CCR	
	Coef.	EE	Coef.	EE	Coef.	EE
Precio de importación de tomate fresco mexicano en el mercado de EUA (PFI_{MX})	0.715***	0.220	0.594**	0.239	0.684**	0.266
Precio de importación de tomate fresco de Canadá en el mercado de EUA (PFI_{CA})	0.548**	0.272	0.280	0.257	0.456	0.313
Precio promedio en ciudades de EUA de tomate fresco cultivado en campo (PF_{US})	-0.947***	0.292	-1.032***	0.306	-1.120***	0.323
Ingreso disponible real per cápita en EUA (IDR_{US})	-1.262	0.738	-0.933	0.803	-1.193	0.854
Tipo de cambio real en EUA (TCR_{US})	-1.353***	0.208	-1.090***	0.218	-1.180***	0.236
Constante	21.415***	7.435	19.079**	8.118	21.469**	8.619
Dummy_A. Alto volumen importado /1	3.836***	1.155	-1.219	3.472	-1.769	3.753
Dummy_B. Bajo volumen importado /2	-0.120***	0.027	-0.396***	0.080	-0.375***	0.084
Especificación estacional d(l_ QF_{US} , 1, 12)	0.396***	0.047	0.329**	0.146	0.327**	0.147
Dummy_A*I_ QF_{US}	-0.303**	0.096	0.122	0.290	0.163	0.313

Notas: Variable dependiente: Cantidad importada de tomate fresco mexicano al mercado de los EUA (QF_{US}). Los asteriscos indican el rechazo de H_0 : coeficiente igual cero al (**) = 95% y (***) = 99%. Variables tipo *dummy* con: 1/ valores de 1 para los meses de enero, febrero y marzo de cada año y ceros para el resto de los meses. 2/ valores de 1 para los meses de agosto y septiembre de cada año y ceros para el resto de los meses. Valores de la prueba de cointegración para FMOLS: Phillips-Ouliaris Prob(Z=-102.37) =0.000. Para CCR: Phillips-Ouliaris Prob(t-st =-7.89) =0.000. **Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en el cuadro 4, si el precio de importación del tomate procesado mexicano aumenta un 1%, el volumen cae entre -1.011% y -1.203%. Esta alta elasticidad se puede explicar por la abundante disponibilidad de productos alternativos en el mercado de los EUA. Si el precio del tomate procesado canadiense importado por el mercado de EUA aumenta en 1%, se caen las importaciones de este producto provenientes de México entre -0.361% y -0.444%. Aunque inelástica, esto muestra que los productos son complementarios. En cambio, si el índice de precios al productor de tomate doméstico procesado sube un 1%, aumenta entre 2.01% y 2.057% la demanda del tomate mexicano procesado. El tomate procesado doméstico de EUA domina el mercado de ese país (aproximadamente el 80% de la producción doméstica se destina al procesamiento); así que subidas en precios alientan la búsqueda de alternativas importadas. Estos dos productos son sustitutos.

Si aumenta el ingreso disponible per cápita en EUA, aumenta la demanda de tomate procesado mexicano entre 2.118% y 2.404%. Las estimaciones son consistentes en el fuerte impacto que tiene esta variable en la demanda del producto. Finalmente, un incremento en el tipo de cambio real (caída en capacidad de compra de producto mexicano por consumidor de EUA) aumenta la demanda de tomate procesado de México entre 0.9% y 1.01%. Este resultado es contraintuitivo, aunque parcialmente podría explicarse por ser el producto mexicano el más barato (respecto al canadiense). Los coeficientes de las variables *dummies* muestran el impacto que tienen los meses de bajos o altos volúmenes importados; los cuales son estadísticamente significativos, tanto los que modifican a la constante como a la pendiente.

Cuadro 4. Modelo ARDL de largo plazo para tomate procesado

Variable en logaritmos naturales	ARDL		FMOLS		CCR	
	Coef.	E.E.	Coef.	E.E.	Coef.	E.E.
Precio de importación tomate procesado mexicano en el mercado de EUA (PPI_{MX})	-1.011***	0.08	-1.158***	0.088	-1.203***	0.093
Precio de importación tomate procesado de Canadá en el mercado de EUA (PPI_{CA})	-0.444***	0.12	-0.361***	0.118	-0.363***	0.127
Índice de precio al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US})	2.057***	0.23	2.010***	0.229	2.038***	0.239
Tipo de cambio real en EUA (TCR_{US})	0.90***	0.14	0.982***	0.147	1.010***	0.156
Ingreso disponible real per cápita en EUA (IDR_{US})	2.118***	0.59	2.366***	0.611	2.404***	0.659
Constante	-13.44**	5.919	-15.815**	6.164	-16.143**	6.647
<i>Dummy_N</i> 1/	-4.581***	0.74	-5.207***	0.941	-5.031***	0.960
<i>Dummy_P</i> 2/	0.752***	0.05	0.579***	0.062	0.556***	0.065
<i>Dummy_N</i> * QP_{US}	0.616***	0.12	0.697***	0.147	0.670***	0.150

Notas: Variable dependiente: Cantidad importada de tomate procesado mexicano al mercado de los EUA (QP_{US}). Los asteriscos indican el rechazo de H_0 : coeficiente igual cero al (**) = 95% y (***) = 99%. Variables tipo *dummy* con: 1/ valores de 1 para los meses de precios extremos altos en algunos años y ceros para el resto de los meses. 2/ valores de 1 para los meses de precios extremos bajos en algunos años y ceros para el resto de los meses. La definición de estas *dummies* se hizo tras observar el comportamiento de las regresiones en ejercicios de ensayo y error. Pruebas de cointegración para **FMOLS**: Park $\text{Prob}(ji^2, 2gl = 2.49) = 0.28$; Engle-Granger $\text{Prob}(Z = -234.43) = 0.00$; Phillips-Ouliaris $\text{Prob}(Z = -234.28) = 0.00$. **CCR**: Park: $\text{Prob}(ji^2, 2gl = 1.44) = 0.48$; Engle-Granger: $\text{Prob}(t = -13.9) = 0.00$; Phillips-Ouliaris $\text{Prob}(t\text{-st} = -13.92) = 0.000$. Fuente: Elaboración propia.

Los cuadros 5 y 6 presentan las pruebas de causalidad de Granger, tanto para el largo como para el corto plazo. Sólo se muestran las relaciones de causalidad de interés para este trabajo, es decir, los factores que puedan afectar la demanda de tomate mexicano fresco o procesado. En términos generales, las causalidades tipo Granger son más evidentes para el largo plazo que en el corto plazo para ambos tipos de tomate. En el caso del tomate fresco, cuatro de

cinco variables presentan causalidad; mientras que en el tomate procesado son dos de cinco. En el corto plazo, dos de cinco variables causan tipo Granger la demanda de tomate fresco; y para el procesado sólo es una de cinco. Las estimaciones de causalidad complementan los resultados de los modelos uniecuacionales ARDL (Menegaki, 2019)

Cuadro 5. Prueba de causalidad de Granger para tomate fresco

Variable	En logaritmos		En 1ers. diferencias	
	Ji ² (2gl)	Prob.	Ji ² (2gl)	Prob.
Precio de importación de tomate fresco mexicano en el mercado de EUA (PFI_{MX})	14.369	0.001	7.406	0.025
Precio de importación de tomate fresco de Canadá en el mercado de EUA (PFI_{CA})	13.795	0.001	9.058	0.011
Precio promedio en ciudades de EUA de tomate fresco cultivado en campo (PF_{US})	6.451	0.040	0.178	0.915
Ingreso disponible real per cápita en EUA (IDR_{US})	3.510	0.173	0.385	0.825
Tipo de cambio real o capacidad de compra de importaciones mexicanas del consumidor de EUA (TCR_{US})	24.365	0.000	1.161	0.560
Todas (Ji ² , 10gl)	86.349	0.000	32.608	0.000

Notas: Variable dependiente: Cantidad importada de tomate fresco mexicano al mercado de los EUA (QF_{US}). **Fuente:** Elaboración propia.

