UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES

APLICACIÓN DE MODELOS GARCH PARA PRONOSTICAR LA VOLATILIDAD DE LOS PRECIOS INTERNACIONALES DEL MAÍZ EN MÉXICO MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL PERIODO DE 1999 A 2019

TESIS

Que como requisito para obtener el grado de

Maestro en Ciencias Económicas y Sociales

Presenta

FRANCISCO ZAZUETA PAPPATHEODOROU

Director de tesis:

DR. OSCAR ELÍ VELARDE MORENO

Culiacán, Sinaloa, 5 de noviembre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán, Sinaloa el día 5 del mes de noviembre del año 2020, el (la) que suscribe Francisco Zazueta Pappatheodorou alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias Económicas y Sociales con número de cuenta 18642012, de la Unidad Académica Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Oscar Eli Velarde Moreno y cede los derechos del trabajo titulado "APLICACIÓN DE MODELOS GARCH PARA PRONOSTICAR LA VOLATILIDAD DE LOS PRECIOS INTERNACIONALES DEL MAÍZ EN MÉXICO MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL PERIODO DE 1999 A 2019", a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Francisco Zazueta Pappatheodorou

Nombre completo y firma

El comité de disertación de la tesis de Francisco Zazueta Pappatheodorou certifica que esta es la versión aprobada de la siguiente disertación:

APLICACIÓN DE MODELOS GARCH PARA PRONOSTICAR LA VOLATILIDAD DE LOS PRECIOS INTERNACIONALES DEL MAÍZ EN MÉXICO MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL PERIODO DE 1999 A 2019

Comité:

Director:

Dr. Oscar Elí Velarde Moreno

Asesores:

Dr. Moisés Alejandro Alarcón Osuna

Dr. Antonio Ruiz Porras

Culiacán, Sinaloa a 5 de noviembre de 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Mi esposa Aurora y mi hijo Leonardo por inspirarme a ser mejor persona en todos los sentidos posibles. A mis padres Francisco Javier y Dionisia por ser siempre el mejor ejemplo y fuente de inspiración para la familia. A mis hermanas Daphne y Dionisia porque ser un buen ejemplo y hermano para ellas es un motor en mi vida. A José Alberto, mi mentor en el mundo de las materias primas. A mis profesores de la maestría por compartir con devoción sus conocimientos e inspirarme en profundizar en las ciencias sociales. Al CONACYT, a la dirección, a la administración y a Reyna, la responsable del programa en la facultad, por crear las condiciones idóneas para que la transferencia del conocimiento fuera posible. A mis directores y lectores de tesis, Moisés Alejandro, Antonio y Oscar Elí por ser guías, consejeros y responsables de culminar con éxito este documento que tienen en sus manos.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS 3

RESUMEN 6

GLOSARIO 7

INTRODUCCIÓN 9

1. Antecedentes 11

Antecedentes del maíz 11

Importancia del maíz en el mundo 12

La comercialización del maíz en México 19

Antecedentes de los mercados de futuros de materias primas 23

Limitaciones de la información del mercado de las materias primas 26

La divergencia en los precios de las materias primas 29

2. Planteamiento del problema 32

3. Preguntas de investigación 34

4. Objetivos 35

5. Hipótesis 35

6. Justificación 35

7. Estructura de la investigación 36

Capítulo I MARCO TEÓRICO 37

I.1. Series de tiempo 39

I.2. Modelos autorregresivos 41

I.3. Modelos de series de tiempo para el análisis de la volatilidad 44

I.4. Volatilidad 48

Capítulo II METODOLOGÍA 51

II.1. Enfoque 51

II.2. Modalidad 52

II.3. Tipo de investigación 52
II.4. Diseño 53
II.5. Técnicas de investigación 54
II.6. Instrumento de medición 54
II.7. Método de investigación 55
II.8. Población y determinación de la muestra 55
II.9. Método de análisis 56
II.10. Operacionalización de variables 57
II.11. Procesamiento y análisis 57
Capítulo III RESULTADOS 58
III.1. La muestra 59
III.2. Resultados del modelo GARCH 61
III.2.1. Estimación 62
III.2.2. Pruebas de validación estadística 62
III.2.3. Estimación de la volatilidad 75
CONCLUSIONES 79
RECOMENDACIONES 83
BIBLIOGRAFÍA 85

RESUMEN

El maíz es la materia prima de mayor producción en el mundo y su relevancia en la economía mundial y en la sociedad no tiene igual. Los mercados financieros internacionales consideran a la producción del maíz como un termómetro de la actividad económica, además de ser fuente de alimento, materia prima y empleo.

La producción de maíz a nivel mundial en el ciclo 2017-2018 fue mayor a 1,076 millones de toneladas y se estima que haya aumentado en el ciclo 2018-2019 a casi 1,100 millones de toneladas de maíz, siendo los principales productores E.U.A., Argentina, Brasil y Sudáfrica.

La aparición de mercados financieros ordenados y la estandarización de los granos como materias primas negociables han generado interés por parte de los inversionistas que inyectan liquidez y su vez causan aumentos de volatilidad.

Existen limitaciones en la cantidad y calidad de la información disponible sobre la producción de maíz en el mundo, además de existir divergencia entre los precios de la materia prima y las cotizaciones de los contratos negociados en el mercado de valores. En México, el tipo de cambio del peso influye además en los precios del maíz y también ha presentado niveles altos de volatilidad.

Por lo anterior, resulta de gran relevancia estudiar el comportamiento de los precios del maíz en y del tipo de cambio para tener información más completa que apoye una mejor toma de decisiones al tomar coberturas de precios.

Esta investigación utiliza herramientas de análisis econométrico de las series de tiempo, en específico, los modelos autorregresivos con heterocedasticidad condicional generalizada (GARCH) para conocer el comportamiento de la volatilidad en los precios del maíz y el tipo cambio.

Para estimar los modelos, se tomaron los datos de los precios internacionales del maíz de cierre diarios en el Chicago Mercantile Exchange (CME) de 1999 a 2019 publicados en el portal de Investing.com y los datos del tipo de cambio FIX publicados por el Banco de México del mismo periodo.

Las cotizaciones del maíz en el CME están expresadas en centavos de dólar por búshel, por lo que, para esta investigación se convirtieron a dólares por tonelada, luego se calcularon logaritmos y

luego la diferencia entre los logaritmos para llegar a una serie de rendimientos que fuera posible modelar utilizando el software GRETL.

El tipo de cambio FIX publicado por el Banco de México está expresado en pesos por dólar por lo que se convirtió a dólares por peso, luego se calcularon logaritmos con valores negativos que fueron convertidos a positivos multiplicándose por -1 y luego se calculó la diferencia entre los logaritmos para llegar a una serie de rendimientos que fuera posible modelar utilizando el software GRETL.

Como resultado, se obtuvieron dos series con 5590 observaciones cada una, de las cuales se corroboró que se cumpliera con el supuesto de no estacionariedad mediante la aplicación de pruebas Dickey-Fuller. Además, se revisó la función de autocorrelación para ambas series, y se estableció que no existiera un proceso de media móvil cero y que existen procesos autorregresivos. Finalmente, se procedió a la estimación de ambos modelos GARCH

Los resultados los precios del maíz arrojaron los valores de alpha (0) 3.96867E-07, alpha (1) de 0.104735 y beta (1) de 0.872081, valores p menores a 0.00001 y valor de Log-verosimilitud de 23859.8. Destaca un periodo de alta volatilidad llegando a tener valores de -0.0486 y 0.04591.

Los resultados para el tipo de cambio fueron valores de alpha (0) 9.36033E-08, alpha (1) de 0.0898393 y beta (1) de 0.896322, valores p menores a 0.00001 y valor de Log-verosimilitud de 26449.1. Destaca un periodo de alta volatilidad llegando a tener valores de -0.02182 y 0.02918.

Lo anterior, determina que los modelos GARCH son una herramienta adecuada para el análisis de la volatilidad de activos financieros, permiten una mejor toma de decisiones al tomar coberturas de precios y se recomiendan futuras investigaciones para analizar otros activos financieros importantes.

GLOSARIO

ABCD: Grupo de compañías transnacionales por la primera letra de su nombre (Archer-Daniels Midland (ADM), Bunge, Cargill y Louis Dreyfus.

ADM: Archer-Daniels Midland (nombre de compañía transnacional)

AIC: Criterio de información Akaike.

AR: Autorregresivo.

ARCH: Siglas en idioma inglés para auto regresión de heterocedasticidad condicional (Auto Regressive Conditional Heteroscedasticity)

ARMA: Siglas en idioma inglés para auto regresión de media móvil (Auto Regressive Moving Average)

ARIMA: Siglas en idioma inglés para auto regresión de media móvil integrada (Auto Regressive Integrated Moving Average)

ASERCA: Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios.

AXC: Agricultura por contrato.

BANXICO: Banco de México.

BUSHEL: Medida de volumen del sistema inglés usado para medir granos.

CFTC: Siglas en idioma inglés para la Comisión de Intercambio de Futuros y Materias Primas (Commodities and Futures Trade Commision).

CME: Siglas en idioma inglés del Mercado bursátil de Chicago (Chicago Mercantile Exchange).

CONASUPO: Compañía Nacional de Subsistencias Populares.

EUA: Estados Unidos de América.

FAO: Siglas en inglés para Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FIRA: Fideicomisos Instituidos con Relación a la Agricultura.

FIX: Tipo de cambio establecido por el Banco de México.

GARCH: Siglas en idioma inglés de heterocedasticidad condicional autorregresiva generalizada (Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity).

GRETL: Software de econometría.

INDEX FUNDS: Término en inglés para fondos indexados.

INVESTING.COM: Portal de internet de información financiera.

IOSCO: Siglas en inglés para International Organization of Securities Commissions.

MA: Siglas en inglés para Moving Averages (promedios móviles)

OCDE: Siglas de Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos.

