Demanda de aguacate mexicano en EUA. Relación de equilibrio de corto y largo plazo y contagio de volatilidad de mercados

Demand for Mexican avocados in the USA: Short- and long-run equilibrium relationships and market volatility spillover

*Renato Francisco González Sánchez**
Universidad de Colima, México
refrgosa@ucol.mx
https://orcid.org/0000-0003-0737-2838

Víctor Hugo Torres Preciado
Universidad de Colima, México
torrespreciado@ucol.mx
https://orcid.org/0000-0003-0501-0913

https://doi.org/10.30878/ces.v33n0a57

Registro: 30 de enero de 2025
Aceptación: 14 de agosto de 2025
Publicación postprint: 27 de enero de 2026

CC BY NC ND

Resumen
Se analizan los determinantes de la demanda de aguacate Hass mexicano en los EUA, así como el contagio de volatilidad de mercados locales en México y de exportación de aguacate con la inseguridad. Se emplean modelos de series de tiempo como el ARDL y el MGARCH-BEKK. La demanda del aguacate mexicano aumenta con la reducción del tipo de cambio y con el aumento del ingreso per cápita real del consumidor de EUA. El aguacate de República Dominicana es un producto complementario con el mexicano en ese mercado. El contagio de volatilidad de mercados se observa principalmente en la volatilidad persistente entre los mercados de aguacate mexicano y la variable de inseguridad en México.

Palabras clave: comercio de aguacate, modelos ARDL, contagio de volatilidad.

Abstract
This study analyzes the determinants of the demand for Mexican Hass avocados in the USA, as well as the volatility spillover from local markets in Mexico and avocado exports to insecurity. Time series models, specifically ARDL and MGARCH-BEKK, are employed. The demand for Mexican avocados increases with a decrease in the exchange rate and with an increase in the real per capita income of US consumers. Dominican Republic avocados are found to be a complementary product for Mexican avocados in that market. Volatility spillover is primarily observed as persistent volatility between the Mexican avocado markets and the insecurity variable in Mexico.

Keywords: avocado trade, ARDL model, volatility spillover.

Introducción

Los Estados Unidos de América (EUA) es el principal país importador de aguacate en el mundo y México es su principal proveedor. Por ejemplo, en 2023 nuestro país proveyó el 83% de las importaciones de aguacate Hass de los EUA (Data México, 2023). Esta situación se explica por varios factores: *a*) alta calidad percibida por el consumidor norteamericano respecto del aguacate mexicano, *b*) imagen de salud en el consumo de aguacate y su empleo en distintos platillos en restaurantes, *c*) aumento de la población mexicana y del Caribe y su afluencia económica, *d*) preferencia del aguacate mexicano por vendedores minoristas debido a su vida de anaquel y *e*) la promoción de consumo en el mercado de EUA por empresarios importadores y productores binacionales (William y Hanselka, 2022; Wu *et al*., 2023).

La demanda de importaciones de aguacate Hass mexicano en los EUA registró una tasa de crecimiento promedio anual (TCPA) del 19.15% entre 2000 y 2023 y del 7.14% para preparaciones como el guacamole.

*Autor para correspondencia
refrgosa@ucol.mx

Otros países que exportan aguacate a EUA también presentan altas tasas de crecimiento, como República Dominicana (con TCPA del 5.29%) y el Perú, que comenzó a exportar en 2009 y tiene una TCPA del 44.66%. En este contexto, Chile ha perdido participación en el mercado de los EUA, pues en este periodo tuvo una tasa negativa del 13.7% anual. Otros perdedores son los productores de EUA de Florida y California, pues han reducido su producción en −1.7% para el periodo (Grupo 1 de gráficas del anexo 1).

La variedad de aguacate más favorecida por la demanda internacional es el Hass. En 1993, el Departamento de Agricultura de los EUA (USDA por sus siglos en inglés) levantó la restricción fitosanitaria que impedía la importación de aguacate mexicano desde 1914, la cual estaba ligada a la contaminación del aguacate mexicano por plagas no existentes en los EUA, como gorgojos barrenadores del tallo (*Copturus aguacatae*), gorgojos de la semilla (*Conotrachelus aguacatae, Conotrachelus perseae*, *and Heilipus lauri*) y *Stenoma catenifer* o palomilla de la semilla (Erickson y Owen 2024). La exportación a los EUA comenzó en 1997 con el establecimiento de un acuerdo fitosanitario entre la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sagarpa) en México y el Servicio de Inspección de Salud de Plantas y Animales del Departamento de Agricultura (APHIS-USDA) de los EUA. En este acuerdo se estableció un sistema de verificación y certificación para la exportación a los EUA. El sistema incluyó la instrumentación de guías fitosanitarias para huertas libres de plagas, la certificación de empaques, la definición de rutas de movilización en México y puntos de entrada a los EUA, además de la distribución en solo algunos estados durante una ventana temporal de pocos meses en el año. Posteriormente, en 1999 se establecieron los requerimientos de buenas prácticas en huerta y empaque que aseguran la inocuidad de la fruta de exportación. Fue hasta 2004 con la actualización de la normatividad del USDA que la exportación se multiplicó, con la apertura a la distribución de todos los estados de EUA y durante todo el año (Carman y Sexton, 2011). Estos elementos permitieron el ordenamiento de la producción basada en la calidad y fitosanidad y una clara señal para incrementar la producción de aguacate a los productores de Michoacán (y a partir de 2022 a los de Jalisco) debido al incremento de precios que implicaba la posibilidad de exportar a los EUA (Cruz-López, 2021).

México respondió a la creciente demanda de los EUA con una mayor producción (expresada en una TCPA del 5.15% para el periodo de análisis) a través de extender las áreas cultivadas a estados del Eje Neovolcánico (favorecidos por la tierra fertilizada por emisiones volcánicas recurrentes) del centro de México, esto es en Michoacán y Jalisco, y en ciertas regiones de los estados de Nayarit, Estado de México, Morelos y Colima (Vargas-Canales *et al*., 2020) (figura 1 en el anexo 3). El aumento de la superficie cultivada también se ha observado en otros países exportadores al mercado de los EUA, como República Dominicana (con una TCPA del 9.23%), Perú (11.28%) y Chile (1.06%).

El aumento de los rendimientos por hectárea también explica el incremento de la producción. Como el aguacate Hass es producto de injertos, se han ensayado diversas variedades que responden a la demanda (vida de anaquel, textura, peso individual), así como al mejoramiento en los paquetes agronómicos de nutrición y de control de plagas y enfermedades. También se ha incorporado el riego tecnificado (goteo y nutrición) y el aumento de la densidad de siembra. Por las guías de inocuidad alimentaria las unidades de producción deben estar cercadas, contar con comedores y baños para los trabajadores y contar con fuentes de agua que no tengan riesgos de contaminación biológica o química. Este sistema de producción comercial se presenta para huertos en municipios de Jalisco y Michoacán con certificaciones de exportación, aunque también elementos de este sistema se han diseminado para productores de menor escala y en estados productores que no pueden exportar, pero que atienden la demanda en México, así como de la industria procesadora de guacamole y aceite (González-Cobián *et al*., 2022).

Esta introducción estaría incompleta si no se habla de los efectos negativos del incremento de la producción y cambio de sistema de producción de aguacate en México. Denvir *et al*. (2022), Cho *et al.* (2021), Sommaruga y Eldridge (2020), Sáens-Ceja y Pérez-Salicrup (2021), entre otros, documentan problemas de deforestación, la pérdida de biodiversidad (de plantas nativas como de las propias variedades de aguacate "criollo" y de fauna, incluyendo insectos polinizadores y no polinizadores), la sobreexplotación de aguas profundas para

el riego agrícola, así como la contaminación de cuerpos de agua por residuos químicos. Otro impacto es el cambio de tenencia temporal de tierra, pues se ha incrementado la renta de la tierra ejidal y el fortalecimiento de agroempresarios. Esto significa el desplazamiento de la agricultura campesina. A esto se suma la violencia creciente en el estado de Michoacán: el crimen organizado se ha diversificado hacia la agricultura, la minería y otras actividades lícitas y no lícitas (Grandmaison y Frissard-Martinez, 2023). Estos fenómenos no son exclusivos de la producción de aguacate; por el contrario, algunos elementos son comunes a otros sistemas agrícolas y agroalimentarios de México.

Este artículo tiene como finalidad parametrizar los determinantes de largo y corto plazo de la demanda de aguacate mexicano en los EUA, donde se incluye el impacto de la inseguridad. También se analiza el contagio de volatilidad entre los diferentes mercados de aguacate en México y de exportación a los EUA y el número de muertes dolosas en la región productora de aguacate Hass en México.

Además de la introducción, se desarrollan cinco apartados adicionales: un marco teórico con los fundamentos microeconómicos del efecto de traspaso de la inseguridad en mercados agrícolas y las referencias bibliográficas de estudios similares; también, un apartado de materiales y métodos, el cual expone las fuentes de información y los métodos estadísticos y econométricos empleados; en resultados y discusión se describe el comportamiento de las variables empleadas, así como pruebas de estacionariedad y la estimación de los modelos empleados como el ARDL y GARCH-BEKK; asimismo, se contrastan los resultados con otros trabajos similares. En el apartado de análisis prospectivo se proponen escenarios factibles para los resultados más importantes, a la luz de las condiciones económicas y comerciales del país. Finalmente, se exponen las conclusiones más destacadas.