Cuadro 6. Prueba de causalidad de Granger para tomate procesado

Variable	En logaritmos		En 1ers. diferencias	
	Ji ² (2gl)	Prob.	Ji ² (3gl)	Prob.
Precio de importación tomate procesado mexicano en el mercado de EUA (PPI_{MX})	21.540	0.000	10.310	0.016
Precio de importación tomate procesado de Canadá en el mercado de EUA (PPI_{CA})	4.461	0.108	2.771	0.428
Índice de precio al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US})	21.509	0.000	1.475	0.688
Tipo de cambio real en EUA (TCR_{US})	2.845	0.241	0.804	0.849
Ingreso disponible real per cápita en EUA (IDR_{US})	0.852	0.653	4.298	0.231
Todas (Ji ² , 10gl)	36.480	0.000	22.277	0.101

Notas: Variable dependiente: Cantidad importada de tomate procesado mexicano al mercado de los EUA (QP_{US}). **Fuente:** Elaboración propia.

Los Cuadros 7 y 8 muestran qué variables explican la demanda de tomate mexicano fresco y procesado en el corto plazo en el mercado de EUA. Se trata de elasticidades mensuales, en ocasiones rezagadas uno o varios meses. Se observa que el precio del tomate fresco importado de Canadá al mercado de EUA, así como el precio doméstico del tomate en EUA influye en la cantidad demanda de tomate mexicano de manera contemporánea y en un rezago. En cuanto al

componente autorregresivo, un periodo rezagado explica la cantidad demanda de tomate de origen mexicano. El ingreso disponible per cápita en EUA no influye en el corto plazo en la demanda de tomate mexicano. Finalmente, el término de corrección de error (TEC) resultó negativo y significativo; lo cual indica que la relación de largo plazo (expresada en el cuadro 3) se corrige cada periodo mensual en un 36.9%. Las variables *dummies* que modelan el comportamiento de volúmenes altos y bajos de la exportación del tomate resultaron significativos (Boffelli y Urga, 2016); así como el componente de estacionalidad anual.

Cuadro 7. Modelo ARDL de corto plazo para tomate fresco

Variables en primeras diferencias de logaritmos naturales	Coef.	E.E.	Prob.
Cantidad importada de tomate fresco mexicano en el mercado de los EUA (QF_{US}) t(-1)	0.231	0.046	0.000
Precio de importación de tomate fresco de Canadá en el mercado de EUA (PFI_{CA})	0.407	0.073	0.000
Precio de importación de tomate fresco de Canadá en el mercado de EUA (PFI_{CA}) (t-1)	-0.185	0.084	0.028
Precio promedio en ciudades de EUA de tomate fresco cultivado en campo (PF_{US}) (t-2)	-0.209	0.130	0.109
Precio promedio en ciudades de EUA de tomate fresco cultivado en campo (PF_{US}) (t-3)	0.330	0.132	0.013
Ingreso disponible real per cápita en EUA (IDR_{US})	0.416	0.398	0.297
Especificación estacional $d(I_QF_{US}, 1, 12)$	0.396	0.046	0.000
Dummy A. Alto volumen importado /1	3.836	1.028	0.000
Dummy B. Bajo volumen importado /2	-0.120	0.023	0.000
Dummy_A*I_ QF_{US}	-0.303	0.086	0.001
Término de corrección de error (-1)	-0.369	0.031	0.000

Notas: Los valores en paréntesis son el número de rezagos. Variables tipo *dummy*, con: 1/ valores de 1 para los meses de enero, febrero y marzo de cada año y ceros para el resto de los meses. 2/ valores de 1 para los meses de agosto y septiembre de cada año y ceros para el resto de los meses. **Fuente:** Elaboración propia.

En el caso de la demanda de corto plazo del tomate procesado mexicano en el mercado americano, el modelo resultó con bajo poder explicativo. Como se observa en el cuadro 8, sólo el índice de precios al productor de tomate procesado en EUA, rezagado 3 periodos, y el tipo de cambio real en EUA con un rezago fueron significativos. La relación de largo plazo vuelve al equilibrio de manera rápida, en 84.5% cada mes, como se observa en el coeficiente del término de corrección de error. Las variables *dummies* que explican los volúmenes altos y bajos son significativas.

Cuadro 8. Modelo ARDL de corto plazo para tomate procesado

Variable en diferencias de logaritmos naturales	Coef.	E. E.	Prob
Precio de importación tomate procesado de Canadá en el mercado de EUA (PPI_{CA})	-0.170	0.126	0.176
Índice de precios al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US})	1.990	1.678	0.237
Índice de precios al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US}) (t-1)	0.691	1.648	0.676
Índice de precios al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US}) (t-2)	0.632	1.638	0.700
Índice de precios al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US}) (t-3)	-5.012	1.683	0.003
Tipo de cambio real en EUA (TCR_{US})	-0.116	0.537	0.829
Tipo de cambio real en EUA (TCR_{US}) (t-1)	-0.954	0.536	0.076
Dummy_N 1/	-4.581	0.737	0.000
Dummy_P 2/	0.752	0.046	0.000
DummyN* QP_{US}	0.616	0.115	0.000
Término de corrección de error (-1)	-0.845	0.035	0.000

Notas: Los valores en paréntesis son el número de rezagos. Variables tipo *dummy* con: 1/ valores de 1 para los meses de precios extremos altos en algunos años y ceros para el resto de los meses. 2/ valores de 1 para los meses de precios extremos bajos en algunos años y ceros para el resto de los meses. **Fuente:** Elaboración propia.

5. Discusión

El crecimiento de las importaciones de tomate mexicano por el mercado de los EUA es un fenómeno muy estudiado, tanto en sus causas como en sus efectos en ambos países (Zahniser, 2025; Duval *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2022; Guan *et al.*, 2017). De ahí la importancia que se le ha dado al análisis de la competitividad de la producción de tomate en México (Montaño-Méndez *et al.*, 2021; Bustamante-Lara *et al.*, 2022; Caamal-Cauich *et al.*, 2025). La parametrización de modelos econométricos y/o de series de tiempo para estimar la demanda de diversos productos agropecuarios y agroalimentarios en el contexto internacional se ha empleado ampliamente en la literatura académica (Hadi y Chung, 2022; Lopez y Mnatsakanyan, 2021), así como para México (González y Tinoco, 2025; Martínez-Damián, 2024). Los trabajos de Pérez *et al.*, (2017), Gómez-Gómez, (2022) y Hernández-Soto y Alcalde-Jiménez (2024) presentan modelos econométricos que analizan sistemas de ecuaciones de demanda (y oferta) para el tomate mexicano en los EUA. En este contexto, el aporte del presente trabajo es que se estiman modelos de demanda basados en la teoría del consumidor. Se emplean modelos econométricos adecuados a variables de series de tiempo, como la cointegración y modelos de corto y largo plazo. Estos elementos no son considerados en trabajos previos. Se incluye en el análisis al mercado de tomate fresco y procesado en Norteamérica, por lo que se tiene una visión más amplia del fenómeno comercial.