OPCIÓN DE COMPRA: Contrato financiero que da el derecho mas no la obligación de comprar un activo a un precio determinado por el contrato en un periodo de tiempo establecido.

OPCIÓN DE VENTA: Contrato financiero que da el derecho mas no la obligación de vender un activo a un precio determinado por el contrato en un periodo de tiempo establecido.

PARI PASSU: Término en latín para decir "en igualdad de condiciones."

PROCAMPO: Programas de apoyos directos al Campo.

PRUEBA DICKEY-FULLER: Prueba estadística.

SADER: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

SAGARPA: Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

SIC: Criterio de información Swartz.

SPOT: Término en inglés para decir "de contado."

TICUS: Tipo de cambio establecido entre el peso mexicano y el dólar americano.

TLCAN: Tratado de Libre Comercio de América del Norte.

USDA: Siglas en idioma inglés del Departamento de Agricultura de EUA (United States Department of Agriculture).

INTRODUCCIÓN

Durante el curso de mi carrera profesional he podido desempeñarme en diversos ámbitos del mundo financiero. He tenido la oportunidad de laborar en diversas áreas de instituciones bancarias, en una casa de bolsa, en una compañía internacional de seguros y he logrado certificarme como asesor financiero ante las autoridades reguladoras del sistema financiero mexicano por los últimos 14 años.

En mi formación académica, la licenciatura en administración de empresas me llevó a conocer el impacto de las finanzas en el mundo empresarial y tuve un extraordinario primer acercamiento con la economía durante mis estudios en la Escuela de Economía de Turku en Finlandia. Doce años después, me encuentro en el curso de la Maestría en Ciencias Económicas y Sociales buscando nuevas herramientas que me permitan mejorar mis habilidades profesionales.

En mi experiencia en casa de bolsa, he tenido oportunidad de ser operador en los mercados de materias primas donde he constatado los cambios en las tendencias de los precios de divisas, energéticos, metales y productos agrícolas. Dentro de estos últimos, el maíz ocupa un lugar privilegiado debido a que es la mercancía agrícola con mayor volumen de producción en México y en el mundo (FIRA, 2018).

Además, otro factor importante resulta de tomar en cuenta que la paridad cambiaria de la moneda nacional (el peso mexicano) y el dólar americano, incide en el precio de comercialización del maíz y también presenta variaciones importantes.

Por lo anterior, los precios del maíz tienen un impacto importante en la economía y por ello me resulta interesante analizarlos. Para ello, es posible organizar los precios en series temporales que a su vez pueden ser modeladas para estudiar su comportamiento.

Sin embargo, analizar estas series temporales mediante modelos autorregresivos de media móvil resulta insuficiente debido a que estos modelos no toman en cuenta el efecto que tienen los precios anteriores en el comportamiento de los datos subsecuentes. Además, este efecto se ve aumentado en periodos de gran volatilidad debido al comportamiento que caracteriza a los activos financieros en fechas o eventos relevantes.

Esto es derivado de anuncios o noticias que afectan los precios que se tenían proyectados para los activos financieros en un periodo de tiempo determinado y cuando se producen eventos que modifican esas proyecciones, se deben reevaluar los precios en el tiempo de los activos financieros en cuestión. Por esta razón, en esta investigación se ha decidido realizar un análisis utilizando modelos autorregresivos de heterocedasticidad condicional generalizada (GARCH).

1. Antecedentes

Antecedentes del maíz

Se presenta a continuación, algunos antecedentes de la producción del maíz en el mundo y en nuestro país con la intención de establecer la importancia del cultivo para la población, la industria y el gobierno.

Importancia del maíz en el mundo

La agricultura se destaca por ser una de las actividades económicas más antiguas en el mundo, y al ser una fuente de producción de alimentos que se puede planificar para satisfacer las necesidades alimenticias de la sociedad durante todo el año, ha logrado ser la forma preferida ampliamente por la sociedad para satisfacer dichas necesidades.

El maíz es la materia prima de mayor producción en el mundo y su relevancia en la economía mundial y en la sociedad no tiene igual (FIRA, 2018). Por ello, los mercados internacionales han adoptado la producción del maíz como un termómetro de la actividad económica, la cual es fuente de alimentos y empleo directo e indirecto para una considerable cantidad de habitantes del planeta.

Es también un cultivo domesticado, ya que no crece en la naturaleza sin los cuidados de los productores agrícolas. El cultivo del maíz ha jugado un papel trascendental en el mundo, es el grano alimenticio más antiguo que se conoce. Es conocido alrededor del planeta con diversos nombres, en México maíz, en Francia maïs, en Portugal milho, en India makka o makki y en Estados Unidos y Canadá corn. (Paliwal, 2001)

El maíz es uno de los cultivos más productivos. Ha sido sometido a importantes transformaciones genéticas gracias a la tecnología, con lo que se han logrado desarrollar capacidades que le permiten sobrevivir en una diversidad de ambientes alrededor de mundo. Además, dichos avances en la genética de esta hortaliza han propiciado una mejora trascendental respecto a la productividad de la cosecha por hectárea cultivada.

La producción de maíz a nivel mundial en el ciclo 2017-2018 fue de más de 1,076 millones de toneladas y se estima que haya aumentado en el ciclo 2018-2019 a casi 1,100 millones de toneladas de maíz, siendo los principales productores Estados Unidos de América, Argentina, Brasil y Sudáfrica. (Scuse, 2016)

Debido al crecimiento de la población, la demanda de maíz para consumo humano, alimento para el ganado, diversos usos industriales y producción de biocombustibles también se espera que

aumente (Becerra Pérez, 2009). En los países desarrollados se observa una mayor demanda de proteína animal debido a la presencia de un considerable aumento del poder adquisitivo, lo cual propicia, a su vez, un aumento en la producción de cárnicos y, por ende, la necesidad de aumentar la producción del alimento que se necesita para el sector pecuario, haciendo énfasis en el aumento de la producción de carne de ganado bovino y porcino en estos últimos años.

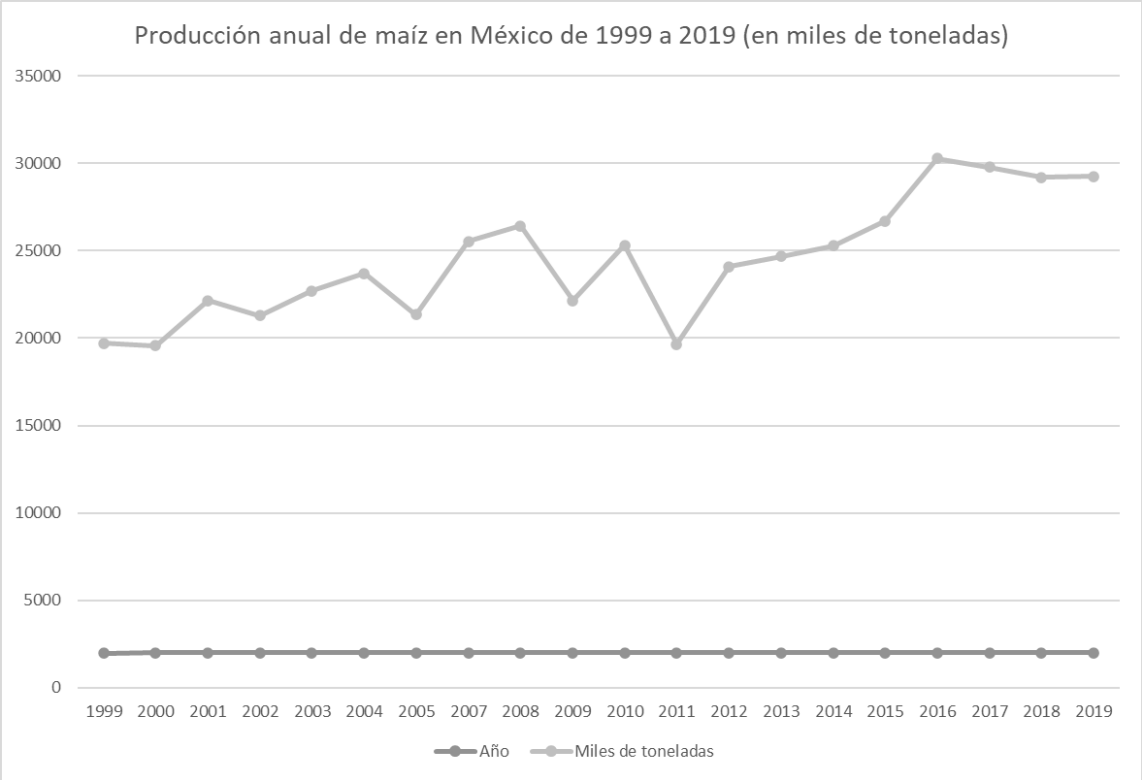
Según López Reyes y Becerra Pérez "Con un consumo per cápita de 253 kg, México se ubica en el octavo puesto como país consumidor de maíz a nivel mundial. De acuerdo con Turrent (2005), se cree que México tiene una capacidad que le permitirá alcanzar una producción que oscile en alrededor de los 32 millones de toneladas por año, esto si se considera la utilización de la misma superficie que ha sido destinada para este cultivo de los últimos cinco años.

Aun así, México se ubica como el cuarto productor de maíz a nivel mundial, solo detrás de Estados Unidos de América (EE. UU, 280 millones de toneladas), China (136 millones de toneladas) y Brasil con 44 millones de toneladas. Sin embargo, la producción total del país no logra satisfacer la demanda interna, por lo que México se ha visto en la necesidad de importar alrededor de 10 millones de toneladas de maíz cada año, principalmente de EE. UU, su principal socio comercial.