1. Marco teórico

De acuerdo con Perloff (2014), la demanda de un bien es una función del precio propio del bien, del precio de bienes relacionados, el ingreso y otros elementos distintivos del mercado, esto es, $Qd_x = f(P_x, P_y, I, ...)$. Al ser el aguacate mexicano un producto demandado en el mercado de los EUA, se considera que sus variables distintivas son el tipo de cambio (en dólares por peso) y el ingreso disponible per cápita de los EUA. Trabajos como los de Sánchez-Torres *et al*. (2011) y González y Tinoco (2025) establecen funciones similares, aunque para el limón de origen mexicano. Evans y Nalampang (2009) emplean una función inversa de demanda para modelar el mercado de aguacate en EUA. Autores como Nazlioglu y Erdem (2011), Hatab y Nsabimana (2016), Sarihan (2024), Ogunjobi *et al.* (2022), Dube *et al*., (2018) han empleado técnicas de series de tiempo para parametrizar diferentes modelos de mercados agrícolas domésticos y de comercio exterior. En este artículo se propone incorporar una variable de inseguridad a la función de demanda. Esta variable de inseguridad es un constructo intrínseco de variables como los homicidios dolosos, los secuestros, las extorsiones.

La incorporación de la variable de inseguridad se debe a la creciente violencia protagonizada por el crimen organizado en las regiones rurales de producción del aguacate (en Michoacán y otros estados). Grandmaison y Frissard-Martinez (2023), Herrera y Martinez-Alvarez (2022), Madslien (2020) y Erickson y Owen (2024) documentan cómo la actividad del crimen organizado se ha diversificado para el control de la agricultura, la minería, al igual que para otras actividades criminales en Michoacán y otras zonas productoras de aguacate en el país donde el Estado mexicano es débil. Esto "provoca violencia contra productores y otros agentes económicos en la medida que los grupos expanden su control territorial y su portafolio económico" (Estancona y Tiscornia, 2022: 1). Los homicidios dolosos, los secuestros, las extorsiones (entre otros delitos) en las zonas productoras propician un ambiente de inseguridad que consideramos provoca contracciones de oferta (al amenazar a jornaleros y empresarios), crea problemas de disrupción de la cosecha y limita la movilización del aguacate de campo a empaques o a los centros urbanos, así como escasez de la fruta. Esto aumenta los costos a todos los agentes de la cadena agroalimentaria. Todo esto se manifiesta en incremento de precios y de su volatilidad (Arciniegas, 2024; Ornelas, 2018; Madslien, 2020, González y Tinoco, 2025).

Chapa-Cantú *et al*. (2023) proponen un modelo de equilibrio general para explicar los efectos de traspaso del costo del crimen a los sectores económicos de México. Este modelo es una propuesta teórica complementada con modelación empírica, dado que emplea una "estructura de mercado de competencia perfecta. Las empresas producen bienes homogéneos, combinan insumos intermedios con valor agregado. La tecnología es de tipo Leontief en los insumos" (Chapa-Cantú *et al*., 2023: 87). Los autores reconocen la limitación de su trabajo relacionada con el sector primario (por no contar con datos) y qué contribuciones posteriores a este tipo de modelos podrían hacerse con enfoques econométricos de series de tiempo.

Este artículo emplea a los homicidios dolosos en los estados productores de aguacate como un segundo indicador de inseguridad, la cual consideramos que afecta a la incertidumbre o volatilidad de precios del producto fresco o procesado para la exportación o venta en México. Al emplear a los homicidios dolosos como variable de inseguridad, seguimos el enfoque de trabajos similares de cultivos de exportación (Ertugrul y Seven, 2021; Arciniegas, 2024; Ornelas, 2018; Madslien, 2020; González y Tinoco, 2025).

2. Materiales y métodos

Para el desarrollo de esta investigación se empleó información de diferentes fuentes (tabla 1). Se hicieron diversas operaciones para tener variables a precios reales o deflactados. Los datos comprenden de enero de 2000 a marzo de 2024, con frecuencia mensual, pero para el análisis se toman muestras diferentes. Se proponen dos variables de inseguridad. Por una parte, se construyó el índice de inseguridad para la región productora (estados de Michoacán, Jalisco, Morelos, Nayarit y Estado de México) a partir de los datos de muertes dolosas, extorsión y secuestros. Se probaron diversos métodos, aunque nos decantamos por la factorización de ejes principales. También se emplea la variable de homicidios dolosos para el modelo de contagio de volatilidad (algunas gráficas de estas variables se encuentran en el anexo).

TABLA 1
Fuente y descripción de los datos, series mensuales

Variables	Descripción
Fracciones arancelarias 0804400000 0804400010 0804400040 0804400020 0804400090 2008991000	Aguacate Hass fresco, deshidratado y otros tipos de aguacate y preparaciones de aguacate (guacamole y aceite). Valor en miles de dólares y volumen en toneladas. Se emplea el índice de precios al consumidor de EUA para deflactar los precios a marzo 2024 = 100. Se toman los datos de importación proveniente de México para volumen (QH_MX) y precio (PI_MX) de aguacate y precio de preparados como guacamole (PG_MX), así como el precio del aguacate de la República Dominicana (PI_RD) Foreign Agricultural Service-USDA, 2024
Precios de aguacate Hass en región productora en México (P_RP)	Precios en centrales de abasto (CEDA) de Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit y Estado de México. Los valores están expresados en pesos por kilo y deflactados por índice de precios al consumidor de México para marzo 2024 = 100 SNIIN, 2024
Ingreso disponible real per cápita en EUA (ID_R)	Serie en dólares de EUA, 2024 = 100 Federal Reserve Bank of St. Louis. (2024)
Tipo de cambio real */ (TC_R)	En dólares de EUA por peso mexicano Banco de México, 2024
Variable de inseguridad (A_DOL), muertes dolosas en la región productora en México	Homicidios dolosos en los estados productores de aguacate en México Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit y Estado de México Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública, 2024
Índice de inseguridad (PAF) en la región productora	Puntuaciones factoriales de las variables homicidios dolosos, extorsión y secuestros en los estados de Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit y Estado de México. Se generó mediante el modelo de factorización de ejes principales. Este método no supone normalidad de las variables originales

Nota: */ = 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.

Se emplean técnicas de series de tiempo para estimar la función de demanda de aguacate Hass de origen mexicano en el mercado de los EUA (QH_MX_t). En este artículo se propone el precio de importación de aguacate de la República Dominicana (PI_RD_t) al precio de importación de aguacate de México (PI_MX_t), en virtud de que no existen estadísticas públicas de precios de aguacate en el mercado doméstico de los EUA para el periodo analizado, el ingreso disponible real (ID_R_t), el tipo de cambio real (TC_R_t) en los EUA y un índice de inseguridad en la zona productora de aguacate Hass en México (PAF_t). La muestra temporal para este modelo parte de enero de 2006 a marzo de 2024. La función es:

$$QH_MX_t = f(PI_MX_t,\ PI_RD_t,\ ID_R_t,\ TC_R_t,\ PAF_t) \tag{1}$$

Esta ecuación se sintetiza en un modelo ARDL($p, q,..., q$) expresado como:

$$y_t = c_0 + c_1 t + \sum_{i=1}^{p} \phi_i\ y_{t-i} + \sum_{i=0}^{q} \beta_i'\ x_{t-i} + \gamma' z_t + u_t \tag{2}$$

donde x_t es el vector de las variables independientes de (1). 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 explican las fluctuaciones de corto plazo y que no afectan el equilibrio de largo plazo. La ecuación (2) se estima más convenientemente de la siguiente manera (Kripfganz y Schneider, 2022):

$$\Delta y_t = c_0 + c_1 t + \pi_y\, y_{t-1} + \pi_x x_t + \sum_{i=1}^{p-1} \psi_{yi}\, \Delta y_{t-i} + \omega'\, \Delta x_t + \sum_{i=1}^{q-1} \psi'_{xi} \Delta x_{t-i} + \gamma' z_t + u_t \tag{3}$$

donde Δ es el operador de primeras diferencias, p y q son 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 (*Bounds 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). El no rechazo de H0 implica que las variables no cointegran en el largo plazo.

Adicionalmente, se busca estimar el contagio de volatilidad o incertidumbre entre la variable de inseguridad por muertes dolosas (A_DOL) con el precio de aguacate Hass (P_RP) en la zona productora y los precios de aguacate Hass (PI_MX) y de preparados como guacamole mexicano (PG_MX) exportados al mercado de EUA. Para esto se emplea el modelo multivariado de heterocedasticidad general condicional y autorregresiva en su versión Baba-Engle-Kraft-Kroner (GARCH-BEKK). El periodo de análisis es de enero de 2000 a marzo de 2024.