De acuerdo con los resultados del trabajo, el alza del precio de importación del tomate fresco mexicano en los EUA aumenta la demanda de este producto. Si se considera el tomate

procesado, el aumento de su precio disminuye su demanda (lo cual es más acorde con la teoría económica). Este comportamiento sólo se observa para el largo plazo. Por otra parte, se encontró causalidad tipo Granger de precio propio a cantidad demandada para estas variables, tanto en el largo como en el corto plazo. Al desagregar la importación de tomate mexicano por variedad y temporalidad, Li *et al.*, (2022) encuentra una relación inversa entre precio y volumen de importación por los EUA. Esta relación también es encontrada por Hernández-Soto y Alcalde-Jiménez (2024) para el tomate mexicano en el mercado norteamericano. Por su parte Forgenie y Khoiriya (2023), también encuentran esa relación inversa entre el precio relativo de importación y los volúmenes importados de alimentos por Indonesia.

En los modelos presentados, se observó que si el tipo de cambio real aumenta (equivalente a disminuir la capacidad de compra de importaciones mexicanas del consumidor de EUA) cae la cantidad demandada de tomate fresco mexicano en el largo plazo (causalidad que se confirma con la prueba de Granger); pero sube la cantidad demandada del procesado. En 1995 y 1996 se confirmó una fuerte devaluación del peso mexicano frente al dólar; y las consecuencias llevaron a la demanda antidumping de los productores de Florida en contra de las importaciones de tomate fresco de Sinaloa (Almonte-Alvarez y Conley, 2003; Pérez *et al.*, 2017) y el posterior acuerdo de suspensión por precios mínimos. Con modificaciones, resultado de las presiones por investigaciones antidumping en 2002, 2013 y 2019, el acuerdo de suspensión y los precios mínimos siguen vigentes hasta el presente. Gonzalez y Tinoco (2025) encuentran que aumentos en tipo de cambio real disminuyen la demanda de limón fresco mexicano demandado por EUA. Martínez-Damián *et al.*, (2024), encuentran que incrementos en el tipo de cambio disminuye las exportaciones agropecuarias mexicanas. Ambos impactos tienen efecto en el largo plazo. Hadi y Chung (2022) también observan que incrementos en el tipo de cambio (de moneda local con el dólar de EUA) disminuye la demanda de carne de res en Indonesia. Al ampliar la importación a todos los alimentos que realiza Indonesia, Aliyu y Ismail (2017) encuentran que al elevarse el tipo de cambio aumenta dicha importación. Por su parte, Alias *et al.*, (2012) también detectan esta relación en el caso del tomate comercializado por Malasia.

Al incrementarse el ingreso disponible real per cápita en los EUA, se observan impactos diferenciados por el tipo de tomate. En particular, no influye en la demanda de tomate fresco tanto en el largo como en el corto plazo; y en cambio sí influye considerablemente en la demanda por el procesado, tanto en el largo o corto plazos. Por otra parte, no se presenta causalidad de tipo Granger en el largo o corto plazo para este producto, sea fresco o procesado. Los resultados del tomate fresco coinciden con lo reportado por Hadi y Chung (2022) para la demanda de carne de res importada por Indonesia. Estos resultados contrastan con aquellos para los cuales el ingreso (o equivalentes como PIB per cápita, etc.) del consumidor siempre influye considerablemente en productos alimenticios demandados de origen extranjero (Forgenie y Khoiriyah, 2023; Abouhatab y Nsabimana, 2016)

El hecho indiscutible es que, durante el periodo de análisis, el incremento de las importaciones de tomate fresco mexicano desafía toda la lógica económica. No importa que haya incrementos de precio o cambios en el ingreso disponible, crisis económicas o shocks en los mercados de alimentos a nivel mundial, la importación ha seguido aumentando. Esto puede

explicarse por la temporalidad (disponibilidad en los meses de invierno) o por el bajo precio del producto de origen mexicano; esto es cuando se le compara con las alternativas domésticas o importadas de Canadá. Las crecientes importaciones y la caída de la producción doméstica, en particular de Florida (Huang *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2022) también explican las continuas controversias comerciales entre México y los EUA, en particular por precios *dumping*, acuerdos para establecer precios mínimos, etc. (Thompson, 2025; Kosse *et al.*, 2014; Estes, 2003).

6. Conclusiones

En la literatura especializada existen pocos trabajos que analizan a los mercados domésticos que demandan o importan frutas y hortalizas frescas de México. El presente trabajo propone un modelo de demanda con variables no consideradas en estudios previos sobre la comercialización de tomate mexicano. En este sentido, además de los volúmenes y precios del tomate mexicano fresco y procesado, se incluyen los precios relacionados en el mercado estadounidense (como los domésticos y de las importaciones de Canadá), el tipo de cambio y el ingreso per cápita. Se observó que estas variables impactan de manera diferenciada la demanda del tomate fresco y procesado mexicano en el mercado de los EUA. En este sentido, el presente trabajo contribuye a entender la importancia del mercado de tomate en la región de Norteamérica. En este trabajo se consideró necesario incluir al tomate procesado a pesar de que la exportación de tomate procesado mexicano es una fracción del fresco y que los EUA producen mucho tomate para procesar (80% del total cultivado). Se empleó un modelo ARDL para estimar un modelo de demanda en virtud de que los datos son mensuales del 2000 al 2024, y el interés estaba centrado en las dinámicas de largo y corto plazo.

Algunos de los resultados presentados no observaron el comportamiento predicho por la teoría económica, como la relación inversa entre precio propio y cantidad demandada, y la relación directa entre ingreso y cantidad. Se considera que la agregación de los datos de diversos tipos de tomate, así como la frecuencia mensual, podrían explicar esto, al igual que características propias del mercado integrado del tomate de América del Norte, como la dominancia del tomate mexicano en la temporada de invierno en los EUA y un menor precio relativo. En estudios posteriores deberán considerarse estos elementos. Los modelos de corto plazo presentaron componentes no significativos, por lo que en trabajos posteriores sería necesario parametrizar modelos SARIMAX o ARIMAX para una más adecuada caracterización del comportamiento en el corto plazo de los modelos de demanda.

A pesar de que en algunos trabajos académicos surgen dudas prospectivas sobre los volúmenes exportados de tomate fresco mexicano (saturación de mercado, controversias comerciales, renegociación de tratados comerciales, etc.), el mercado estadounidense ha mostrado un enorme apetito por este producto. Para satisfacer esta demanda, los productores mexicanos cuentan con ventajas comparativas como mayor disponibilidad de mano de obra y la ventana del mercado de invierno. Estas se complementan con las ventajas competitivas, tales

como el desarrollo tecnológico en producción y el logístico de transporte, así como por la dominancia de empresas oligopólicas.