De acuerdo con Becerra (2014), el consumo nacional aparente de maíz en México fue de 30.5 millones de toneladas en el 2010, de los cuales aproximadamente 25% se abasteció vía importaciones. Aun reconociendo que la mayor parte de las importaciones son para consumo animal e industrial (maíz amarillo y no siempre el de mejor calidad), que al final termina convirtiéndose en consumo humano al transformarse en productos alimenticios (ej. carnes, cereales), ese déficit de grano compromete la soberanía alimentaria colocando a México en una posición de dependencia del exterior en uno de sus productos básicos en la dieta de la población."

En la Gráfica No. 1 podemos observar la producción anual de maíz grano en México desde 1999 hasta 2019 según datos del SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2020). En ella se puede notar una tendencia alcista de la producción con una observación inicial de 17,706 miles de toneladas y una observación final de 27,228 miles de toneladas, con producción mínima de 17,557 miles de toneladas para el año 2000 y producción máxima de 28,251 miles de toneladas en 2016.

Gráfica No. 1: Producción anual de maíz en México de 1999 a 2019



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de SIAP

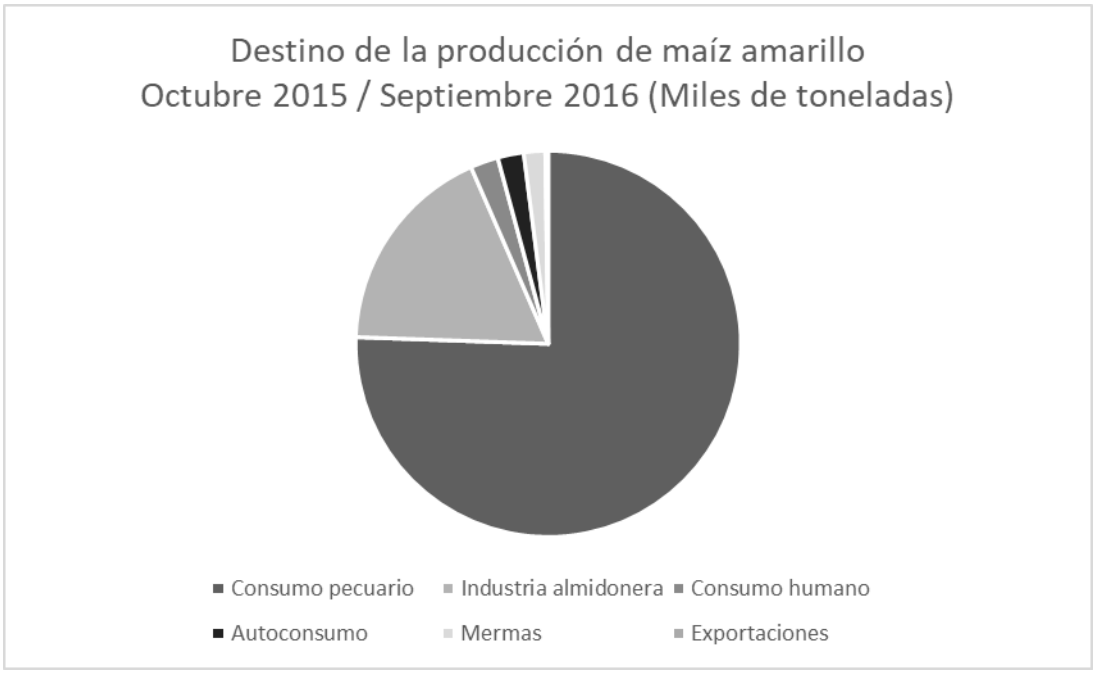
Según datos obtenidos del SIAP (SAGARPA, 2017), en 2016, el 76% del maíz amarillo se destinó al consumo pecuario, 18% a la industria almidonera, 2% al autoconsumo, 2% al consumo humano y el resto a mermas (2%).

Tabla No. 1: Destino de la producción de maíz amarillo octubre 2015 a septiembre 2016

	Consumo pecuario	Industria almidonera	Consumo humano	Autoconsumo	Mermas	Exportaciones	Semilla para siembra
Millones de toneladas	11,206	2,650	348	324	268	35	12
Porcentaje	75.5%	17.9%	2.3%	2.2%	1.8%	0.2%	0.1%

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de SIAP

Gráfica No. 2: Destino de la producción de maíz amarillo octubre 2015 a septiembre 2016



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de SIAP

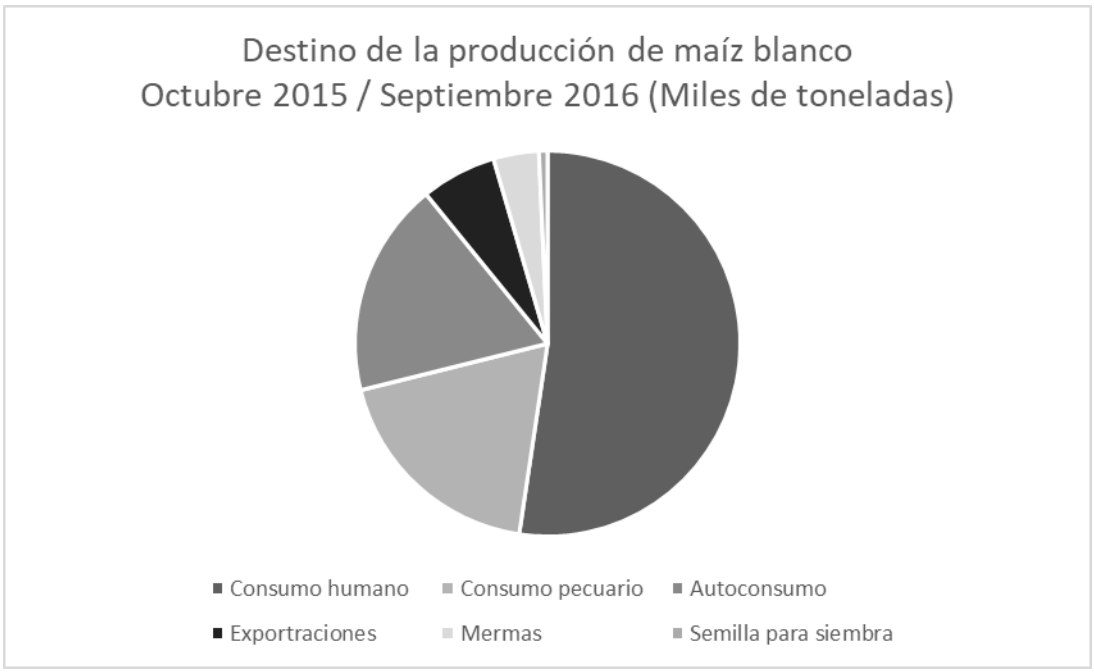
Según datos obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2016, el 52.4% del maíz blanco se destinó al consumo humano, 18.8% al consumo pecuario, 18% al autoconsumo, 6.3% a las exportaciones, 0.7% a semilla para siembra y el resto a mermas (3.8%).

Tabla No. 2: Destino de la producción de maíz blanco octubre 2015 a septiembre 2016

	Consumo humano	Consumo pecuario	Autoconsumo	Exportraciones	Mermas	Semilla para siembra
Millones de toneladas	12,399	4,440	4,266	1,499	904	170
Porcentaje	52.4%	18.8%	18.0%	6.3%	3.8%	0.7%

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de SIAP

Gráfica No. 3: Destino de la producción de maíz blanco octubre 2015 a septiembre 2016



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de SIAP

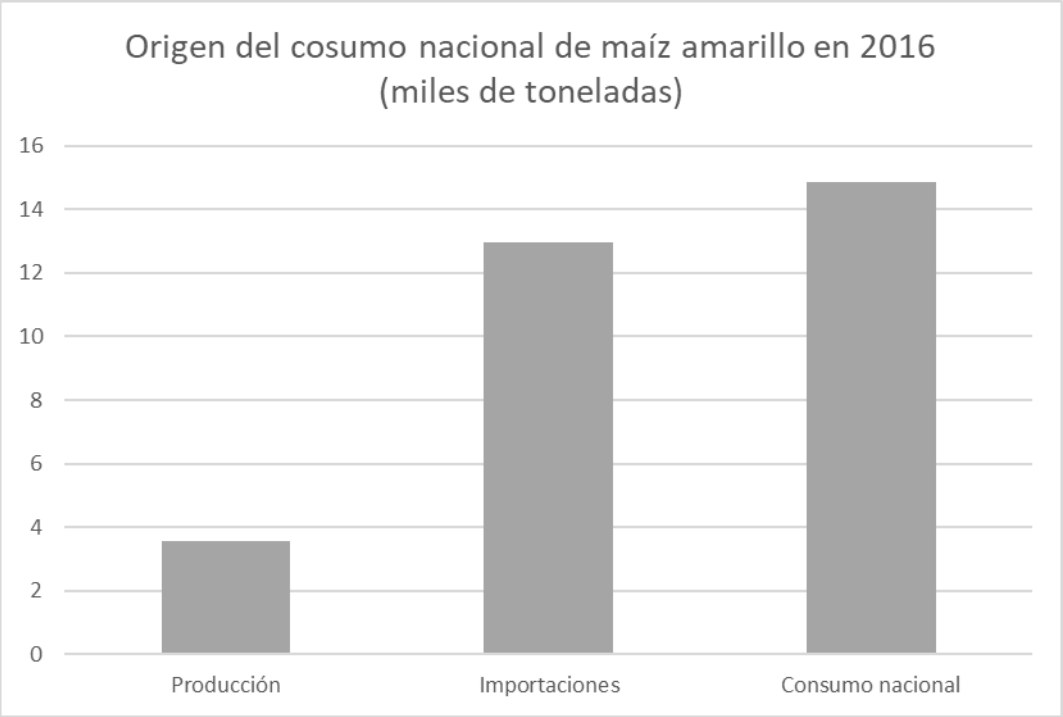
En México, la producción de maíz amarillo es deficitaria por que solamente logra satisfacer el 23.9% del total requerido para el consumo nacional. Resulta contrastante el caso del maíz blanco, donde la producción del grano logra satisfacer completamente los requerimientos en un 103.8% y, aun así, se importa el equivalente a 4.5% del consumo nacional. En un análisis del grano importado, tanto en el maíz amarillo como en el blanco, Estados Unidos es el principal proveedor.