Considérese un modelo de vectores autorregresivos con un rezago (VAR[1]), construido con las variables transformadas en sus rendimientos ($r_t = \ln[P_t / P_{t-1}]$), esto es: $Y_t = A_0 + B_1\, Y_{t-1} + \varepsilon_t$; $\varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim (0, H_t)$, donde $Y_t = (A_DOL_t, PI_MX_t, PG_MX_t, P_RP_t)^T$, A_0 es un vector (4x1) de constantes, B_1 es una matriz $(_{4\times4})$ de parámetros, y el término $\varepsilon_t = (\varepsilon_{1,t},\ \varepsilon_{2,\tau},\ \varepsilon_{3,\tau},\ \varepsilon_{4,\tau})^T$ es normalmente distribuido y condicionado a la información Ω_{t-1}, con media de vector nulo y a la matriz de varianzas y covarianzas Ht (Guo y Tanaka, 2020).

A partir de esto, se modelan las innovaciones del tipo: $\Xi_\tau = H_\tau^{1/2}\ (\theta) z_t$, donde $Z_t(mx1)$ es un proceso de ruido blanco, con media igual a 0 y una matriz identidad de varianzas y covarianzas (I_m). $H_\tau^{1/2}$ es una matriz (mxm) triangular inferior con diagonal principal positiva que se obtiene de una factorización tipo Cholesky de la matriz H_t (Boffelli y Urga, 2016).

El modelo GARCH-BEKK que propone Engle y Kroner (1995) se representa por:

$$H_t = C'C + A'\Xi_{t-1}\ \Xi_{t-1}'\ A + B'H_{t-1}B \tag{4}$$

donde, para esta investigación, $C_{4\times4}$ es una matriz triangular inferior con diagonal principal positiva y de rango completo. A y B son matrices diagonales de dimensión (4×4) y, por tanto, sus varianzas y covarianzas dependen solo de sus propios rezagos y sus propias innovaciones rezagadas.

En (4) la matriz $A = a_{ij}$ captura la volatilidad propia ($a_{ij} \forall i = j$) y de contagio ($a_{ij} \forall i \neq j$), derivadas de *shocks* o innovaciones de corto plazo. La matriz $B = b_{ij}$ contiene a la volatilidad persistente, tanto propia ($b_{ij} \forall i = j$) o de contagio de mercados ($b_{ij} \forall i \neq j$). Note que $C'C$ es positiva semidefinida por construcción, lo cual asegura que las matrices H_0, H_{t-1}, H_{t-2}, ... H_{t-q} (matrices rezagadas) sean positivas semidefinidas. El empleo de estos modelos es común en el análisis de mercados financieros, aunque existe una creciente literatura relacionada con los mercados de exportación de productos agroalimentarios frescos (Paul *et al*., 2015; Panagiotou, 2015; Sidhoum y Serra, 2016; Guo y Tanaka, 2020; Bozma *et al*., 2023).

3. Resultados y discusión

El cuadro 1 muestra los estadísticos básicos de precios y rendimientos (o tasa de variación del precio en el tiempo) de las variables bajo estudio. Se registra que el promedio y la asimetría de los rendimientos de volúmenes de aguacate exportado, del precio en la región productiva en México y los precios de importación de aguacate mexicano en el mercado de EUA son positivos. Esto implica que tanto el cultivo como la comercialización de este producto ha sido un buen negocio para los agentes involucrados. En contraste, los precios de aguacate importado de República Dominicana presentan rendimientos y asimetría negativa, lo cual indica problemas comerciales para este país. La curtosis para los rendimientos de todas las variables es mayor que tres, lo que indica colas pesadas en la distribución y picos extremos. Las variables tanto en niveles como en rendimientos no se acercan a una distribución normal gaussiana. De manera complementaria a la estadística básica, el comportamiento de algunas de las variables analizadas a partir del 2000 está ilustrado en el grupo 2 de gráficas del anexo 2.

CUADRO 1
Estadística básica de las series en rendimientos y niveles

a) Panel A. variables en niveles									
Estadístico	QH_MX	PG_MX	PI_MX	PI_RD	P_RP	ID_R	TC_R	A_DOL	PAF
Media	38178.3	3.710	2.853	1.725	41.243	41627.0	0.105	408.3	2.01
V. Máx.	131092.3	5.827	6.358	4.611	99.573	61509.0	0.249	723	5.22
V. Mín.	16.1	1.675	1.731	0.957	14.454	32843.0	0.043	145	0.66
Des. Est.	35099.9	0.923	0.753	0.535	16.497	5011.6	0.045	136.8	0.94
Asimetría	0.62	0.218	1.312	1.500	0.834	0.54	0.561	0.482	0.84
Curtosis	2.17	2.160	5.840	6.448	3.569	2.93	2.660	–0.704	2.96
Jarque-Bera	29.40	11.76	196.22	274.28	40.76	15.61	18.07	36.82	36.82
Prob.	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
b) Panel A. variables en rendimientos 1/									
Estadístico	QH_MX	PG_MX	PI_MX	PI_RD	P_RP	ID_R	TC_R	A_DOL	PAF
Media	0.013	0.001	0.000	–0.001	0.002	0.001	–0.005	0.004	0.004
V. Máx.	4.972	0.272	0.737	0.739	0.571	0.207	0.085	0.235	1.135
V. Mín.	–5.045	–0.273	–0.574	–1.183	–0.498	–0.165	–0.187	–0.246	–0.642
Des. Est.	0.826	0.058	0.143	0.215	0.148	0.020	0.028	0.074	0.124
Asimetría	0.263	–0.075	0.375	–0.898	0.109	2.471	–1.768	0.029	1.717
Curtosis	23.30	7.01	6.79	7.02	4.55	59.06	12.23	3.765	27.41
Jarque-Bera	5396.0	210.2	194.9	254.1	32.1	41434.3	1278.6	5.364	7947.9
Prob.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.068	0.0

Fuente: elaboración propia.

Notas: 1/ = el rendimiento es una tasa de crecimiento del precio; se estimó siguiendo la formula: $r_t = \ln(P_t/P_{t-1})$. V. Máx = valor máximo, V. Mín = valor mínimo, Des. Est. = desviación estándar, Prob. = probabilidad, QH_MX = cantidad de aguacate mexicano importado por EUA, PG_MX = precio de importación de preparados de aguacate de México en el mercado de EUA, PI_MX = precio de importación de aguacate de México en el mercado de EUA, PI_RD = precio de importación de aguacate de R. Dominicana en EUA, P_RP = precio de aguacate Hass en región productora en México, ID_R = ingreso disponible real per cápita en EUA, TC_R = tipo de cambio real, A_DOL = muertes dolosas en la región productora en México, PAF = índice de inseguridad en la región productora.

El cuadro 2 muestra las pruebas de estacionariedad o de raíz unitaria. Se evalúan las series en logaritmos y en las primeras diferencias de logaritmos y con los supuestos de variable extrínseca constante y variable exógena con constante y tendencia. Se emplean las pruebas de ADF y KPSS para verificar los resultados (Rosetti *et al*., 2017). Como se aprecia, cuatro variables presentan estacionariedad en niveles (y también en primeras diferencias) y cinco son estacionarias en sus primeras diferencias. Este resultado indica que es adecuado el empleo del modelo ARDL para estimar los modelos de equilibrio para el corto y largo plazo (Pattak *et al*., 2023; Pachiyapan *et al*., 2021).

CUADRO 2
Pruebas de raíz unitaria

Variable	Test	Logaritmos		Rendimientos		Conclusión
		Cte 1/	C y T 2/	Cte 1/	C y T 2/	
Precio de importación de aguacate de México en mercado de EUA (PI_MX)	ADF	–6.86***	–7.14***	–10.77***	–10.35***	I(0)/I(1)
	KPSS	0.58**	0.12	0.04	0.05	
Precio de importación de aguacate de R. Dominicana en EUA (PI_RD)	ADF	–2.64*	–2.70	–15.29***	–15.27***	I(0)/I(1)
	KPSS	0.29	0.11	0.09	0.09	
Precio de aguacate Hass en región productora en México (P_RP)	ADF	–2.77*	–8.11***	–11.00***	–10.99***	I(0)/I(1)
	KPSS	1.833***	0.047	0.05	0.04	
Cantidad aguacate mexicano importado por EUA (QH_MX)	ADF	–1.36	–1.81	–6.46***	–6.49***	I(0)/I(1)
	KPSS	1.91***	0.51***	0.11	0.11	
Precio de importación de preparados de México en mercado de EUA (PG_MX)	ADF	–1.73	–3.30*	–17.14***	–17.14***	I(1)
	KPSS	1.55***	0.33***	0.15	0.06	
Tipo de cambio real (TC_R)	ADF	–1.75	–2.89	–13.07***	–13.12***	I(1)
	KPSS	2.00***	0.12**	0.28	0.07	
Ingreso disponible real per cápita en EUA (ID_R)	ADF	–1.13	–3.81**	–31.66***	–31.62***	I(1)
	KPSS	1.96***	0.20**	0.121	0.105	
Muertes dolosas en la región productora en México (A_DOL)	ADF	–1.76	–1.90	–21.09***	–21.09***	I(1)
	KPSS	1.41***	0.13**	0.11	0.06	
Índice de inseguridad (PAF) en la región productora	ADF	–1.82	–4.05***	–21.95***	–21.92***	I(1)
	KPSS	1.91***	0.24***	0.04	0.03	

Fuente: elaboración propia.