Referencias

- Abouhatab, A. y A. Nsabimana. 2016. "A dynamic analysis of Egyptian orange exports to Russia: a co-integration analysis". *Agricultural Economics Review*, 17(2): 38-54. <https://pub.epsilon.slu.se/id/document/14754059>
- Adom, P. K., K. Amakye, C. Barnor, y G. Quartey, 2015. "The long-run impact of idiosyncratic and common shocks on industry output in Ghana". *OPEC Energy Review*, 39(1): 17-52. DOI: 10.1111/opec.12039
- Agbo, H. M. S. 2022. "Determinants of Egypt's food imports based on vector error-correction model (VECM)". *European Journal of Sustainable Development*, 11(3): 137-148 DOI: 10.14207/ejsd.2022.v11n3p137
- Alias, E. F., A. H. Baharom, I. Ismail, I. y A. Radam, 2012. "The Impact of exchange rate on tomato trade: evidence from Malaysia". *Asian Social Science*, 8(6): 20-25. DOI: 10.5539/ass.v8n6p20
- Aliyu, A. J. y N. W. Ismail, 2017. "Food imports and exchange rate: the application of dynamic cointegration framework". *Malaysian Journal of Mathematical Sciences*, 11(S): 101-114. [https://mjms.upm.edu.my/fullpaper/2017-February-11\(S\)/Normaz%20Wana%20Ismail-101-114.pdf](https://mjms.upm.edu.my/fullpaper/2017-February-11(S)/Normaz%20Wana%20Ismail-101-114.pdf)
- Almonte-Álvarez, J. y D. M. Conley, 2003. "US-Mexico food system and the tomato trade dispute". *International Food and Agribusiness Management Review*, 5(3), 1-11. DOI: 10.22004/ag.econ.34336
- Bhattacharya, P. 2019. "Determinants of export competitiveness of fresh fruits in India". *International Journal of Sustainable Economy*, 11(1): 61-80. DOI: 10.1504/IJSE.2019.096567
- Boffelli, S. y Urga, G. (2016). *Financial econometrics using Stata*. College Station, TX: Stata Press. <https://surveydesign.com.au/preview/feus-preview.pdf>
- Borja-Bravo, M., J. A. García-Salazar y R. K. Skaggs. 2013. "Mexican fresh tomato exports in the North American market: a case study of the effects of productivity on competitiveness". *Canadian Journal of Plant Science*, 93(5): 839-850. DOI: 10.4141/CJPS2012-108
- Bustamante-Lara, T., F. García-González, J. M. Vargas Canales, y M. León-Andrade. 2022. "Efectos del comercio internacional en la especialización y competitividad de jitomate (*Solanum Lycopersicum* Mill.) en México (1980-2016)". *Paradigma económico*, 14(1): 181-206. DOI: 10.36677/paradigmaeconomico.v14i1.17840
- Caamal-Cauich, I., M. Fonseca-Varela, D. A. Reyna-Izaguirre, V. G. Pat-Fernández y J. A. Ávila-Dorantes. 2025. "Determinants of the competitiveness of Mexican export tomatoes". *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 16(6): e3810. DOI: 10.29312/remexca.v16i6.3810
- Canales, E., G. Andrango y A. Williams. 2019. "Mexico's agricultural sector: production potential and implications for trade". *Choices*, 34(3): 1-12. DOI: 10.22004/ag.econ.292354
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas Ifigenia Martínez [CEFP]. 2025. Aranceles al tomate: su impacto fiscal. *NotaCEFP* (074). <https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2025/notacefp0742025.pdf>
- Chanda, S., M. Bhat, K.G. Shetty y K. Jayachandran. 2021. "Technology, policy, and market adaptation mechanisms for sustainable fresh produce industry: the case of tomato production in Florida, USA". *Sustainability*, 13(11), 5933. DOI: 10.3390/su13115933

- Charlton, D., J.E. Taylor, S. Vougioukas, y Z. Rutledge. 2019. "Can wages rise quickly enough to keep workers in the fields?" *Choices*, 34(2): 1-7. DOI: 10.22004/ag.econ.288634
- Cui, X., Z. Guan, K. L. Morgan, K-M. Huang, y A. M. Hammami. 2022. "Multitiered fresh produce supply chain: the case of tomatoes". *Horticulturae*, 8(12), 1204. DOI: 10.3390/horticulturae8121204
- Dogan, E. y F. Seker. 2016. "The influence of real output, renewable and non-renewable energy, trade and financial development on carbon emissions in the top renewable energy countries". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 1074–1085. DOI: 10.1016/j.rser.2016.02.006
- Duval, D., A. K. Bickel, y G. Frisvold. 2018. *Mexican fresh tomatoes: agribusiness value chain contributions to the U.S. economy*. Tucson: The University of Arizona, Department of Agricultural and Resource Economics. <http://hdl.handle.net/10150/678033>
- Engle, R. F. y C. J. W. Granger. 1987. "Cointegration and error correction: representation, estimation and testing". *Econometrica*, 55(2): 251–276. DOI: 10.2307/1913236
- Estes, E. A. 2003. "Tomato wars: a discussion of how international trade, structural changes and competitiveness affect the North America produce industry". *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 35(2): 313-319.
- Evans, E., y S. Nalampang. 2009. "Forecasting price trends in the U.S. avocado (*Persea americana* Mill.) market". *Journal of Food Distribution Research*, 40(2): 37-46. DOI: 10.22004/ag.econ.99786
- Federal Reserve Bank of St. Louis. *FRED: your trusted source for economic data since 1991*. St Louis, MO: Federal Reserve Bank of St. Louis. <https://fred.stlouisfed.org>
- Federal Reserve Bank of St. Louis. *Producer price index by commodity: processed foods and feeds: canned catsup and other tomato-based sauces, WPU02440127*. St. Louis, MO: FRED. <https://fred.stlouisfed.org/series/WPU02440127>
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura [FIRA]. *Agrocostos Interactivo*. México: FIRA, Banco de México. <https://www.fira.gob.mx/agrocostosApp/AgroApp.jsp>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). Food and agriculture data. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Forgenie, D. y N. Khoiriyah, N. 2023. "Analyzing food import demand in Indonesia: an ARDL bounds testing approach". *International Journal of Food and Agricultural Economics*, 11(1): 1-15. DOI: 10.22004/ag.econ.330861
- Global Agricultural Trade System [GATS]. 2026. *GATS home*. Washington, DC: United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. <https://apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx>
- Gómez-Gómez, A. A., N. Hernández-Mendoza y C. E. Luquez-Gaitán. 2022. "Commercial dynamics of Mexican tomato in the framework of the USMCA: an analysis of trade with the United States using the gravity model". *Agro Productividad*, 15(8): 13-21. DOI: 10.32854/agrop.v15i8.2190
- González Sánchez, R. F. y M. A. Tinoco Zermeño. 2025. "Factores que influyen en la demanda y contagio de volatilidad del limón de origen mexicano importado por el mercado de los EUA". *Avances en Investigación Agropecuaria*, 29: 3-23. DOI: 10.53897/RevAIA.25.29.01
- Govindasamy, R., R. F. Ceylan y B. Özkan. 2025. "Global tomato production: price sensitivity and policy impact in Mexico, Türkiye, and the United States". *Horticulturae*, 11(1), 84. DOI: 10.3390/horticulturae11010084
- Guan, Z., T. Biswas y F. Wu. 2017. *The US tomato industry: an overview of production and trade: FE1027, 9/2017*. Gainesville, FL: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences. DOI: 10.32473/edis-fe1027-2017