Tabla No. 3: Origen del consumo nacional de maíz amarillo en 2016

	Miles de toneladas	Proporción sobre el consumo nacional
Producción	3.55	23.9%
Importaciones	12.95	87.3%
Consumo nacional	14.84	

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA

Gráfica No. 4: Origen del consumo nacional de maíz amarillo en 2016



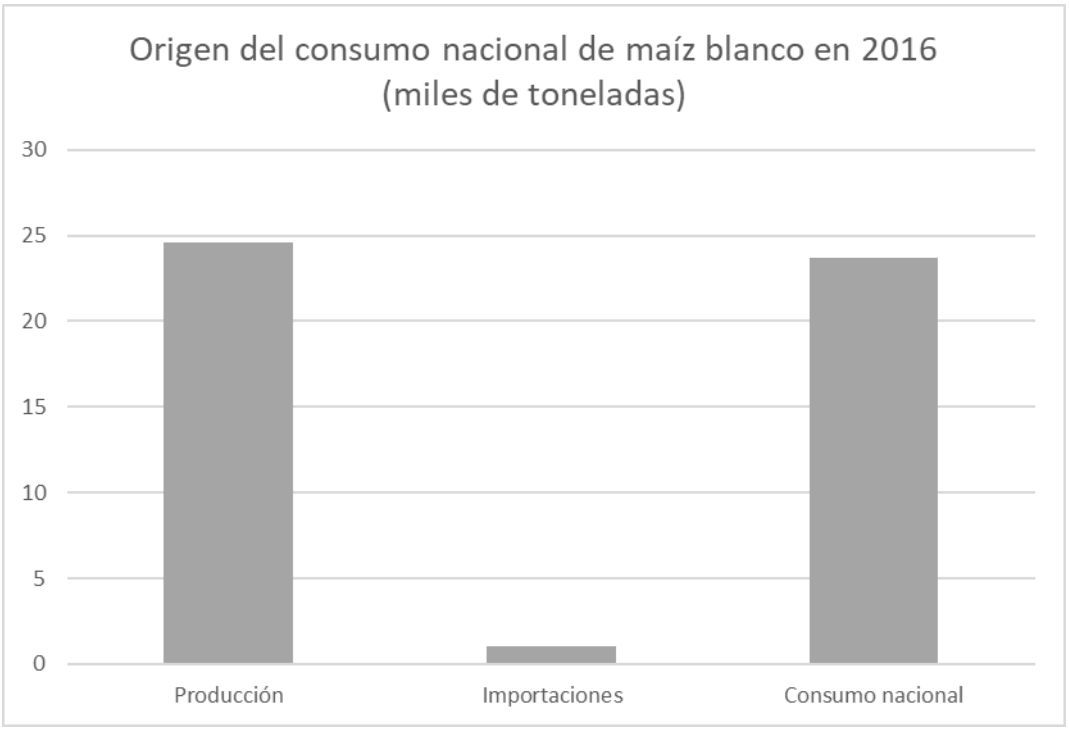
Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA

Tabla No. 4: Origen del consumo nacional de maíz blanco en 2016

	Miles de toneladas	Proporción sobre el consumo nacional
Producción	24.56	103.8%
Importaciones	1.066	4.5%
Consumo nacional	23.67	

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA

Gráfica No. 5: Origen del consumo nacional de maíz blanco en 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA

Tabla No. 5: Origen de importaciones del consumo nacional de maíz amarillo en 2016

Importaciones	Miles de toneladas
Estados Unidos	12.75
Argentina	0.10
Brasil	0.05
Canadá	0.05

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA

Tabla No. 6: Origen de importaciones del consumo nacional de maíz blanco en 2016

Importaciones	Miles de toneladas
Estados Unidos	1.07

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA

Debido a la gran importancia que ha tenido el maíz, era cuestión de tiempo la aparición de mercados financieros ordenados y la estandarización de los granos como materias primas negociables. Esto ha generado un gran interés por parte de los inversionistas, quienes se encargan de inyectar liquidez, con lo cual a su vez causan aumentos de volatilidad (van Huellen, 2018).

Los factores antes mencionados, han generado que los precios internacionales del maíz hayan sido presionados a la baja, por lo cual se prevé que estos sigan deprimidos el siguiente ciclo, por lo tanto, resulta de gran relevancia estudiar la asignación de precios de este producto.

La comercialización del maíz en México

La secretaría de economía de México define la comercialización como el conjunto de acciones y procedimientos para introducir eficazmente los productos en el sistema de distribución. Considera planear y organizar las actividades necesarias para posicionar una mercancía o servicio logrando que los consumidores lo conozcan y lo consuman.

Comercializar un producto consiste en encontrar para él la presentación y el acondicionamiento que lo vuelvan atractivo en el mercado; propiciar la red más apropiada de distribución y generar las condiciones de venta que habrán de dinamizar a los distribuidores sobre cada canal. (Secretaría de economía, 2019)

El proceso de comercialización cuenta entre sus actividades prioritarias la de asignarle precios a las mercancías. El objetivo de la asignación de los precios puede tener tres distintas orientaciones (Stanton, Etzel, & Walker, 2007):

1. Orientados a las ganancias: Para lograr una retribución meta o para maximizar las utilidades.

2. Orientados a las ventas: Para acrecentar el volumen de ventas o para mantener o acrecentar la participación de mercado.

3. Orientados al estatus quo: Para estabilizar los precios o para hacer frente a la competencia.

Es posible perseguir, y tener la esperanza de alcanzar, todos estos objetivos por medio de la asignación de precios que se coordina con otras actividades de marketing, como el diseño de producto y los canales de distribución. Todos estos objetivos se dirigen en último término al desempeño satisfactorio con el tiempo. Para un negocio, eso requiere lograr un aumento en las ganancias.

En la actualidad, México cuenta con un mercado organizado y reconocido por las autoridades fiscales y financieras en el que se cotizan varios contratos de futuros financieros estandarizados. El siguiente paso es extender el mercado a contratos de futuros sobre bienes agrícolas por la enorme exposición al riesgo que existe en este mercado y la imposibilidad de administrarlo a falta de un mercado de coberturas contra contingencias (Díaz-tinoco & Venegas-martínez, 2001).

Existen diversos organismos gubernamentales que apoyan el proceso de producción y comercialización en el campo mexicano, tales son los casos de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través de la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA) y el Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO) o el de Banco de México (BANXICO) a través de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), entre otros.

Paláu (Paláu Blanco, 2017) se refiere a la comercialización de granos en México como un laboratorio en el cual se ha experimentado con diferentes esquemas como los precios de garantía que operaron hasta el año de 1994, en una economía cerrada, cuando solamente importaba y exportaba Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO).

Con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) se comienza a reducir el programa de compras de CONASUPO entre 1994 y 1999, cuando esta empresa del estado es liquidada y se termina con el monopolio de importaciones y exportaciones. En 1997 se constituye la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA) y se comienza subastando apoyos que los interesados ganaban de acuerdo con el volumen de granos a adquirir.

Según Rojas y Abreu: “Dada la importancia en la economía y en la dieta de la población, las actividades productivas del trigo son objeto de atención gubernamental a través de las líneas de política global y sectorial, de tal manera que este cultivo está considerado directa e implícitamente en los programas sustantivos del Sector Agropecuario, como son la Alianza para el Campo, el Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO) y, en casos específicos, el Programa de Apoyos a la Comercialización.

Con el propósito de que los productores vendan su producto con menor grado de incertidumbre, en el año de 1996 el Gobierno Federal inició la instrumentación del Programa de Cobertura de Precios de Productos Agrícolas, a cargo de ASERCA, con el propósito de que el productor se proteja de caídas imprevistas de los precios internacionales.

El Programa incluye al trigo y a otros granos importantes; su operación consiste en comprar una opción (put) que le brinda al productor el derecho teórico de vender su producto a cierto precio, de tal manera que, si el precio en el mercado se ubica por debajo del contrato, el productor recupera el diferencial a través de la Bolsa de Chicago. Si el precio del mercado se ubica por arriba del pactado, el productor no ejerce la opción, por lo que el Programa funciona como un seguro.

Este Programa forma parte de una estrategia global de apoyos a la comercialización de los principales granos, instrumentada por el Gobierno Federal a través de ASERCA, que incluye además los programas de apoyo a la comercialización, de apoyos a la exportación, de Agricultura por Contrato, de Reconversión de Cultivos, de Pignoración de Cosechas y de Desarrollo de Mercados Regionales.

En términos generales, el programa de apoyos a la comercialización tiene el propósito de promover la comercialización en regiones excedentarias de trigo, además de otros granos importantes, mediante el otorgamiento de subsidios que favorezcan la compraventa de las cosechas, contribuyendo a fomentar el desarrollo de mercados agrícolas regionales, así como el uso de herramientas de control de riesgos en los mercados bursátiles internacionales y el esquema de agricultura por contrato; con ello, los productores y los agentes de las cadenas productivas estarán en mejor posición ante situaciones de incertidumbre, lo que abre la posibilidad de mejorar su ingreso y con ello la capitalización de sus unidades de producción.

En materia de precios internos, a partir del año de 1996 ASERCA inició la operación de un esquema de precios de indiferencia 6 de los principales granos, entre ellos el trigo, formulado con base al precio internacional del grano y el costo de internación a zona de consumo (maniobras,

fletes, etc.). Por sus características, el organismo público considera el Trigo Suave Rojo de Invierno y el Trigo Duro Rojo de Invierno (SIAP, 2008).”(Rojas & Abreu, 2008)

Para 2001, con el cambio de gobierno, se vive un periodo de incertidumbre en las políticas a seguir en la comercialización de granos que finalmente deriva en el establecimiento de apoyos adicionales a los compradores. En 2004 se inicia el programa de Agricultura por Contrato (AXC) y compensaciones de base para el maíz amarillo que después terminarían incluyendo al maíz blanco.