Nota: ADF = prueba de raiz unitaria Dickey Fuller Aumentado, KPSS = prueba de estacionariedad 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 no existe raíz unitaria o que la variable es estacionaria. Los asteriscos indican el rechazo de H0 al ** = 95% y *** = 99%. Supuestos de las pruebas: 1/ variable extrínseca constante. 2/variable exógena con constante y tendencia.

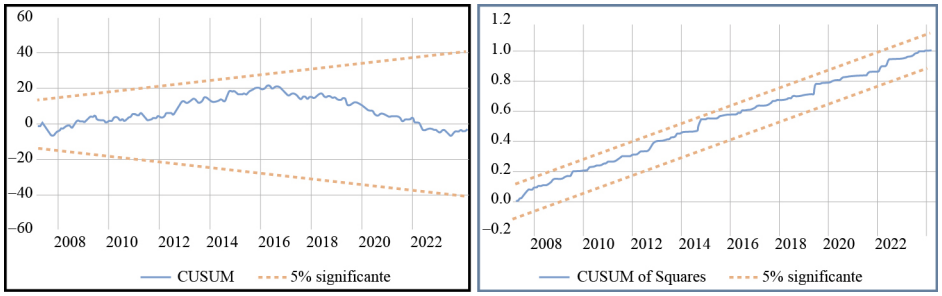
3. 1. Modelo ARDL

Se confirma la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo. De acuerdo con el cuadro 3, el valor del estadístico de F es mayor que el valor crítico en la cota del 1% de significancia. Por tanto, se rechaza H_0: Las variables no cointegran. Al pie del cuadro 3 se encuentran diferentes estadísticos que indican que el modelo ARDL no tiene problemas de correlación serial o de heterocedasticidad, además del estadístico de Ramsey que indica que la especificación funcional es adecuada. La gráfica 1 condensa las pruebas CUSUM y CUSUM al cuadrado, lo que asegura la estabilidad de los parámetros del modelo. De este modo, los parámetros estimados son lo suficientemente estables y confiables para analizar las causalidades de corto y largo plazo (Pachiyappan *et al*., 2021; Zimon *et al*., 2023).

CUADRO 3
Prueba de cotas de cointegración y de robustez del modelo

Prueba F de cotas		Signif.	I(0) cota inferior	I(1) Cota superior
Estadística de F	16.433	10%	1.81	2.93
Variables (k)	5	5%	2.14	3.34
		2.50%	2.44	3.71
		1%	2.82	4.21
Pruebas de diagnóstico LM: Prob[F(2,203) = 1.79] = 0.17. ARCH: Prob χ^2 (5 gl) = 4.59] = 0.4667.				
RESET: Prob[$F\ {}^{1}_{206}$ = 1.41] = 0.2356. JB: Prob(JB = 11.61) = 0.003				

Fuente: elaboración propia.
Nota: LM = prueba LM de autocorrelación tipo Breusch-Godfrey. ARCH = prueba de Heteroscedasticidad tipo ARCH-LM. RESET = diagnóstico de estabilidad en la prueba RESET de Ramsey. JB = prueba de normalidad Jarque-Bera.



GRÁFICA 1
Pruebas de estabilidad del parámetro CUSUM y CUSUM al cuadrado
Fuente: elaboración propia.
Nota: suma acumulada (CUSUM) y suma acumulada de las desviaciones al cuadrado.

El cuadro 4 exhibe la estimación del modelo de largo plazo. Las variables están especificadas en logaritmos naturales, con lo cual los coeficientes son elasticidades. Se observa que el precio de importaciones de aguacate mexicano no influye en la cantidad demandada de este producto en el mercado de los EUA. Este resultado contrasta con lo que reporta Ambrozek *et al*. (2019), quienes refieren un resultado inelástico (−0.189%), pero similar al de Lopez y Mnatsakanyan (2021) en el sentido de que el coeficiente no es significativo. Estos últimos trabajos emplean metodologías estadísticas diferentes a las empleadas en este trabajo.

Por otra parte, al aumentar un 1% el precio del aguacate de República Dominicana disminuye la demanda de aguacate mexicano en el mercado americano en 1.053%. Esto denota que los aguacates de los dos países son complementarios, lo cual sería el resultado de la presencia regional (o estatal) y temporal diferenciada de aguacate proveniente de diferentes países (México, Chile, República Dominicana, etc.) y de la producción doméstica en los EUA (Cavaletto 2015). En un estudio del comportamiento de elasticidades de demanda de diferentes frutas en el mercado de EUA, Nzaku *et al*. (2012) agregan las importaciones de aguacate de todos los países para realizar sus estimaciones.

Si aumenta el ingreso disponible per cápita en los EUA en 1%, la demanda de aguacate mexicano en el mercado de EUA aumenta en 0.817%. Lo anterior muestra que el aguacate mexicano en EUA es un bien normal (Nicholson, 1998). Lopez y Mnatsakanyan (2021) dan a conocer una elasticidad del gasto (en una canasta de frutas) de 0.299% para el aguacate importado de México. Asimismo, si aumenta en 1% el tipo de cambio real (esto encarece el peso mexicano respecto del dólar), disminuye la demanda de aguacate mexicano entre 0.939%. Estos resultados son similares a los que obtienen Aliyu e Ismail (2017) en su estudio sobre la influencia del ingreso y el tipo de cambio en la importación de alimentos por Malasia. Obi *et al*. (2013) estimaron que el aumento del tipo de cambio incrementa

la demanda de exportaciones de aguacate de Sudáfrica a diversos países socios comerciales. Por su parte, Hatab y Nsabimana (2016) plantean cómo el aumento del producto interno bruto de Rusia aumenta la demanda de naranja producida por Egipto. Asimismo, en su estudio sobre el comercio bilateral de frutas y hortalizas frescas entre Turquía y 14 países de la Unión Europea, Nazlioglu y Erdem (2011) advierten cómo la tasa de interés tiene un impacto positivo y de largo plazo en este comercio. Estos trabajos citados emplean metodologías de series de tiempo como el ARDL.

CUADRO 4
Modelo ARDL de largo plazo

Variable en logaritmos naturales	Coeficiente	Error estándar	t-Student	Prob.
Precio de importación de aguacate de México en mercado de EUA (PI_MX)	–0.057	0.209	–0.272	0.786
Precio de importación de aguacate de R. Dominicana en de EUA (PI_RD)	–1.053	0.240	–4.384	0.000
Ingreso disponible real per cápita en EUA (ID_R)	0.817	0.051	15.877	0.000
Tipo de cambio real (TC_R)	–0.939	0.251	–3.746	0.000
Índice de inseguridad (PAF) en la región productora	0.258	0.193	1.341	0.181

Fuente: elaboración propia.
Nota: variable dependiente = cantidad aguacate mexicano importado por EUA (QH_MX). Prob = probabilidad.

El cuadro 5 presenta el modelo de corto plazo del ARDL, el cual se trata de elasticidades mensuales con componentes contemporáneos o rezagados. El componente autorregresivo explica la demanda con solo un rezago. El precio del aguacate mexicano en términos contemporáneos y con un rezago, al igual que un rezago del precio de República Dominicana, explican la cantidad demanda de aguacate mexicano en EUA. La inseguridad afecta la demanda de aguacate mexicano en EUA en el componente contemporáneo. El término de corrección de error (TEC) es negativo y significativo, por lo que la relación de equilibrio de largo plazo se corrige cada periodo mensual en 31.7%. La variable *dummy* fue agregada al modelo para capturar el impacto de los meses de altos (enero) y bajos (agosto) en los volúmenes de exportación para el periodo de análisis. Esto facilitó la parametrización del modelo ARDL (Boffelli y Urga, 2016; Kripfganz y Schneider, 2022).

CUADRO 5
Modelo ARDL de corto plazo y TCE

Variable en primeras diferencias de logs	Coeficiente	Error estándar	Prob.
Cantidad aguacate mexicano importado por EUA QH_MX(-1)	–0.294	0.053	0.000
Precio aguacate mexicano importado (PI_MX)	–0.312	0.098	0.002
Precio aguacate mexicano importado PI_MX(-1)	–0.390	0.093	0.000
Precio aguacate de República Dominicana importado (PI_RD)	0.039	0.059	0.514
Precio aguacate de República Dominicana importado PI_RD(-1)	0.138	0.065	0.034
Índice de inseguridad en la región productora (PAF)	–0.270	0.125	0.032
DUMMY 1/	–2.798	0.325	0.000
DUMMY*L_QHAS	0.261	0.031	0.000
Término de corrección de error TCE(-1)	–0.317	0.032	0.000

Fuente: elaboración propia.
Nota: los valores en paréntesis son el número de rezagos. 1/ = variable con valores de 1 para meses extremos bajos (junio, julio) y altos (enero) y cero para el resto de los datos de 2006 a 2024. Prob = probabilidad.