- Hadi, S. N. y R. H. Chung, 2022. "Estimation of demand for beef imports in Indonesia: an Autoregressive Distributed Lag (ARDL) approach". *Agriculture*, 12(8): 1212. DOI: 10.3390/agriculture12081212
- Hernández-Soto, D. y M. E. Alcalde-Jiménez. 2024. "Un análisis de la competitividad del tomate mexicano en el mercado de Estados Unidos". *GCG: Revista de Globalización, Competitividad y Gobernabilidad*, 18(3): 51-68. DOI 10.58416/GCG.2024.V18.N3.03
- Huang, K-M., Z. Guan y A. M. Hammami. 2022. "The US fresh fruit and vegetable industry: an overview of production and trade". *Agriculture*, 12(10): 1719. DOI: 10.3390/agriculture12101719
- Hylleberg, S., R. F. Engle, C. W. J. Granger, y B. S. Yoo. 1990. "Seasonal integration and cointegration". *Journal of Econometrics*, 44(1-2): 215-238. DOI: 10.1016/0304-4076(90)90080-D
- Johnecheck, W. A., P. E. Wilde y J. A. Caswell. 2010. "Market and welfare impacts of COOL on the US-Mexican tomato trade". *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 35(3): 503-521. <http://www.jstor.org/stable/23243069>
- Kosse, E. J., S. Devadoss y J. Luckstead. 2014. "US-Mexico tomato dispute". *Journal of International Trade Law and Policy*, 13(2): 167-184. DOI: 10.1108/JITLP-10-2013-0031
- Kripfganz, S. y D. C. Schneider. 2022. "ARDL: Estimating autoregressive distributed lag and equilibrium correction models". Tohoku University. Research Center for Policy Design. *Discussion Paper TUPD-2022-006*. <https://www2.econ.tohoku.ac.jp/~PDesign/dp/TUPD-2022-006.pdf>
- Li, S., F. Wu, Z. Guan y T. Luo. 2022. "How trade affects the US produce industry: the case of fresh tomatoes". *International Food and Agribusiness Management Review*, 25(1): 121-134. DOI: 10.22434/IFAMR2021.0005
- Lopez, J. A. y H. Mnatsakanyan. 2021. "A case study of avocado, berry, and apple trade through NAFTA". *Texas Journal of Agriculture and Natural Resources*, 34: 55-74. <https://txjanr.agintexas.org/index.php/txjanr/article/view/421>
- Martínez-Damián, M. Á., A. L. Rivera-Silva y V. Á. Hernández-Trejo. 2024. "Structural and stochastic behavior of Mexican agricultural exports". *Agrociencia*, 58(7): 1-10. DOI: 10.47163/agrociencia.v58i7.3210
- Menegaki, A. N. 2019. "The ARDL method in the energy-growth nexus field: best implementation strategies". *Economies*, 7(4): 105. DOI: 10.3390/economies7040105
- Montaño-Méndez, I. E., I. N. Valenzuela-Patrón y K. V. Villavicencio-López. 2021. "Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003-2017". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (12)7: 1185-1197. DOI: 10.29312/remexca.v12i7.2531
- Ogunjobi, J. O., O. A. Oladipo, O. Eseyin, O. Opaola e I. J. Aransiola. 2022. "Exchange rate and agricultural exports: evidence from Nigeria (1981-2019)". *International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI)*, 9(4): 89-101.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. 2025. FAOStat. Roma: FAO. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Orona-Castillo, I., C. L. Del Toro Sánchez, M. Fortis-Hernández, P. Preciado-Rangel, J. J. Espinoza Arellano J., E. Rueda-Puente. M. Flores-Vázquez y P. Cano-Ríos. 2022. "Indicadores técnico-económicos de la producción del cultivo de tomate bajo agricultura protegida en la Comarca Lagunera, México". *Biotechnia*. 24(3): 70-76. DOI: 10.18633/biotechnia.v24i3.1721
- Pachiyappan, D., Y. Ansari, M. S. Alam, P. Thoudam, K. Alagirisamy y P. Manigandan. 2021. "Short and long-run causal effects of CO2 emissions, energy use, GDP and population growth: evidence from India using the ARDL and VECM approaches". *Energies*, 14(24), 8333. DOI: 10.3390/en14248333

- Padilla-Bernal, L. E., D. D. Thilmany y M.L. Loureiro. 2003. "An empirical analysis for market integration and efficiency of U.S. fresh tomato markets". *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 28(3): 435-450. <https://www.jstor.org/stable/40987960>
- Park, J. Y. 1992. "Canonical cointegrating regressions". *Econometrica*, 60(1): 119-143. DOI: 10.2307/2951679
- Pattak, D. C., F. Tahrim, M. Salehi, L. C. Voumik, S. Akter, M. Ridwan, B. Sadowska y G. Zimon. 2023. "The driving factors of Italy's CO2 emissions based on the STIRPAT model: ARDL, FMOLS, DOLS, and CCR approaches". *Energies*, 16(15), 5845. DOI: 10.3390/en16155845
- Pérez, M. P., L. A. Ribera y M. A. Palma. 2017. "Effects of trade and agricultural policies on the structure of the U.S. tomato industry". *Food Policy*, 69: 123-134. DOI: 10.1016/j.foodpol.2017.03.011
- Pesaran M. H. y Y. Shin. 1999. "An autoregressive distributed lag modeling approach to co-integration analysis". En S. Strøm (ed.). *Econometrics and economic theory in the 20th Century*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. DOI: 10.1017/ccol521633230.011
- Pesaran, M. H., Y. Shin y R. J. Smith. 2001. "Bounds testing approaches to the analysis of level relationships". *Journal of applied econometrics*, 16(3): 289-326.
- Pindyck, R. S. y D. L. Rubinfeld. 1992. *Microeconomics*. 2 ed. New York: Macmillan.
- Phillips, P. C. B. y B. E. Hansen. 1990. "Statistical inference in instrumental variables regression with I(1) processes". *Review of Economic Studies* 57(1): 99-125. DOI: 10.2307/2297545
- Priyankara, E. A. C. 2018. "The long-run effect of services exports on total factor productivity growth in Sri Lanka: based on ARDL, FMOLS, CCR, and DOLS approaches". *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 8(6), 216-232. DOI: 10.6007/IJARBS/v8-i6/4180
- Rueda-Puente, E. O., M. Arvizu-Armenta y C. G. Borbón-Morales. 2024. "Determining co-movements of tomato prices in the United States and macroeconomic variables in Mexico for 2023". *Agro Productividad*, 17(7): 123-131. DOI: 10.32854/agrop.v17i7.2811
- Sarihan, A. Y. 2024. "A study on the effect of imported wheat prices on Türkiye's pasta exports: ARDL approach". *Ekonomika*, 103(2): 45-65. DOI: 10.15388/Ekon.2024.104.2.3
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2025. *Panorama agroalimentario 2025: fortaleciendo la estadística agroalimentaria desde la raíz*. México: SADER. https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/2025.pdf
- Thompson, R. L. 2025. "Navigating uncertainty: Trump and the changing U.S. policy for agri-food trade". *Studies in Agricultural Economics*, 127(2): 117-127. DOI: 10.7896/j.3230
- United States International Trade Commission [USITC]. 2011. *Monitoring of U.S. imports of tomatoes: investigation No. 332-350*. (USITC publication, 4048). <https://www.govinfo.gov/app/details/GOVPUB-ITC1-PURL-gpo13650>
- Wang, Q. y N. Wu. 2012. "Long-run covariance and its applications in cointegration regression". *The Stata Journal*, 12(3): 515-542. DOI: 10.1177/1536867X1201200312
- Zahniser, S. 2022. "COVID-19 working paper: U.S.-Mexico agricultural trade in 2020". *COVID-19 Working Paper, AP-97*. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details?pubid=103087>
- Zahniser, S. 2025. "U.S. horticultural imports from Mexico: 14 years of expansion from 2007-09 to 2021-23". *Economic Brief (48)*. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. DOI: 10.22004/ag.econ.371448
- Zimon, G., D. C. Pattak, L. C. Voumik, S. Akter, F. Kaya, R. Walasek y K. Kochański. 2023. "The impact of fossil fuels, renewable energy, and nuclear energy on South Korea's environment based on the STIRPAT model: ARDL, FMOLS, and CCR approaches". *Energies*, 16(17): 6198. DOI: 10.3390/en16176198