La situación del campo se ha transformado desde un contexto Keynesiano con políticas proteccionistas y un mercado altamente regulado por la empresa estatal CONASUPO, hasta la post-liberación del mercado ya en un contexto neoliberal con los efectos del pensamiento de la época y las tendencias a la globalización y las economías abiertas, la firma del TLCAN y sus efectos sobre los actores de la producción agrícola. (Ahmed, 2018)

La influencia de las políticas públicas de México en el reordenamiento de la producción el maíz, el cambio en la dinámica productiva que generaron y como existe heterogeneidad entre los productores del país, sobre todo, una marcada desigualdad entre los grandes productores y comercializadores de la agricultura comercial y los pequeños productores de la agricultura de subsistencia, esto debido a como se ejercen los apoyos gubernamentales al campo y las instituciones encargadas de ser el vehículo entre productores y el financiamiento. (Eakin, Perales, Appendini, & Sweeney, 2014)

Según Rojas y Abreu: “Muchos países han instituido, desde hace tiempo, grupos paraestatales que se encargan de mantener los niveles de precios mínimos de los distintos productos agrícolas que producen e importan.

Del mismo modo, los gobiernos también han participado en programas que subsidian a los exportadores, con el fin de defender su participación en el mercado y aumentar su exportación. En ambos casos, esto ha causado un mercado protegido de los efectos de las fluctuaciones en los precios de los productos agrícolas.

Aunque estas prácticas siguen existiendo en cierta medida, en la actualidad existe una tendencia mundial hacia la privatización de los canales de distribución. Con este cambio surgen nuevos riesgos de fluctuaciones en los precios que deben afrontar tanto los vendedores como los compradores.

Afortunadamente, esos riesgos de fluctuaciones en los precios pueden controlarse con éxito participando en los mercados de futuros. Las compañías se protegen de los cambios en los precios

sin tener que depender de programas estatales de determinación de precios. Obtienen dicha protección por medio de los mercados de futuros, "asegurándose" un nivel de precios específico varios meses o hasta un año antes de realizar transacciones de contado."(Rojas & Abreu, 2008)

Antecedentes de los mercados de futuros de materias primas

A continuación, se destacan algunas características de los mercados de futuros de materias primas que son relevantes para esta investigación.

Se ha investigado sobre la viabilidad de utilizar los mercados de futuros agrícolas como herramienta para cubrir los riesgos ante las fluctuaciones de precios del trigo a nivel global derivado de todos los factores que afectan la producción de este cereal en el mundo.

Dichos factores incluyen las necesidades de los clientes, los productos sustitutos, cambios de temperatura, lluvias, cambios en las expectativas de producción mundial, la oferta y la demanda y los inventarios esperados a nivel mundial. (Rojas & Abreu, 2008)

La importancia que tienen las variaciones en los precios de materias primas tan importantes como el alimento puede traer beneficios a una parte y perjuicios a la otra. Para los productores de trigo resulta imposible que además de correr riesgos por factores naturales como la sequía, insectos, maleza o bajo rendimiento de las cosechas, tengan que sobrellevar una baja inesperada del valor de su producción.

De la misma manera, ejemplifica que un productor de harina de trigo, además de tener riesgos inherentes al costo de la mano de obra, maquinaria, almacenamiento, entregas, clientes, ventas y cobranzas, también puede incurrir en costos más elevados de su materia prima, el trigo.

Los mercados de futuros de materias primas son una herramienta útil para enfrentar los riesgos causados por la volatilidad en los precios para productores y consumidores de una gran variedad de productos, desde maíz, trigo, sorgo, soya, café, algodón, azúcar, cacao, concentrado de jugo de

naranja, energéticos como el gas natural, el petróleo, biocombustibles derivados del maíz y del azúcar, hasta metales como el oro, plata, cobre y platino.

Un contrato de futuro es aquel que se cotiza en una bolsa de futuros para la entrega de un producto básico específico en un momento en el futuro; el cual especifica el artículo a entregarse, las reglas y condiciones de la entrega. (CME-Group, 2019)

En México, el gobierno federal, en conjunción con los gobiernos locales, creó instituciones para regular el proceso de comercialización de varios de los principales productos agrícolas. Recientemente, las autoridades encargadas de la vigilancia de dicho proceso han hecho varios esfuerzos encaminados hacia la desregulación de este. Sin embargo, las distorsiones del mercado persisten y no permiten la determinación eficiente de precios. (Appendini, 2014)

Según Doporto Miguez y Michelena: “Una de las aristas más investigadas en la actualidad es la eventual incidencia de la vinculación de la volatilidad de los precios de los commodities con los nuevos instrumentos financieros disponibles.

Es bien conocido y ampliamente citado en la literatura el papel que han jugado los commodities como inversiones alternativas a los tradicionales activos financieros. Esta situación obedece a varias razones, como la política monetaria laxa llevada a cabo por los Estados Unidos que mantuvo las tasas de interés en niveles cercanos a cero; la posibilidad que ofrecen los commodities de diversificar los riesgos de las carteras de inversión al tener distintas correlaciones con los bonos y las acciones; la depreciación del dólar respecto de otras monedas, y la abundancia de capitales ávidos de mayores retornos, entre otras.

Si bien se reconoce que en los últimos años se ha registrado una creciente interdependencia entre la evolución de los mercados de commodities y el sector financiero, la evidencia empírica no permite aseverar de manera concluyente que el aumento de la actividad especulativa en torno de las materias primas explique per se de manera sustantiva la volatilidad que se ha registrado en sus precios.

En este sentido, existe un segmento de la literatura que intenta comprobar por vía de distintos métodos la hipótesis de que la actividad financiera no ha sido un factor determinante de la volatilidad del precio de los commodities, siendo refutada por otra corriente que concluye que la volatilidad se exacerbó como consecuencia de la expansión de la actividad especulativa. A continuación, se sintetizan los principales resultados de las investigaciones desarrolladas por los más importantes organismos internacionales.

Al respecto, un reciente estudio de la OCDE elaborado por Irwin y Sanders (2010) señala que no ha surgido una evidencia concluyente de que los mecanismos de especulación hayan impulsado la suba de precios que se produjo durante los años bajo análisis (junio de 2006 a diciembre de 2009).

Por el contrario, la intervención de los index funds en los mercados de commodities habría brindado liquidez adicional que permitió reducir la volatilidad y el recalentamiento de las materias primas y productos alimenticios mundiales. En consecuencia, no sería posible aseverar que las posiciones financieras que mantienen los index funds y los swap dealers impacten sobre los retornos del mercado.

Si bien cabe reconocer que la mayor participación de estos nuevos actores implica un cambio estructural en los mercados de commodities, la evidencia disponible no permite inferir que su actuación haya generado mayor volatilidad. Así, aun cuando ese cambio estructural ha coincidido, sin lugar a duda, con la suba de precios registrada en el período bajo análisis, no necesariamente habría contribuido a que ese fenómeno se produjera.

El estudio hace referencia a otros trabajos que enfatizan el argumento de la burbuja impulsada por la actividad financiera y sostiene que el vínculo entre los index funds y el precio de los futuros de commodities no ha sido bien abordado en buena parte de dichos estudios al incurrir en un error estadístico frecuente que es confundir la correlación con la causalidad.

De esta forma, la compra de futuros de commodities por parte de los index funds concomitantemente con la suba de precios de los commodities no permite inferir la causalidad entre ambas variables.”(Doporto Miguez & Michelena, 2011)

Limitaciones de la información del mercado de las materias primas

Freidberg (Freidberg, 2017) explica que, el maíz, la soya y el trigo son ingredientes que se encuentran en la mayoría de los procesos de la industria alimentaria, dominan los campos agrícolas alrededor del mundo.

Aun así, son solo unas pocas empresas las que compran, almacenan, envían, procesan y venden estos productos. Poco se sabe sobre las prácticas de estas empresas que surten de materia prima a las compañías que producen los alimentos que consumimos.

Entre las empresas transnacionales más grandes, encontramos a Archer-Daniels Midland (ADM), Bunge, Cargill y Louis Dreyfus, conocidas como las ABCD. Estas empresas son ejemplo del poder económico que otorga el conocimiento profundo de los mercados que mantienen bien alimentado al sistema capitalista del mundo actual.

Se debe hacer la aclaración de que los granos son materias primas por que son los consumibles de un proceso industrial, y porque no importa de donde venga una cosecha o quien la haya producido mientras cumpla con ciertos estándares de calidad. Para la mayoría de los industriales resulta indiferente origen, sabor o textura, como el caso del maíz, todo se reduce a clasificaciones grado 1, 2, 3, 4 o 5.

Estas clasificaciones han tenido un impacto monumental en el comercio, pero sobre todo en el medio ambiente. La integración del comercio electrónico en las bolsas de materias primas como la bolsa de Chicago y los incentivos de los gobiernos para aumentar la producción de alimentos a escala para lograr una ansiada autosuficiencia alimentaria han favorecido el crecimiento de empresas especializadas en la compra, la venta y la especulación de precios de las cosechas del mundo.

En respuesta a la creciente preocupación del público sobre la sustentabilidad de las actividades productivas, las compañías productoras de nuestros alimentos han identificado riesgos ecológicos y reputacionales de sus marcas, por lo que han optado por buscar fuentes sostenibles de sus

materias primas y han apoyado diversas iniciativas que buscan recabar información sobre el origen y las prácticas de producción de sus proveedores.