3. 2. Modelo BEKK

Para la estimación del modelo GARCH-BEKK, se aceptó el supuesto de que los residuos del VAR(1) para rendimientos de las variables siguen una distribución t-Student. Los criterios de información de Akaike, Schwarz y Hannan-Quinn así lo indicaron (Enders, 2015; Boffelli y Urga, 2016). Los estimadores del modelo registran comportamientos diferentes, en función de sus componentes. De esta manera, los estimados de los coeficientes c_{ij} de la matriz de constantes ($C'C$) de la ecuación (4) resultaron no significativos excepto por un estimador. Estos coeficientes representan una estimación de los promedios multivariados de varianzas y covarianzas de los residuos del modelo VAR(1) en rendimientos, por lo que no se afecta a las conclusiones del trabajo. Los coeficientes de las matrices de volatilidad propia y de contagio repentino (A_{ij}) y persistente (B_{ij}) son todos significativos. Con estos resultados se estiman los coeficientes de volatilidad multivariada propia y de contagio siguiendo la metodología que exponen Mora *et al*. (2014) y González y Torres (2021).

El cuadro 6 expone dos conjuntos de modelos. En el Panel A se muestran los modelos de varianza condicional para cada variable bajo estudio, mientras que en el Panel B están los modelos de contagio de volatilidad entre los mercados. Al analizarse la volatilidad de cada serie individual (Panel A), en particular la variable de inseguridad (o asesinatos dolosos) en la región productora de aguacate Hass en México, ésta tiene un valor de la volatilidad persistente alta (0.921), en tanto que la de corto plazo es relativamente baja (0.031). Esto hace que la volatilidad conjunta sea alta, sin llegar a ser explosiva (0.952). En diversos estudios sobre la violencia en Michoacán y la producción agrícola se emplea esta variable por las implicaciones que tiene (Herrera y Martinez-Alvarez, 2022).

En el caso de las variables precio de aguacate en zona productora de México y de aguacate mexicano que se exporta a los EUA cuentan con un patrón similar, en el sentido de que la volatilidad persistente es alta (mayor a 0.94), mientras que los *shocks* de corto plazo son marginales. Estos resultados son comunes a los mercados agrícolas (Rezetis y Pachis, 2020). En el caso del precio del aguacate procesado (guacamole) mexicano exportado a los EUA, la volatilidad persistente es, comparada con los otros mercados, baja (0.615). Esto posiblemente se explica porque la producción de derivados procesados del aguacate depende menos de la influencia del clima y del mercado (tiene una mayor vida de anaquel). En todos los modelos univariados, la volatilidad conjunta no es explosiva ($a_{ij} + b_{ij} < 1$).

La estimación sobre del contagio de volatilidad en el conjunto de mercados analizados se presenta en el Panel B del cuadro 6, donde se aprecia que el contagio de volatilidad de la variable de inseguridad a los otros mercados es importante. Así, en el caso de la volatilidad persistente, los valores oscilan entre 0.752 con el mercado del guacamole, 0.931 con el aguacate (en ambos casos que los EUA importan de México) y 0.943 para el mercado de aguacate en la región productora. Los contagios entre *shocks* o innovaciones repentinas o de corto plazo son bajos entre todas las interacciones de mercado (a_{ij}). Todo esto hace que la volatilidad conjunta ($a_{ij} + b_{ij}$) en el contagio de mercados sea también alta, con valores entre 0.807 y 0.968. Estos resultados coinciden con una creciente bibliografía académica que indica cómo la demanda mundial de aguacate aumenta la producción en México y cómo esto aumenta la violencia en las zonas productoras como resultado de la competencia entre carteles por el dominio territorial (Madslien 2020) o por contubernio con autoridades gubernamentales (Grandmaison y Frissard-Martinez, 2023).

El contagio de volatilidad entre los distintos mercados de aguacate (zona productora y de exportación a los EUA para aguacate fruta y procesado) sigue un patrón en el cual el impacto del mercado del aguacate procesado suaviza la volatilidad persistente (componente b_{ij}); de esta forma, alcanza el valor de 0.761 entre este mercado y el del mercado de aguacate fruta importado por EUA, mientras que es de 0.771 con el mercado de la zona productora en México. Asimismo, el contagio de volatilidad generada por *shocks* repentinos (componente a_{ij}) es relativamente baja. El contagio diferenciado de volatilidad en el corto plazo y persistente es una característica frecuente en los mercados agrícolas. Como ejemplos citamos el estudio de Panagiotou (2015) para el aceite de oliva extra virgen en tres países productores del mediterráneo, el de Bozma *et al*., (2023) para precios al productor y de mayoreo de cítricos frescos en el mercado doméstico en Turquía. Por su parte, Ertugrul y Seven (2020) y Ma y Diao (2017)

estudian el contagio de mercados domésticos e internacionales para productos alimenticios y agroalimentarios para Turquía y China respectivamente. Para productos en el mercado doméstico de Turquía como la almendra, la avellana y el pistacho, Ozdemir *et al*. (2022) encuentran contagio diferenciado en la volatilidad de los mercados.

CUADRO 6
Especificación de la varianza y covarianza condicional

Panel A: varianza condicional				
Volatilidad propia multivariada	Coeficientes estimados			
	c_{ij} 1/	a_{ij} 2/	b_{ij} 3/	$a_{ij} + b_{ij}$
Asesinatos dolosos (A_DOL) en la región productora en México ($h_{1\ 1,\ t}$)	6.45E-08NS	0.031	0.921	0.952
Precio de importación de aguacate de México en mercado de EUA (PI_MX) ($h_{3\ 3,\ t}$)	6.48E-08NS	0.044	0.942	0.986
Precio de importación de procesados de aguacate de México en mercado de EUA (PG_MX) ($h_{2\ 2,\ t}$)	7.03E-08NS	0.098	0.615	0.712
Precios de aguacate Hass en región productora en México (P_RP) ($h_{4\ 4,\ t}$)	7.15E-08NS	0.010	0.967	0.977
Panel B: covarianza condicional				
Contagio de volatilidad de precios en los mercados:	Coeficientes estimados			
	c_{ij} 1/	a_{ij} 2/	b_{ij} 3/	$a_{ij} + b_{ij}$
A_DOL y PI_MX ($h_{1\ 2,\ t}$)	4.27E-09 NS	0.037	0.931	0.968
A_DOL y PG_MX ($h_{1\ 3,\ t}$)	1.88E-08 NS	0.055	0.752	0.807
A_DOL y P_RP ($h_{1\ 4,\ t}$)	8.89E-09 NS	0.018	0.943	0.961
PI_MX y PG_MX ($h_{2\ 3,\ t}$)	-1.18E-08 NS	0.066	0.761	0.827
PI_MX y P_RP ($h_{2\ 4,\ t}$)	4.46E-08 NS	0.021	0.954	0.976
PG_MX y P_RP ($h_{3\ 4,\ t}$)	2.53E-08 NS	0.032	0.771	0.803

Fuente: elaboración propia.

Nota: 1/ = coeficientes asociados a las matrices constantes $C'C$. 2/ = coeficientes asociados a las variables $\Xi_{t-1}\ \Xi'_{t-1}$. 3/ Coeficientes asociados a las variables H_{t-1}. NS = no significativo.

Prospectiva

La demanda de aguacate Hass en el mercado de los EUA ha tenido un patrón de crecimiento continuo desde finales del siglo XX que ha impactado a México. La cercanía geográfica, las preocupaciones por la salud, los gustos y preferencias, la promoción comercial, y la creciente población de origen latino y su afluencia económica han implicado tasas positivas anuales de crecimiento de las exportaciones mexicanas de aguacate y productos procesados a ese país entre 2000 y 2023. Esto ha sucedido a pesar de que ha aumentado también el precio corriente del producto en el mercado americano. Consideramos que estas tendencias continuarán en el corto y mediano plazo.

Alguna disrupción al comercio entre México y EUA implicaría la sustitución del aguacate Hass mexicano por la oferta de otros países (de Centro y Sudamérica, el Caribe y África), pero esto no sería inmediato. En cambio, una caída del ingreso per cápita en los EUA (recesión) o una apreciación del peso mexicano sí genera una caída en la demanda de aguacate proveniente de México. Estos escenarios no se descartan ante las políticas de distorsión comercial promovidas por la administración federal norteamericana de 2024 a 2028.