Anexos

Cuadro A1. Estudios de comercio internacional del tomate mexicano

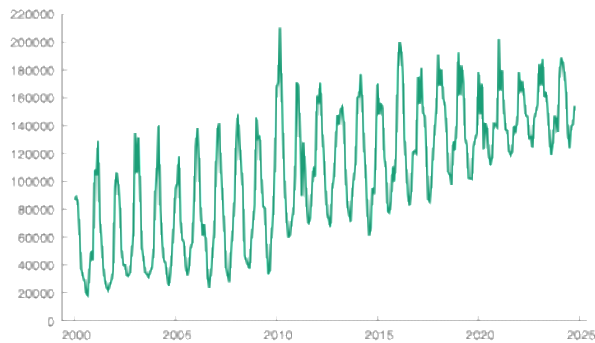
Autores	Modelo y datos	Principales resultados o conclusiones
Gómez-Gómez <i>et al.</i> (2022)	Modelo gravitacional con mínimos cuadrados generalizados. 1994 a 2020 datos anuales	El modelo supone que otros factores diferentes a la implementación del TLCAN influyen en el comercio de tomate de México y EUA. El ingreso nacional per cápita de EUA (proxi de riqueza) incrementa el comercio de tomate entre los países. Un incremento de la producción de tomate en EUA decrementa el comercio del producto; mientras que el aumento en el consumo de EUA aumenta el comercio.
Pérez <i>et al.</i> (2017)	Modelo VAR, con IRF y FVED con análisis de cambios estructurales. Datos mensuales de 1970 a 2014.	La importación de tomate mexicano ha influido considerablemente en la industria de tomate en EUA; tanto en la producción y precio domésticos como en las exportaciones de este país. El impacto del TLCAN fue mayor en el comercio de tomate que la devaluación de 1994-1995.
Govindasamy <i>et al.</i> (2025)	Metodología de respuesta a la oferta con modelo VEC. Datos anuales de 1991 a 2022.	Los precios domésticos tienden a incrementar la producción (oferta) en México, Turquía y los EUA; aunque con diferente intensidad. Los apoyos gubernamentales a la producción en cada país impactan positivamente la producción en el corto plazo.
Borja-Bravo <i>et al.</i> (2013)	Modelo espacial e inter temporal. Diversas fuentes de datos, incluyendo fuentes secundarias.	El modelo predice que el aumento en la productividad del tomate fresco mexicano aumentará la exportación de este producto al mercado de EUA; y que la participación de mercado del producto doméstico de EUA y de las importaciones de Canadá se reducirá. Esto se alinea con las tendencias observadas de mayor tecnificación (agricultura protegida, uso de nuevas variedades y riego tecnificado) en la producción de tomate en México.
Rueda-Puente <i>et al.</i> (2023)	Correlación de Pearson. Periodo 2010 a 2022 con frecuencia trimestral.	Existe correlación entre el precio del tomate de origen mexicano en diferentes ciudades de EUA y Canadá y el PIB, la tasa interbancaria de equilibrio, la inflación en México y el precio del gas natural.
Cui <i>et al.</i> (2022)	Análisis descriptivo. Datos de precios, de producción, etc., anuales, trimestrales o mensuales de 2000 a 2021	Hay una tendencia hacia la integración del sistema producción-distribución-consumo de tomate en Norteamérica (Canadá, EUA y México), así como hacia el desplazamiento del tomate fresco de Florida por importaciones mexicanas. Los diferenciales de precios y la temporalidad anual favorecen al tomate de diferentes orígenes en el mercado de EUA. Las preferencias del consumidor en EUA impactan en el desarrollo de nuevas variedades y disponibilidad en todo el año.

Hernández-Soto y Alcalde-Jiménez (2024).	Ecuaciones simultáneas con MCO en tres etapas. Periodo 1989 a 2022 con frecuencia anual.	Este método simula un escenario donde un incremento de tomate mexicano exportado a EUA provoca una caída de precio de exportación y un incremento de la rentabilidad de los estados productores mexicanos (evaluada como aumento en la relación beneficio-costos) entre 1.4 y 3.9% para un año base 2022.
Li <i>et al.</i> (2022)	Sistema de demanda inversa generalizada. Datos semanales de enero de 2014 a diciembre de 2019.	Los resultados, basados en simulaciones estadísticas, indican que un incremento en las importaciones de tomate mexicano (en variedades roma y redondo) causan pérdidas a la industria del tomate fresco de Florida, EUA.

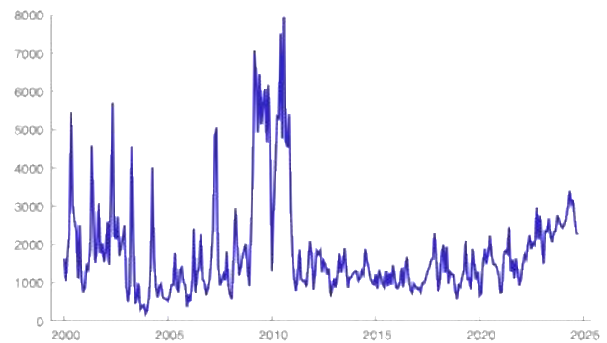
Fuente: Elaboración propia

Gráfica A1. Variables empleadas en los modelos

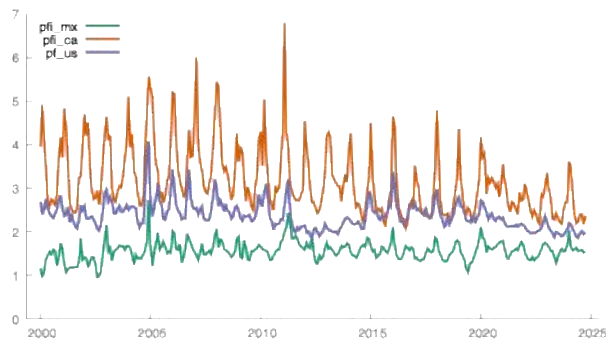
a) Cantidad importada de tomate fresco mexicano por los EUA



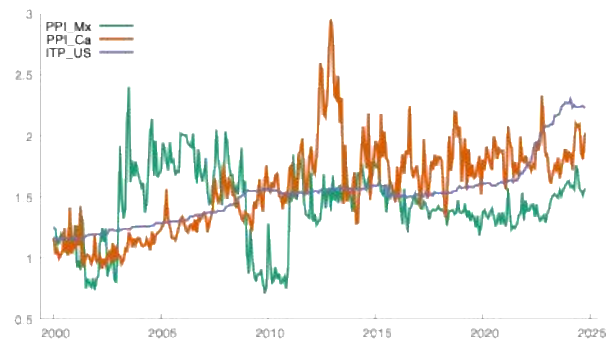
b) Cantidad importada de tomate procesado mexicano por los EUA



c) Precio de importación de tomate fresco



d) Precio de importación de tomate procesado



e) Tipo de cambio real



f) Ingreso disponible real per cápita en EUA



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A2. Pruebas de estacionalidad HEGY para tomate fresco y procesado