Estas iniciativas requieren la cooperación de las grandes compañías ABCD, las cuales no han logrado proveer toda la información que resulta necesaria para rastrear el origen de las materias primas que comercializan.

El origen de las cosechas fue borrado por las prácticas de la bolsa de Chicago, ya que, ante la creciente producción de granos en los Estados Unidos, fue complicándose cada vez más el traslado y almacenaje de los granos en sacos. Los sacos eran importantes porque tenían la información de quien los producía o de quien los comercializaba, pero requerían traslado y almacenaje por separado.

Para lograr mayor eficiencia, en 1856, la bolsa de Chicago creó clasificaciones de granos, por lo que la procedencia dejó de ser importante, al llegar a la bolsa de Chicago, solo se debía clasificar, realizar el proceso de pesaje y entonces era posible realizar una mezcla de la mercancía para el traslado y almacenamiento a granel.

Al darse cuenta de esto, los productores dejaron de limpiar su cosecha, pues la suciedad también pesaba y mayor peso significaba mayores ingresos. Para combatir estas prácticas, la bolsa de Chicago debió establecer grados, siendo el grado 1 el mejor pagado, al presentarse libre de suciedades y granos quebrados, y rechazando las entregas que no cumplían con los estándares de al menos el grado 5.

Con estas clasificaciones y grados, le mercado de Chicago redefinió el mercado de los granos. Los compradores y vendedores solamente necesitaban enfocarse en saber cuál era la clasificación y grado del grano que estaban negociando con lo que el origen de la cosecha de dejó de ser importante.

Con este nuevo sistema, también se desarrolló la especulación de los precios de los granos, no solo los que ya estaban en las bodegas, si no lo que se entregarían en el futuro y que podían incluso no haberse sembrado aún.

Se comenzó a especular con el precio que alcanzarían las diferentes clasificaciones y grados de los granos, no solo inversionistas, sino que productores y consumidores de granos comenzaron a participar en la especulación para evitar pérdidas por el riesgo de los cambios en los precios.

Así fue como los eventos que afectaban a los precios de los granos comenzaron a ser tomados cada vez con mayor importancia, y para el año 1858, ya se usaba el telégrafo en la bolsa de Chicago como medio para intercambiar información con compradores y vendedores de otras ciudades como Nueva York y Londres.

La creación de esta red de comunicación entre mercados logró borrar la aparente barrera de distancia y tiempo entre los mercados logrando unificarlos, por lo que cosechas de cualquier lugar y cualquier tiempo comenzaron a comercializarse en cualquier lugar derivando en el crecimiento del mercado de las materias primas.

Actualmente, la comercialización de granos en el mundo se basa en dos tipos de información, la de la producción de granos y la de los mercados financieros. Sobre la producción, se puede analizar la oferta y la demanda de granos, la producción, los inventarios, el clima entre muchas otras.

Sobre los mercados financieros, se puede analizar la oferta y la demanda de los contratos de futuros y el contraste de precios sobre la producción actual y los inventarios y la producción esperada. Existe gran valor en la información del mercado de la producción que se puede obtener antes de que la mayoría de los actores en los mercados financieros la conozcan y la asimilen.

Las compañías ABCD son participantes de ambos mercados, el de la producción y el financiero, y su tamaño les ha permitido obtener información antes y mejor que los demás actores del mercado, logrando grandes beneficios. El más grande de los comercializadores de granos es Cargill, que tiene su base de operaciones en la ciudad estadounidense de Minnesota, pero que opera oficinas, plantas y bodegas en 67 países del mundo.

La divergencia en los precios de las materias primas

Alrededor del mundo, los productores han utilizado el mercado de materias primas y sus derivados financieros para proteger el margen de utilidad de su producción. Este depende de contratar compras o ventas de dicha producción esperada a un precio y tiempo futuro definido. Llegado el tiempo cercano al vencimiento de dicho contrato, se realiza una operación contraria a la compra o la venta para cancelar el efecto financiero, como quien carga de un lado y abona en el otro para equilibrar una partida contable.

En la teoría, esto genera un saldo a favor o en contra que a su vez se equilibra con la ganancia o la pérdida de la compra o venta real de la mercancía a precio presente en el mercado real (la otra es una compra o venta de un contrato en términos financieros en la bolsa de valores del Chicago Mercantile Exchange).

Un ejemplo práctico de esto sería un productor mexicano que celebra un contrato de venta de su cosecha de maíz en el mes de marzo con una bodega en 3500 pesos por tonelada. Al mismo tiempo, compra una opción de venta en la bolsa con precio de ejercicio igual al de su contrato de venta de maíz de 3500 pesos por tonelada y en este invierte 500 pesos en la prima de riesgo.

Cuatro meses después, en el mes de junio cosecha y entrega el maíz a la bodega y el precio está en 4000 pesos por tonelada. Entonces el productor vende su opción de venta en la bolsa, que ahora tiene un valor de 1000 pesos al tener un precio de ejercicio contratado menor al que prevalece en el mercado actual.

Esto genera una utilidad de 500 pesos derivados de la operación de una opción financiera que compensa el menor precio que obtiene al entregar su cosecha a la bodega al valor contratado de 3500 pesos por tonelada cuando el valor al momento de la entrega era de 4000 pesos por tonelada, lo que genera una pérdida derivada de la operación de venta real de la mercancía.

Según van Huellen (van Huellen, 2018), en un análisis realizado con precios del mercado de granos en los Estados Unidos de América (EUA) entre 2005 y 2010, se observa que los precios financieros y los de las mercancías físicas han fallado en converger debido a la amplia liquidez que los grandes

inversionistas han provisto a los mercados de granos y demás productos agrícolas, superando varias veces en monto de inversiones al valor total de la producción.

Esto se debe a que los índices de precios de las materias primas se han utilizado como instrumentos de inversión y han ocasionado grandes distorsiones en los precios de la oferta y la demanda real de las materias primas durante la mayor parte de la vida útil de los contratos de compra venta financiera. Al final de dicha vida útil, las grandes inversiones se mueven al siguiente contrato dejando el valor real de las mercancías ya muy cerca del valor presente.

En EUA, en 2010 se introdujo una regulación llamada el acto Dodd-Frank, la cual otorga facultades al organismo regulador de loes mercados de materias primas en ese país, la Commodity Futures Trade Commission (CFTC), para establecer límites a las posiciones de contratos de futuros que pueden tomar los inversionistas que no son parte de la cadena de producción y comercialización de las materias primas.

Esto con el objetivo de regular la cantidad de recursos financieros que pueden colocarse en el mercado de materias primas y evitar deformaciones o divergencias entre el precio de las materias primas en el mercado y la bolsa de Chicago. De cualquier manera, se ha argumentado que esta regulación ha fallado en ser suficiente.

Según Doporto Miguez y Michelena: (Doporto Miguez & Michelena, 2011) “Otra importante organización como la FAO (2010) se ha referido al tema, aunque de manera menos contundente, al describir claramente las dos visiones sobre la especulación, los precios y la volatilidad, aunque destacando el papel positivo del mercado de futuros al permitir que los productores transfieran el riesgo-precio a los especuladores.

En este sentido, el estudio citado resalta la importancia del incremento de la participación de estos agentes, que ha aumentado la liquidez de los mercados de commodities, y señala que sólo el 2% de los contratos de futuros se cierran con la entrega física de la materia prima, porcentaje insignificante que podría estar indicando la muy escasa influencia del mercado de futuros sobre los precios contado (spot) de los commodities.

Finalmente, en lo que se refiere a los procesos especulativos, el trabajo en cuestión sostiene que la evidencia empírica no es concluyente, aunque existe un número de razones para pensar que la especulación no ha sido el determinante principal de la suba de precios de los commodities entre 2006 y 2008.

En línea con el trabajo de la OCDE, el análisis de la FAO sostiene que las medidas que se tomen para reducir la especulación podrían ejercer efectos no deseables, al disminuir la liquidez en mercados en los que se busca la transferencia de riesgos. Por ello, sugiere que las regulaciones deberían apuntar al buen funcionamiento de los mercados a través de mecanismos que alienten la transparencia y el aumento de la información disponible, evitando regulaciones que desalienten la especulación para permitir el desarrollo del mercado de commodities.

Por su parte, el grupo de trabajo impulsado por los ministros de Finanzas del G-8 , "International Organization of Securities Commissions (IOSCO) Task Force on Commodity Futures Markets", recopiló y analizó los documentos elaborados por organizaciones internacionales, bancos centrales y organismos reguladores, en respuesta a la preocupación que ha generado la excesiva volatilidad de los precios de los commodities durante el período 2006-2008.

El informe final (OICV-IOSCO, 2009) que presentó la institución concluye que los fundamentales económicos, más que la actividad especulativa, explican las variaciones en los precios de los commodities. No obstante, sugiere continuar con el monitoreo de su evolución para mejorar la comprensión de los mercados de futuros y sus regulaciones y la interacción entre éstos con los mercados físicos de esos commodities, haciendo un llamado a mejorar la calidad, disponibilidad y la transparencia de la información de los mercados de futuros.

En su condición de principal bloque comercial internacional, la Unión Europea también ha seguido de cerca el tema de la volatilidad de los precios de los productos básicos, a cuyo efecto un grupo de trabajo ha elaborado un estudio sobre la materia que revisa evidencias a favor y en contra de la existencia de una burbuja especulativa en el mercado de commodities (Commission of the European Communities, 2008 a y b).

El estudio concluye que "la explicación más probable para el incremento de precios entre 2007 y 2008 parece ser una combinación de fundamentales económicos en conjunción con factores específicos del mercado financiero, que podrían haber amplificado los cambios en los precios" (Commission of the European Communities, 2008 b: 17).

Además, agrega que la volatilidad se ha incrementado, al menos, en algunos commodities y parece registrarse una superposición entre los precios altos y el incremento de la volatilidad. Al mismo tiempo, se habría acrecentado el número de los contratos abiertos (open interest) pari passu con el incremento de la volatilidad.