Para satisfacer la demanda de aguacate Hass en EUA, México ha seguido dos estrategias. Por una parte, se ha incrementado la superficie cultivada, tanto en Michoacán y Jalisco, que pueden exportar a los EUA, como en los estados de Nayarit, Morelos y Estado de México, que no pueden exportar directamente a los EUA, pero que venden al mercado doméstico mexicano y/o para el procesamiento. El otro elemento ha sido el aumento de los rendimientos

(toneladas por hectárea) debido a un cambio en el sistema de producción. Esto es, mejoramiento de variedades, mayor densidad de plantas por hectárea, mejoramiento en las fórmulas de nutrición y manejo fitosanitario, mejores prácticas agrícolas y de manufactura (en particular el empaque) y riego tecnificado. El aumento de la superficie y de la productividad ha traído muchos problemas ambientales documentados: deforestación, pérdida de biodiversidad (en fauna y flora), uso excesivo de agua y contaminación de cuerpos de agua superficial y profunda. En Michoacán esto también ha conducido al aumento de la violencia y diversificación de actividades delictivas hacia la agricultura, la minería y la explotación forestal. Otro impacto social en México ha sido el fortalecimiento de agroempresarios y el aumento de la renta de la tierra, esto es, el desplazamiento de la agricultura campesina o del minifundio. Consideramos que estos fenómenos seguirán profundizando en nuestro país, incluso fuera de la región de producción idónea para el aguacate Hass (en regiones más frías y altas o en zonas cercanas a la costa).

Conclusiones

Este artículo aborda solo un aspecto del complejo fenómeno de la cadena agroalimentaria y agroindustrial del aguacate Hass en México. A su vez, responde a inquietudes ligadas a los determinantes del crecimiento de la demanda de este producto en los EUA y del papel que puede jugar la inseguridad de la zona productora en los mercados interrelacionados del aguacate en México y de exportación de este producto y sus derivados procesados.

Como se ha identificado, la demanda del aguacate mexicano aumenta con la reducción del tipo de cambio (un peso más barato respecto del dólar) y con el aumento del ingreso per cápita del consumidor de EUA. Al aumentar el precio de importación del aguacate de República Dominicana disminuye la demanda de aguacate mexicano en el mercado de EUA. El efecto de traspaso del índice de inseguridad de la región productora de aguacate en México no se manifiesta en la demanda de este producto en EUA en largo plazo, pero si en el corto.

Respecto al análisis de volatilidad de mercados, los mercados de productos frescos son volátiles, así como también la variable de inseguridad (asesinatos dolosos), y es menos volátil el mercado de productos procesados de aguacate. Por tanto, los modelos indicaron que existe un contagio de volatilidad de mercados, principalmente la persistente entre estos mercados y la variable de inseguridad. Con este artículo se llena un vacío de trabajos para modelar el mercado de exportación de México con sus socios comerciales, en particular para el caso del aguacate.

Agradecimientos

Agradecemos los comentarios y sugerencias de los árbitros de la revista, quienes sustancialmente mejoraron el contenido y presentación del artículo.

Referencias

Aliyu, A. J., & Ismail, N. W. (2017). Food imports and exchange rate: the application of dynamic cointegration framework. *Malaysian Journal of Mathematical Sciences*, 11, 101-114.

Ambrozek, C., Saitone, T., & Sexton, R. (2019). *Price elasticities of demand for fresh Hass avocados in the United States. Concepts, estimation, and applications*. Mission Viejo: Hass Avocado Board. https://hassavocadoboard.com/wp-content/uploads/2019/04/Hass-Avocado-Board-Price-Elasticities-of-Demand-or-Fresh-Hass-Avocados-2019.pdf

Arciniegas, C. (2024). The guacamole curse: Avocados, crime, and violence in Mexico. *Working Papers SES*. N. 537. https://folia.unifr.ch/global/documents/330612

Banco de México. (2024). *Sistema de Información Económica*. https://www.banxico.org.mx/SieInternet/

Boffelli, S., & Urga, G. (2016). *Financial Econometrics Using Stata*. USA: Stata Press.

Carman, H., & Sexton, R. (2011). Effective marketing of Hass avocados: The impacts of changing trade policy and promotion/information programs. *International Food and Agribusiness Management Review*, *14*(4), 37- 50.

Cavaletto, G. (2015). The avocado market in the United States. *VIII Congreso Mundial de la Palta* (pp. 463 466). 10 diciembre 2024. https://www.avocadosource.com/WAC8/Section_07/CavalettoGiovanni2015.pdf

Chapa-Cantú, J., Ayala-Gaytán, E., & Medellín-Mendoza. S. (2023). The economic costs of insecurity on businesses in Mexico: A general equilibrium perspective. *EconoQuantum*, *20*(1), 83-99. https://doi.org/10.18381/eq.v20i1.7300

Cho, K., Goldstein, B., Gounaridis, D., & Newell, J. P. (2021). Where does your guacamole come from? Detecting deforestation associated with the export of avocados from Mexico to the United States. *Journal of Environmental Management*, *278*, 111482. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111482

Cruz-López, D. E. (2021). Análisis de la competitividad y ventaja comparativa revelada del aguacate hass de México en el mercado mundial [Tesis]. Universidad Autonoma Chapingo. https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/8561e6ce-137b-4792-bf6b-973988c6c838/content

Data México (2023). *Aguacates frescos o secos. Gobierno de Mexico*. Gobierno de México. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/avocados-fresh-or-dried

Denvir, A., Arima, E., González-Rodríguez, A., & Young, K. R. (2022). Ecological and human dimensions of avocado expansion in Mexico: Towards supply-chain sustainability. *Ambio*, *51*, 152-166. https://doi.org/10.1007/s13280-021-01538-6

Dogan, E., & Seker, F. (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. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.006

Dube, A. K., Ozkan, B., & Govindasamy, R. (2018). Analyzing the export performance of the horticultural sub-sector in Ethiopia: ARDL bound test cointegration analysis. *Horticulturae*, *4*(34), 1-8. https://doi.org/10.3390/horticulturae4040034

Enders, W. (2015). *Applied econometrics time series* (4th edition). Wiley. United States of America.

Engle R. F., & Kroner, K. F. (1995). Multivariate simultaneous generalized ARCH. *Econometric Theory*, *11*(1), 122-150.

Erickson, M., & Owen, L. (2024). Blood Avocados? Trade Liberalization and Cartel Violence in Mexico. *Comparative Political Studies*. https://doi.org/10.1177/00104140241290198

Ertugrul, H. M., & Seven, U. (2021). Dynamic spillover analysis of international and Turkish food prices. *International Journal of Financial Economics*, *28*(2), 1-11. https://doi.org/10.1002/ijfe.2517

Estancona, C., & Tiscornia, L. (2022). *From cocaine to avocados: Criminal market expansion and violence*. https://clestancona.wixsite.com/chelseaestancona/research

Evans, E., & Nalampang, S. (2009). Forecasting Price Trends in the U.S. Avocado (Persea americana Mill.) Market. *Journal of Food Distribution Research*, *40*(2), 37-46.

FAO-STAT (2024). Food and agriculture data. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/faostat/en/#home

Federal Reserve Bank of St. Louis. (2024). *National accounts*. https://fred.stlouisfed.org/

Foreign Agricultural Service-USDA. (2024). *Global agricultural trade system (Online)*. https://apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx

González-Cobián, M. F., Vázquez-Rueda, L., Ledesma-Hernández, S., & Torres-Chávez, M. (2022). Caracterización de la cadena productiva de aguacate en micro region de Xalisco, Nayarit. *Revista de Alimentación contemporánea y Desarrollo Regional*, *32*(59), 1-25. https://doi.org/10.24836/es.v32i59.1211

González, R. F., & Tinoco, M. A. (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. http://doi.org/10.53897/RevAIA.25.29.01

González, R. F., & Torres, V. H. (2021). Contagio de volatilidad de precios internacionales de petróleo, urea y maíz. *Avances en Investigación Agropecuaria*, *27*, 84-104. http://doi.org/10.53897/RevAIA.23.27.08

Guo J., & Tanaka, T. (2020) Dynamic transmissions and volatility spillovers between global price and U.S. producer price in agricultural markets. *Journal of Risk and Financial Management*, *13*(4), *83*. https://doi.org/10.3390/jrfm13040083

Grandmaison, R., & Frissard-Martinez, P. (2023). *Violent and vibrant. Mexico's avocado boom and organized crime*. Global Initiative Against Transnational Organized Crime. The GREENS/EFA in the European Parliament. https://www.greens-efa.eu/files/assets/docs/violent_and_vibrant_mexico___s_avocado_boom_and_organized_crime.pdf

Hatab, A., & Nsabimana, A. (2016). A dynamic analysis of Egyptian orange exports to Russia: A co-integration analysis. *Agricultural Economics Review*, *17*(2), 38-54. http://ageconsearch.umn.edu

Herrera, J. S., & Martinez-Alvarez, C. (2022). Diversifying violence: Mining, export-agriculture, and criminal governance in Mexico. *World Development*, *151*, 105769. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105769

Kripfganz, S., & Schneider, D. C. (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.html

Lira-Noriega, A., Soberón, J., & Equihua, J. (2018). Potential invasion of exotic ambrosia beetles *Xyleborus glabratus and Euwallacea* sp. in Mexico: A major threat for native and cultivated forest ecosystems. *Scientific Reports*, *8*, 10179. https://doi.org/10.1038/s41598-018-28517-4

Lopez, J., & Mnatsakanyan, H. (2021). A case study of avocado, berry, and apple trade through NAFTA. *The Texas Journal of Agriculture and Natural Resources*, *34*, 55-74.