Frecuencias	Cantidad importada fresca		Cantidad importada procesada		Valor crítico al 5%
	$d(I_qfmx,1,0)$	$d(I_qfmx,1,12)$	$d(I_qpmx,1,0)$	$d(I_qpmx,1,12)$	
Cero 0	-6.12***	-5.04***	-5.87**	-7.43***	-1.93
$2\pi/12$ y $22\pi/12$	2.63	19.54**	10.94**	43.28***	8.36
$4\pi/12$ y $20\pi/12$	4.75	16.22**	9.22**	52.92***	8.36
$6\pi/12$ y $18\pi/12$	6.86	20.52**	15.13**	43.30***	8.36
$8\pi/12$ y $16\pi/12$	6.89	18.84**	22.48**	44.20***	8.36
$10\pi/12$ y $14\pi/12$	3.77	29.90**	28.55**	59.05***	8.36
Pi (π)	-2.84**	-4.74***	-5.34***	-7.38***	-1.93
Todas estacionales	5.82	29.98***	20.41**	71.98***	7.71
Todas	10.44**	61.70***	25.20**	76.87***	7.15

Notas: La H_0 : Existe de raíces unitarias en las frecuencias estacionales y en la frecuencia cero. Se rechaza H_0 al 95% (**) y al 99% (***). **Fuente:** Elaboración propia.

En la primera columna, se puede destacar que: $2\pi/12 = \pi/6$; indica frecuencia anual; $4\pi/12 = \pi/3$ o frecuencia semestral; $6\pi/12 = \pi/2$ es asociada a la frecuencia cada 4 meses; $8\pi/12 = 2\pi/3$ es indicativo de frecuencia trimestral y Pi (π) indica frecuencia bimensual. Por tanto y con base en la segunda columna se puede afirmar que cada año, semestre, cuatrimestre y trimestre la cantidad importada de tomate mexicano fresco presenta estacionalidad. Este fenómeno estacional no se detecta en la importación de tomate mexicano procesado.

Cuadro A3. Pruebas de raíz unitaria

Variable	Test	Logaritmos		1er diferencias de logs		Conclu- sión
		Cte 1/	C y T 2/	Cte 1/	C y T 2/	
Ingreso disponible real per cápita en EUA (IDR_{US})	ADF	-1.08	-6.95*	-50.90***	-50.71***	I(1)
	KPSS	1.96***	0.25***	0.11	0.11	
Tipo de cambio real en EUA (TCR_{US})	ADF	-1.06	-2.38	-12.84***	-12.82***	I(1)
	KPSS	1.9856***	0.14**	0.07	0.06	
Precio de importación tomate fresco de Canadá en el mercado de EUA (PFI_{CA})	ADF	-0.94	-2.75	-9.63***	-9.65***	I(1)
	KPSS	2.05***	0.18**	0.13	0.13	
Precio de importación tomate fresco mexicano en el mercado de EUA (PFI_{MX})	ADF	-8.96***	-9.02***	-15.70***	-15.68***	I(0) / I(1)
	KPSS	0.42**	0.28***	0.18	0.09	
Precio promedio en ciudades de EUA de tomate fresco cultivado en campo (PF_{US})	ADF	-7.29***	-8.33***	-11.12***	-11.12***	I(0) / I(1)
	KPSS	0.95***	0.14	0.14	0.13	
Cantidad importada de tomate fresco mexicano al mercado de los EUA (QF_{US})	ADF	-1.42	-2.26	-9.09***	-9.14***	I(1)
	KPSS	2.44***	0.19**	0.05	0.04	
Cantidad importada de tomate procesado mexicano al mercado de los EUA (QP_{US})	ADF	-2.46	-2.49	-10.39***	-10.39***	I(1)
	KPSS	0.12***	0.11**	0.08	0.07	
Precio de importación tomate procesado mexicano en el mercado de EUA (PPI_{MX})	ADF	-2.99**	-3.00	-8.55***	-8.54***	I(0) / I(1)
	KPSS	0.12***	0.09	0.03	0.03	
Precio de importación tomate procesado de Canadá en el mercado de EUA (PPI_{CA})	ADF	-2.09	-3.32	-9.67***	-9.66***	I(1)
	KPSS	1.61***	0.35***	0.02	0.02	
Índice de precio al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US})	ADF	-0.07	-1.71	-4.79***	-4.82***	I(1)
	KPSS	1.68***	0.18**	0.24	0.16**	

Notas: ADF = Dickey-Fuller Aumentada. KPSS = Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin. Para la prueba ADF la hipótesis nula es que existe raíz unitaria o que la variable no es estacionaria. Para KPSS la hipótesis nula es que la variable es estacionaria. Los asteriscos indican el rechazo de H_0 al (**) = 95% y (***) = 99%. Supuestos de las pruebas: 1/ variable extrínseca constante, 2/ Variable exógena con constante y tendencia. Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A4. Modelo ARDL (2, 0, 2, 2, 1, 0) para tomate fresco

Variable en logaritmos	Coef.	E.E.	Prob.
Cantidad importada de tomate fresco mexicano al mercado de los EUA (QF_{US}) (t-1)	0.862	0.052	0.000
Cantidad importada de tomate fresco mexicano al mercado de los EUA (QF_{US}) (t-2)	-0.231	0.048	0.000
Precio de importación tomate fresco mexicano en el mercado US (PFI_{MX})	0.263	0.077	0.001
Precio de importación tomate fresco de Canadá en el mercado US (PFI_{CA})	0.407	0.096	0.000
Precio de importación tomate fresco de Canadá en el mercado US (PFI_{CA}) (t-1)	-0.390	0.104	0.000
Precio de importación tomate fresco de Canadá en el mercado US (PFI_{CA}) (t-2)	0.185	0.089	0.038
Precio promedio en ciudades de EUA de tomate fresco cultivado en campo (PF_{US})	-0.209	0.152	0.170
Precio promedio en ciudades de EUA de tomate fresco cultivado en campo (PF_{US}) (t-1)	0.190	0.195	0.331
Precio promedio en ciudades de EUA de tomate fresco cultivado en campo (PF_{US}) (t-2)	-0.330	0.152	0.031
Ingreso disponible real per cápita en EUA (IDR_{US})	0.416	0.427	0.330
Ingreso disponible real per cápita en EUA (IDR_{US}) (t-1)	-0.882	0.423	0.038
Tipo de cambio real en EUA (TCR_{US})	-0.499	0.087	0.000
Especificación estacional $d(I_QF_{US}, 1, 12)$	0.396	0.047	0.000
Dummy A. Alto volumen importado /1	3.836	1.155	0.001
Dummy B. Bajo volumen importado /2	-0.120	0.027	0.000
Dummy_A*I_ QF_{US}	-0.303	0.096	0.002
Constante	7.894	2.774	0.005

Notas: Los valores en paréntesis son el número de rezagos. Variables tipo *dummy*, con: 1/ valores de 1 para los meses de enero, febrero y marzo de cada año y ceros para el resto de los meses. 2/ valores de 1 para los meses de agosto y septiembre de cada año y ceros para el resto de los meses. Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A5. Modelo ARDL (1,0,1,4,2,0) para tomate procesado