No obstante, estas afirmaciones, el hecho de que la volatilidad se incremente en línea con los precios y con la cantidad de contratos abiertos no establece necesariamente una relación de causalidad entre ambas variables. Por ello, ante la imposibilidad de establecer los factores concretos que determinan la volatilidad, el informe comunitario se limita a manifestar preocupación por su presencia y aborda las posibles soluciones a través de un nuevo marco regulatorio."

2. Planteamiento del problema

Actualmente, en México, no existen suficientes estudios sobre el comportamiento de los precios del maíz. Se han estudiado leyes y marcos regulatorios del comercio en materia nacional e internacional, los efectos de la liberación del mercado posterior a la CONASUPO y del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (Appendini, 2014).

También han sido objeto de estudio algunos de los efectos de los precios internacionales en el mercado nacional, como por ejemplo en el precio de la tortilla. Se ha analizado la producción de biocombustibles y a dinámica de producción de maíz en México. Adicionalmente, se han investigado los efectos de las semillas mejoradas y el maíz genéticamente modificado (Fitting, 2006).

En la actualidad, el maíz que se produce en el mundo se comercializa bajo los estándares establecidos por la mayor bolsa de materias primas del mundo, el Chicago Mercantile Exchange, con sede en la ciudad de Chicago, Illinois en los EUA. Debido a que ahí se comercializa el mayor volumen de maíz producido en el mundo, los precios que se establecen en este mercado son el principal referente para esta mercancía y debido a que los precios están expresados en dólares americanos es que cobra relevancia el tipo de cambio del peso-dólar americano para establecer los precios del maíz en México(Scuse, 2016). Lo expuesto con anterioridad, no es privativo del maíz, sucede lo mismo con diferentes materias primas producidas en México y en el mundo.

Al ser el maíz, la materia prima con mayor volumen de producción en el mundo y el dólar americano y el peso mexicano dos de las divisas con mayor volumen de operación, su precio está sujeto a grandes variaciones en el tiempo, es decir, experimenta una alta volatilidad(Couleau, Serra, & Garcia, 2018). Esta investigación propone el estudio de la volatilidad de estos componentes del precio del maíz en México utilizando herramientas econométricas que brinden confiabilidad, objetividad y validez a los resultados que se obtengan.

Por lo anterior, se recurre a una búsqueda en la literatura que permita establecer cuáles son las herramientas econométricas a las que han recurrido los investigadores nacionales e internacionales en otras investigaciones para analizar el comportamiento de los precios de otros activos financieros y cuales han sido las características de los resultados obtenidos en dichas investigaciones.

3. Preguntas de investigación

Pregunta general de la investigación

¿Pueden aplicarse los modelos GARCH para pronosticar el comportamiento de la volatilidad de los precios internacionales del maíz en México analizando el periodo de 1999 a 2019?

Preguntas Secundarias

¿Cuál ha sido el comportamiento de la volatilidad de los precios del maíz en México en el periodo de 1999 a 2019?

4. Objetivos

Objetivo General de la investigación

Determinar si los modelos GARCH pueden aplicarse para pronosticar el comportamiento de la volatilidad de los precios del maíz en México analizando el periodo de 1999 a 2019.

Objetivos Secundarios

Realizar un análisis del comportamiento de la volatilidad de los precios del maíz en México en el periodo de 1999 a 2019.

5. Hipótesis

Los modelos GARCH pueden aplicarse para pronosticar el comportamiento de la volatilidad de los precios internacionales del maíz en México analizando el periodo de 1999 a 2019.

6. Justificación

La agricultura es la fuente de ingresos de una parte relevante de la población en México, de la cual, su producción principal es el maíz. (FIRA, 2014) Por lo que resulta de gran importancia el análisis del comportamiento de los precios del maíz en México y la posibilidad de pronosticar sus tendencias en el futuro con el fin de apoyar a productores y consumidores en la toma de decisiones de precios de compra y venta de esta materia prima y principal fuente de alimento en nuestro país.

A los productores, esta investigación les permitirá conocer los valores mínimos esperados para su producción con el fin de evitar vender su producción cuando los precios del mercado se encuentren deprimidos y también podrán conocer los valores máximos esperados para buscar vender su producción maximizando sus ganancias.

A los consumidores, les permitirá conocer los valores mínimos de la producción con el fin de comprar cuando los precios del mercado se encuentren deprimidos y también podrán conocer los valores máximos esperados para evitar comprar en el momento que sus ganancias se vean afectadas.

Así mismo, es posible utilizar la información generada por esta investigación para tomar mejores decisiones en la adquisición de coberturas de precios del maíz disponibles en el mercado de derivados.

7. Estructura de la investigación

Esta investigación se conforma de una introducción, cuatro capítulos (marco teórico, metodología de la investigación, aplicación de modelos GARCH, resultados) y sus conclusiones.

En la introducción se revisan algunos antecedentes relevantes a esta investigación tales como: la importancia del maíz en el mundo, la comercialización del maíz en el mundo y en México, antecedentes del mercado de futuros de materias primas, las limitaciones de la información del mercado de futuros de materias primas, así como, la divergencia en los precios de las materias primas.

En seguida, se realiza el planteamiento del problema, se establecen las preguntas de investigación, se fijan los objetivos de la investigación, se formulan las hipótesis y se menciona la justificación de esta investigación.

El primer capítulo define el marco teórico de esta investigación. Se describen las variables independientes (precios del maíz y tipo de cambio FIX) y la variable dependiente (volatilidad). Continúa haciendo una revisión de las herramientas existentes para el análisis estadístico y econométrico y termina describiendo los modelos de análisis de la volatilidad tipo GARCH.

El segundo capítulo aborda la metodología implementada en esta investigación. Se mencionan los tipos y diseños de investigación que fueron elegidos, así como las técnicas y los instrumentos de medición implementados. Se explica la elaboración del modelo utilizado, el análisis de contenido, la población de estudio, la determinación del a muestra, el sujeto de estudio y los métodos de análisis que fueron requeridos.

En el tercer capítulo se realiza la estimación de diversos modelos GARCH. Se describe la muestra utilizada, los resultados del modelo, la estimación, las pruebas de validación estadística y se realizan los pronósticos de volatilidad.

En el cuarto capítulo se exponen los resultados de la investigación y se comentan los hallazgos que se efectuaron para cerrar el capitulado y terminar con las conclusiones y algunas recomendaciones de esta investigación.

Capítulo I
MARCO TEÓRICO

Esta investigación consiste en un análisis de la volatilidad observable en los precios del maíz en México. Mismo que se compone del precio internacional del maíz en el Chicago Mercantile Exchange y el tipo de cambio FIX publicado por el BANXICO. Ambos datos se pueden ordenar en series de tiempo que pueden ser analizadas por la aplicación de modelos GARCH.

Dicho modelo requiere la estimación de una ecuación de la media y una de la varianza que se obtienen mediante modelos autorregresivos de media móvil (ARMA), por lo que, a continuación, se describen las series de tiempo, sus componentes, la estacionariedad, los métodos de pronóstico,

los modelos autorregresivos, los modelos de media móvil, la combinación de estos últimos, los modelos autorregresivos integrados de media móvil que dan sustento a los modelos GARCH.

Según Argaez: En finanzas es frecuente hablar de generación de expectativas a partir de situaciones que sucedieron en el pasado. Por ejemplo, se relaciona la estabilidad o inestabilidad presente en los mercados financieros con su comportamiento inmediato anterior. Además, un cambio brusco en el mercado está seguido de una evolución tranquila.

En situaciones como éstas, el comportamiento en el momento actual responde a una expectativa generada sobre el valor de cambio producido en el momento precedente; es decir, a un valor esperado condicionado por la varianza del periodo anterior. Engle (1982) propone un modelo que expresa una varianza condicional como función lineal del cuadrado de los valores pasados del modelo; este modelo es conocido como el modelo Autorregresivo Condicional Heterocedástico (ARCH).

McNees (1979) sugiere que la incertidumbre o aleatoriedad asociada con los diferentes periodos parece variar ampliamente a través del tiempo. Mas recientemente, López (2004) indica que los errores grandes y pequeños tienden a agruparse en periodos de tiempo consecutivos. Este comportamiento es el que sugiere el uso del modelo ARCH, que predice la varianza considerando el comportamiento de los errores pasados. Esta predicción varía con el tiempo.

El modelo ARCH posee características que lo hacen atractivo para quienes realizan aplicaciones econométricas, aunque los economistas han encontrado que su capacidad de predicción vara de un periodo a otro. McNees (1979) indica que los datos muestran cierta correlación durante el período de tiempo en el que se presenta una varianza grande.

Otra área de aplicación se encuentra en la teoría monetaria y finanzas, donde los portafolios de activos financieros son considerados como funciones de los valores esperados y de las varianzas de las tasas de rendimiento.

Cualquier cambio en la demanda de los activos debe estar asociado con cambios en los valores esperados y en las varianzas de las tasas de rendimiento. Por tal motivo los modelos de regresión estándar o series de tiempo ARIMA no son adecuados porque suponen que la varianza es constante a través del tiempo.

En la práctica se requieren procesos ARCH de orden elevado para lograr capturar la dinámica de la volatilidad condicionada en las series financieras (Peters, 2001). Ante este caso, Bollerslev (1986) presentó un modelo más general que el modelo ARCH, denominado GARCH, el cual

describe el agrupamiento de la volatilidad y supone que el grado de incertidumbre en el rendimiento de un activo varía en el tiempo, y por lo tanto la compensación que requieren los inversionistas con aversión al riesgo para invertir, también debe variar. A diferencia del modelo ARCH, el modelo GARCH no solo involucra a las perturbaciones sino también a las varianzas rezagadas. (Argáez Sosa et al., 2010)

I.1. Series de tiempo

Las series de tiempo se pueden definir como una secuencia de observaciones, medidas en determinados momentos del tiempo, ordenados cronológicamente y espaciados entre sí de manera uniforme, esto de acuerdo con Villavicencio(Villavicencio, 2010). Una serie de tiempo es aquella que proporciona una descripción de la naturaleza aleatoria del proceso que generó la muestra de observaciones en estudio, esta descripción está en función de la aleatoriedad del proceso.