Ma, K., & Diao, G. (2017). Study on spillover effect between international soybean market and China's domestic soybean market. *Ensayos sobre Política Económica*, *35*, 260-266. https://doi.org/10.1016/j.espe.2017.11.003

Madslien, S. (2020). Are avocados the blood diamonds of Mexico? An empirical study on how increasing demand for Mexican avocados is related to cartel violence (Master thesis). Bergen: Norwegian School of Economics. https://hdl.handle.net/11250/2737211

Mora, J. J., Zamudio, A. y Fuentes, H. J. (2014). Volatilidad e interdependencia en los precios agrícolas a partir de un modelo GARCH multivariado. *Análisis Económico*, *72*(29), 35-56.

Nazlioglu, S., & Erdem, E. (2011). Exchange rates and Turkish fresh fruits and vegetables trade with the EU countries: bilateral trade data analysis. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, *23*, 93-109. https://doi.org/10.1080/08974438.2011.534043

Nicholson, W. (1998). *Microeconomic theory. Basic principles and extensions* (17th ed.). Florida: The Dryden Press.

Nzaku, K., Houston, J., & Fonsah, E. (2012). *A Dynamic Application of the AIDS Model to Import Demand for Tropical Fresh Fruits in the USA. 2012 Conference, August 18-24, 2012, Foz do Iguacu, Brazil 126721*. International Association of Agricultural Economists. https://doi.org/10.22004/ag.econ.126721

Obi, A., Ndou, P., & Peter, B. (2013). Assessing the impact of exchange rate volatility on the competitiveness of South Africa's agricultural exports. *Journal of Agricultural Science*, *5*(10), 227-250. https://doi.org/10.5539/jas.v5n10p227

Ogunjobi, J. O., Oladipo, O. A., Eseyin, O., Opaola, O., & Aransiola, I. J. (2022). Exchange rate and agricultural exports: evidence from Nigeria (1981-2019). *International Journal of Research and Scientific Innovation*, *9*(4), 89-101.

Ornelas, R. G. (2018). Organized crime in Michoacan: Rent-seeking activities in the avocado export market. *Politics & Policy*, *46*(5), 759-789. https://doi.org/10.1111/polp.12270

Ozdemir, F. D., Kaymak, H. C., & Aksoy, A. (2022). Prediction of conditional variance volatility of real prices of almond, hazelnut, and pistachio by the diagonal BEKK-GARCH (1.1) equation model. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development*, *22*(4), 517-526.

Pachiyappan, D., Ansari, Y., Alam, M. S., Thoudam, P., Alagirisamy, K, & Manigandan, P. (2021). Short and long-run causal effects of CO_2 emissions, energy use, GDP and population growth: Evidence from India using the ARDL and VECM approaches. *Energies*, *14*(24), 8333. https://doi.org/10.3390/en14248333

Panagiotou, D. (2015). Volatility spillover effects in the extra virgin olive oil markets of the Mediterranean. *International Journal of Food and Agricultural Economics*, *3*(3), 1-11. https://doi.org/10.22004/ag.econ.208851

Pattak, D. C., Tahrim, F., Salehi, M., Voumik, L. C., Akter, S., Ridwan, M., Sadowska, B., & Zimon, G. (2023). The Driving Factors of Italy's CO2 Emissions Based on the STIRPAT Model: ARDL, FMOLS, DOLS, and CCR Approaches. *Energies*, *16*, 5845. https://doi.org/10.3390/en16155845

Paul, R. K., Saxena, R., Chaurasia, S., Zeeshanan, & Rana, S. (2015). Examining export volatility, structural breaks in price volatility and linkages between domestic and export prices of onion in India. *Agricultural Economics Research Review*, *28*, 101-116. https://doi.org/10.5958/0974-0279.2015.00026.9

Perloff, J. M. (2014). *Microeconomics with calculus* (3rd ed.). Boston: Pearson.

Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, *16*, 289-326.

Rezetis, A. N., & Pachis, D. N. (2020). Investigating the price volatility transmission mechanisms of selected fresh vegetable chains in Greece. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, *10*(5), 587-611. https://doi.org/10.1108/JADEE-12-2019-0209

Rosetti, N., Seido, M., & Faria, J. L. (2017) A behavioral analysis of the volatility of interbank interest rates in developed and emerging countries. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, *22*(42), 99-128. https://doi.org/10.1108/JEFAS-02-2017-0033

Sáens-Ceja, J., & Pérez-Salicrup, D. (2021). Avocado Cover expansion in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Central Mexico. *Conservation*, *1*, 299-310. https://doi.org/10.3390/ conservation1040023

Sánchez-Torres, Y., Matus-Gardea, J. A., García-Salazar, J. A., Martínez-Damián, M. Á., y Gómez-Cruz, M. Á. (2011). Estimación de la demanda de importaciones de limón persa (Citrus latifolia Tanaka) en Estados Unidos procedentes de México (1994-2008). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *14*(3), 819-827

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. https://doi.org/10.15388/Ekon.2024.104.2.3

Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública. (2024). *Datos abiertos de incidencia delictiva*. https://www.gob.mx/sesnsp/acciones-y-programas/datos-abiertos-de-incidencia-delictiva

Sidhoum, A., & Serra, T. (2016). Volatility spillovers in the Spanish food marketing chain: The case of tomato. *Agribusiness*, *32*(1), 45-63. https://doi.org/10.1002/agr.21418

SNIIN (Sistema Nacional de Información e integración de Mercados). (2024). *Mercados nacionales*. Secretaría de Economía. http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/

Sommaruga, R., & Eldridge, H. M. (2020). Avocado production: Water footprint and socio-economic implications. *EuroChoices*, *20*(2), 48-53. https://doi.org/10.1111/1746-692X.12289

Vargas-Canales, J. M., Carbajal-Flores, G., Bustamante-Lara, T. I., Camacho-Vera, J. H., Fresnedo-Ramírez, J., Palacios-Rangel, M. I., & Rodríguez-Haros, B. (2020). Impact of the market on the specialization and competitiveness

of avocado production in Mexico. *International Journal of Fruit Science*, *20*(sup3), S1942-S1958. https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1837711

Williams, G. W., & Hanselka, D. (2022). Report to the Mexican Hass Avocado Import Association (MHAIA) and Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México (APEAM, A.C.). *2022 update: The U.S. economic benefits of Hass avocado imports from Mexico*. AFCERC & Texas A&M University. https://avocadoinstitute.org/wp-content/uploads/2022/09/Report-US-Economic-Benefits-of-Avocado-Imports-from-Mexico-2022-Update.pdf

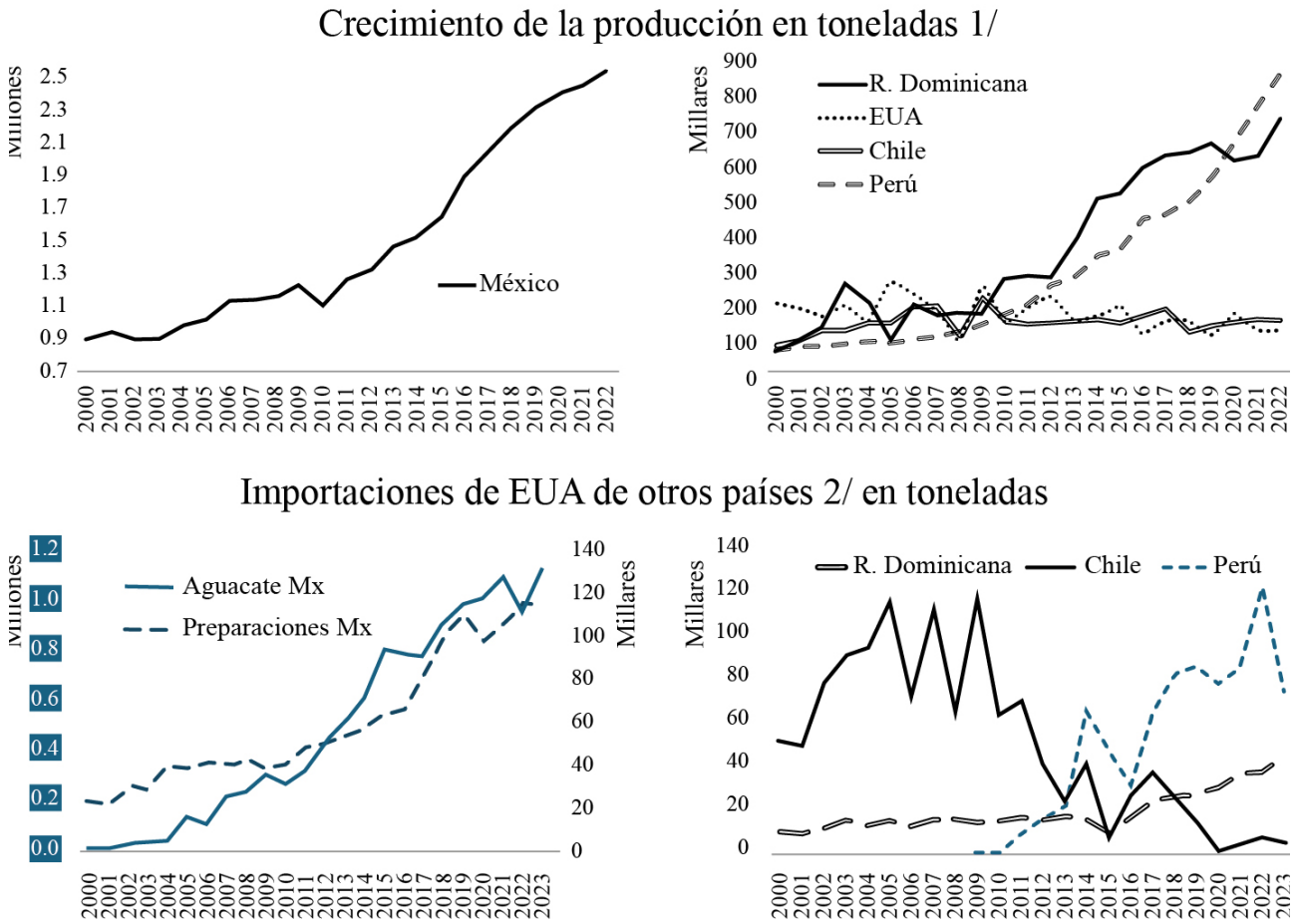
Wu, D., Xu, Z., & Li, J. (2023). Search data and geodemographics determinants of the avocado sales in the US Markets. *Journal of Business and Management*, *29*(1), 23-56