Variable en logaritmos	Coef.	E.E.	Prob.
Cantidad importada de tomate procesado mexicano al mercado de los EUA (QP_{US})(t-1)	0.155	0.036	0.000
Precio de importación tomate procesado mexicano en el mercado US (PPI_{MX})	-0.855	0.082	0.000
Precio de importación tomate procesado de Canadá en el mercado US (PPI_{CA})	-0.170	0.137	0.214
Precio de importación tomate procesado de Canadá en el mercado US (PPI_{CA}) (t-1)	-0.205	0.137	0.137
Índice de precio al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US})	1.990	1.735	0.252
Índice de precio al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US}) (t-1)	0.438	2.471	0.859
Índice de precio al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US}) (t-2)	-0.059	2.456	0.981

Índice de precio al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US}) (t-3)	-5.644	2.480	0.024
Índice de precio al productor de tomate procesado en EUA (ITP_{US}) (t-4)	5.012	1.754	0.005
Tipo de cambio real en EUA (TCR_{US})	-0.116	0.550	0.833
Tipo de cambio real en EUA (TCR_{US}) (t-1)	-0.077	0.879	0.930
Tipo de cambio real en EUA (TCR_{US}) (t-2)	0.954	0.549	0.084
Ingreso disponible real per cápita en EUA (IDR_{US})	1.790	0.496	0.000
Dummy_N 1/	-4.581	0.758	0.000
Dummy_P 2/	0.752	0.053	0.000
DummyN* QP_{US}	0.616	0.118	0.000
Constante	-11.355	4.990	0.024

Notas: Los valores en paréntesis son el número de rezagos. Variables tipo *dummy* con: 1/ valores de 1 para los meses de precios extremos altos en algunos años y ceros para el resto de los meses. 2/ valores de 1 para los meses de precios extremos bajos en algunos años y ceros para el resto de los meses. Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A6. Prueba de cotas y estadísticas de robustez del modelo

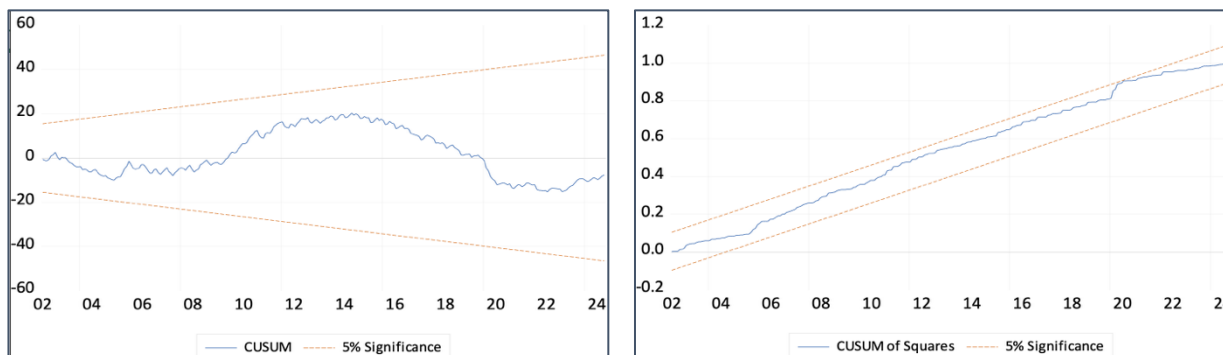
Modelo con variable dependiente	Prueba F de cotas		Sig.	I(0) cota inferior	I(1) Cota superior
Cantidad importada de tomate fresco mexicano al mercado de los EUA (QF_{US}).	Estadística de F	19.7	10%	2.08	3
			5%	2.39	3.38
	Núm. de var. (k)	5	1%	3.06	4.15
Cantidad importada de tomate procesado mexicano al mercado de los EUA (QP_{US})	Estadística de F	56.8	10%	2.26	3.35
			5%	2.62	3.79
	Núm. de var. (k)	5	1%	3.41	4.68

Datos para modelo QF_{US} : Pruebas de diagnóstico Harvey: $\text{Prob}[\chi^2(16 \text{ gl}) = 15.005] = 0.5242$. ARCH: $\text{Prob}[\chi^2(10 \text{ gl}) = 3.375] = 0.9712$. BG_LM: $\text{Prob}[\chi^2(2 \text{ gl}) = 4.019] = 0.3373$. RESET: $\text{Prob}[F^1_{267} = 62.78] = 0.00$. JB: $\text{Prob}[\text{JB} = 0.344] = 0.841$.

Datos para modelo QP_{US} : Pruebas de diagnóstico. BPG: $\text{Prob}[\chi^2(17 \text{ gl}) = 21.99] = 0.185$. White: $\text{Prob}[\chi^2(121 \text{ gl}) = 119.07] = 0.533$. BG_LM: $\text{Prob}[\chi^2(2 \text{ gl}) = 2.173] = 0.134$. RESET: $\text{Prob}[F^1_{265} = 2.328] = 0.1283$. JB: $\text{Prob}[\text{JB} = 0.928] = 0.628$.

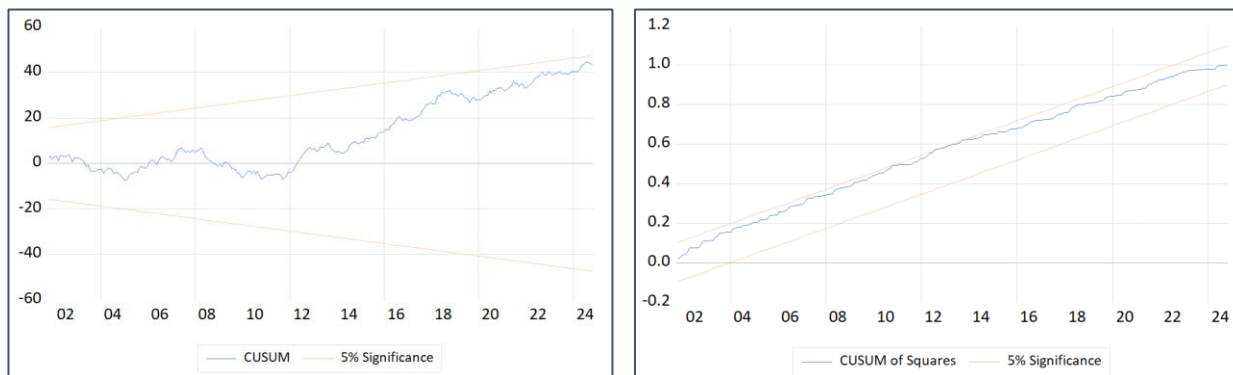
Notas: Pruebas de heterocedasticidad: Harvey: Prueba LM tipo Harvey, ARCH: Prueba tipo ARCH – LM, BPG: Breusch-Pagan-Godfrey y prueba de White. BG_LM: Prueba de correlación serial de Breusch-Godfrey LM. RESET: Diagnóstico de estabilidad en la prueba RESET de Ramsey. JB: prueba de normalidad de los residuos. Fuente: Elaboración propia.

Gráfico A2. Pruebas de estabilidad del parámetro para modelo ARDL de tomate fresco



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico A3. Pruebas de estabilidad del parámetro para modelo ARDL de tomate procesado



Fuente: Elaboración propia.