Zimon, G., Pattak, D. C., Voumik, L. C., Akter, S., Kaya, F., Walasek, R., & Kochanski, K. (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*, 6198. https://doi.org/10.3390/en16176198

CC BY-NC-ND

Anexos

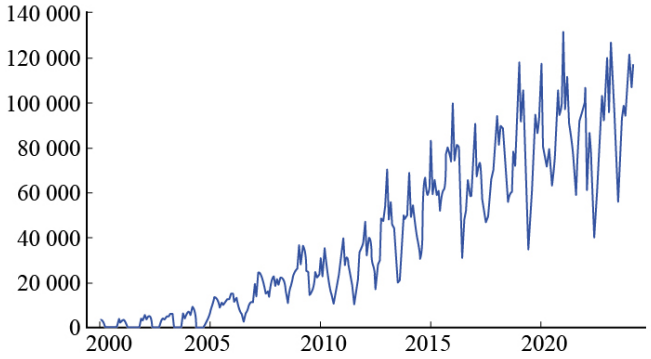
ANEXO 1. Grupo 1 de gráficas
Producción de aguacate en Hispanoamérica y comercio con EUA



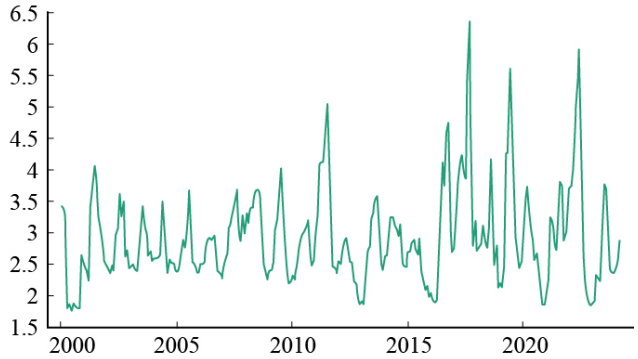
Fuente: elaboración propia con datos de 1/ FAO-STAT (2024), periodo 2000 a 2022. 2/ Foreign Agricultural Service-USDA (2024), periodo 2000 a 2023. En todos los casos se trata de datos anuales.

ANEXO 2. Grupo 2 de gráficas
Variables empleadas en los modelos

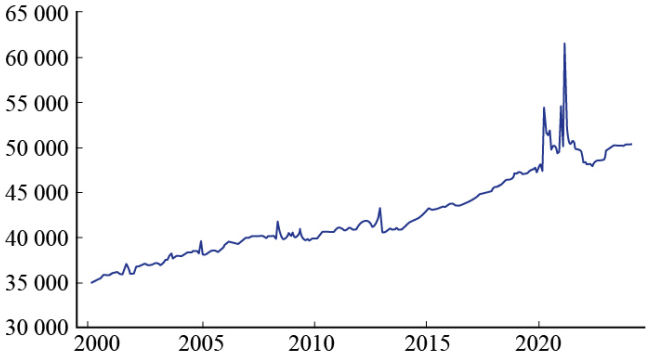
Cantidad de aguacate Hass mexicano exportado a EUA (toneladas)



Precio real aguacate Hass mexicano exportado a los EUA (dólares por kilo)



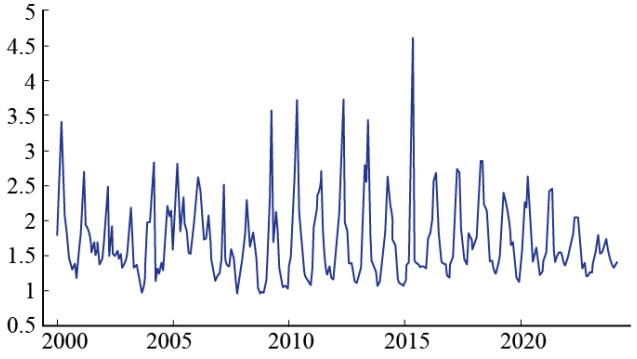
Ingreso disponible real per cápita em EUA (dólares)



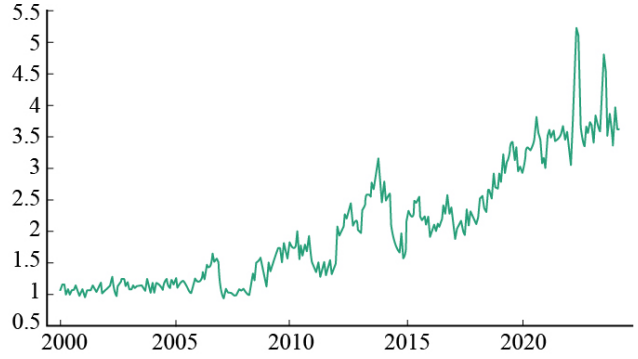
Tipo de cambio real (dólares por peso) 1/



Precio real aguacate Hass de Rep. Dominicana exportado a EUA (dólares por kilo)

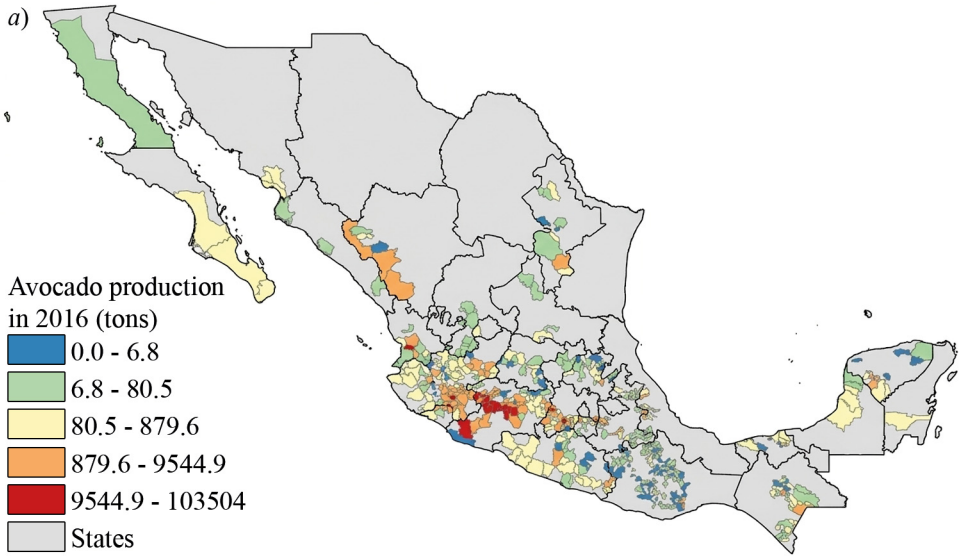


Índice de inseguridad en la región productora 2/



Fuente: elaboración propia.
Nota: 1/ = capacidad de compra de importaciones mexicanas. Dólares por peso multiplicados por el cociente de índice de precios al consumidor de EUA entre el índice de precios al consumidor en México (CPI_US/IPC__MX). 2/= puntuaciones factoriales de modelo de factorización de ejes principales para variables de extorsión, asesinato doloso y secuestros en zona productora. Se trata de datos mensuales.

ANEXO 3. FIGURA 1
Municipios productores de aguacate en México



Fuente: Lira-Noriega *et al*., 2018.

Disponible en: https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/25358

Cómo citar el artículo:
González Sánchez, R. F. y Torres Preciado, V. H. (2026). Demanda de aguacate mexicano en EUA. Relación de equilibrio de corto y largo plazo y contagio de volatilidad de mercados. CIENCIA *ergo-sum*, *33*. https://doi.org/10.30878/ces.v33n0a57

DOI: https://doi.org/10.30878/ces.v33n0a57

Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Declaración de autoría (CRediT):

Renato Francisco González Sánchez: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.
Víctor Hugo Torres Preciados: *software*, supervisión, validación, visualización, vedacción-revisión y edición.