Según González(González Sierra, 2010), existen cuatro componentes de las series de tiempo: tendencia, estacionalidad, ciclicidad y fluctuaciones irregulares. La tendencia es la dirección general de la variable en el periodo de observación o el cambio de la media de la serie de tiempo. La estacionalidad se refiere a las variaciones periódicas que exhibe una serie de tiempo dentro de un tiempo relativamente corto (menor a un año).

La ciclicidad se caracteriza por las fluctuaciones alrededor de la tendencia de una serie de tiempo en periodos mayores a un año causadas por el entorno que afecta la variable. Las fluctuaciones

irregulares se refieren a fluctuaciones aleatorias sin un patrón establecido y causado por diferentes razones que no pueden ser previsibles.

Enders (Enders, Chung, Enders, Shao, & Yuan, 2008) define la estacionariedad como la condición que implica que la media y la varianza de la serie de tiempo son constantes y pueden ser aproximadas si se tienen datos suficientes. Las series no estacionarias observan cambios en la varianza, su tendencia varía y presenta efectos estacionales.

Para comprobar si existe estacionariedad en una serie de tiempo, es posible utilizar la prueba de Dickey Fuller aumentada, la cual mantiene una hipótesis nula que establece que la serie de tiempo no es estacionaria.

Los modelos de series de tiempo pueden ser deterministas o estocásticos. Los modelos deterministas no toman en cuenta la fuente de la aleatoriedad de los datos, por lo que, resultan más simples, pero menos precisos. Los modelos estocásticos asumen que la serie de tiempo analizada es extraída de un grupo de datos aleatorios con una distribución conjunta que es difícil de determinar por lo que construye modelos aproximados que buscan pronosticar su comportamiento. Los principales modelos estocásticos son los modelos autorregresivos (AR), los modelos de media móvil (MA), los modelos mixtos (ARMA) y los modelos mixtos integrados (ARIMA).

I.2. Modelos autorregresivos

Los modelos autorregresivos son compuestos por series de tiempo donde la variable es representada como una suma ponderada de observaciones pasadas de dicha variable. Estos modelos suponen que el valor de la variable *Y* en un momento *t* es afectada por los valores que dicha variable ha tenido en observaciones anteriores ($t - 1 \ldots t - p$) donde *p* representa la cantidad de rezagos u observaciones anteriores de la variable que se supone afectan el valor de la observación actual, lo cual puede ser representado mediante la siguiente ecuación:

$$(1)\ y_t = \delta + \alpha\, y_{t-1} + \beta\, y_{t-2} + \ldots + \varphi\, y_{t-p} + \varepsilon_t$$

Donde:

y_t representa el valor de la variable en el momento *t*

δ, α, β y φ son los coeficientes

p es la cantidad de rezagos o valores anteriores tomados en cuenta

ε_t es el término de error o ruido blanco en el momento *t*

Los modelos de media móvil representan series de tiempo como una combinación lineal de una secuencia de ruido blanco en distintos tiempos, lo cual puede ser representado mediante la siguiente ecuación:

$$(2)\ y_t = \varepsilon_t + \gamma\ \varepsilon_{t-1} + \varpi\ \varepsilon_{t-2} + \ldots + \nu\ \varepsilon_{t-ə} + \mu$$

Donde:

y_t representa el valor de la variable en el momento *t*

γ, ϖ y ν son los coeficientes

$ə$ es la cantidad de rezagos o valores anteriores tomados en cuenta

ε_t es el término de error o ruido blanco en el momento *t*

μ es el valor aleatorio de la regresión

Los modelos mixtos o modelos autorregresivos de media móvil (ARMA por sus siglas en inglés) son compuestos por series de tiempo donde la variable es representada como una suma ponderada de observaciones pasadas de dicha variable y de los errores actuales y anteriores, lo cual puede ser representado mediante la siguiente ecuación:

$$(3)\ y_t = \delta + \alpha\ y_{t-1} + \beta\ y_{t-2} + \ldots + \varphi\ y_{t-p} + \varepsilon_t + \gamma\ \varepsilon_{t-1} + \varpi\ \varepsilon_{t-2} + \ldots + \nu\ \varepsilon_{t-ə} + \mu$$

Donde:

y_t representa el valor de la variable en el momento *t*

δ, α, β, φ, γ, ϖ y ν son los coeficientes

p es la cantidad de rezagos o valores anteriores tomados en cuenta

$ə$ es la cantidad de rezagos o valores anteriores tomados en cuenta

ε_t es el término de error o ruido blanco en el momento *t*

μ es el valor aleatorio de la regresión

En los casos donde las series de tiempo son no estacionarias los modelos de series de tiempo descritos anteriormente pierden su precisión debido a que no toman en cuenta que pueden presentar cambios en la varianza, su tendencia varía y presenta efectos estacionales. Es posible transformar el conjunto de datos de una serie no estacionaria para convertirla en estacionaria y poder aplicar alguna de las metodologías ARMA.

A este tipo de modelos se les conoce como modelos autorregresivos integrados de media móvil (ARIMA). Para transformar una serie de tipo no estacionaria en serie de tipo estacionaria es necesario obtener la diferencia en el valor de la variable en cada una de las observaciones. Una serie y_t será una serie diferenciada de orden *d* si $w_t = \Delta^d y_t$ es estacionaria. Las series de datos pueden requerir varias transformaciones para ser estacionarias, por lo que el orden *d* determina la cantidad de veces que se debe diferenciar la serie para lograr la estacionariedad.

La obtención de la primera diferencia puede ser representado mediante la siguiente ecuación:

$$(4)\ \Delta y_t = y_t - y_{t-1}$$

La obtención de la segunda diferencia puede ser representado mediante la siguiente ecuación:

$$(5)\ \Delta^2 y_t = \Delta y_t - \Delta y_{t-1}$$

Tomando en cuenta lo anterior, es posible representar un modelo autorregresivo integrado mediante la siguiente ecuación:

$$(6)\ \Delta^d y_t = \delta + \alpha\, y_{t-1} + \beta\, y_{t-2} + \ldots + \varphi\, y_{t-p} + \varepsilon_t + \gamma\, \varepsilon_{t-1} + \varpi\, \varepsilon_{t-2} + \ldots + \nu\, \varepsilon_{t-ə} + \mu$$

I.3. Modelos de series de tiempo para el análisis de la volatilidad

En una serie de tiempo, los valores que toma una variable no son independientes entre sí, sino que los valores anteriores influyen en los valores del presente, es por eso por lo que resulta necesario medir el nivel de interdependencia de las variables. Para ello podemos apoyarnos en las funciones de autocorrección total y autocorrelación parcial.

La función de autocorrelación total mide la correlación entre dos periodos tomando en cuenta el conjunto total de periodos disponibles, mientras que la función de autocorrelación parcial mide únicamente la correlación directa entre esos dos periodos.

Enders (Enders et al., 2008) sugirió la estrategia Box-Jenkins para la selección del modelo que describa de manera más precisa el comportamiento de una variable, la cual cuenta con tres etapas: identificación, estimación y diagnóstico. En la etapa de identificación, se debe representar de manera gráfica el conjunto de datos que componen la serie de tiempo para determinar si esta presenta estacionariedad o no, en cuyo caso, se deberá realizar las transformaciones necesarias para lograr estacionariedad.

En la etapa de estimación se utiliza la función de autocorrelación parcial para determinar el número de rezagos del proceso autorregresivo. Además, se utiliza la función de autocorrelación total para definir el número de rezagos del término de error (ruido blanco) que se debe incluir dentro del proceso de media móvil. Luego deben determinarse varios modelos y estimar sus coeficientes para después utilizar el criterio de información Akaike (AIC) o el criterio de información Swartz (SIC) para elegir el modelo estacionario que presente el mejor ajuste.

En la etapa de diagnóstico se analizan los residuos que se generan durante la estimación para constatar que estos se comportan como ruido blanco y se elige el modelo ARIMA que arroja el menor error de predicción posible.

Tsay (Tsay, 2014) ha identificado que la volatilidad tiene características identificables que afectan las series de tiempo y que estas deben ser tomadas en cuenta al momento de estimar modelos de predicción de series de tiempo. La primera de estas características es la presencia de segmentos de volatilidad o conglomerados. La segunda de las características es que la volatilidad presenta una evolución de manera continua en el tiempo.

La tercera es que la volatilidad no diverge al infinito si no que más bien se comporta dentro de rangos fijos. La cuarta característica observable es que la volatilidad varía en diferentes magnitudes ante cambios positivos o negativos en su variable. Por último, las series de tiempo en las series económicas y financieras poseen una varianza condicional al tiempo.

Los modelos ARMA y ARIMA descritos en páginas anteriores poseen una varianza incondicional, lo que limita la posibilidad de incorporar los efectos de la volatilidad en sus predicciones. Engle y Bollerslev propusieron modelos que se caracterizan por poseer una varianza condicional al tiempo, estos modelos son los modelos autorregresivos de heterocedasticidad condicional (ARCH) y los modelos autorregresivos generalizados de heterocedasticidad condicional (GARCH).

De acuerdo con Tsay (Tsay, 2014), la volatilidad a_t que presenta una variable no está correlacionada de manera serial pero si presenta dependencia, la cual puede describirse mediante una función cuadrática de los valores de sus rezagos, por lo que un modelo ARCH puede representarse mediante las siguientes ecuaciones:

$$(7)\ a_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

$$(8)\ \sigma^2_t = \alpha_0 + \alpha_1 a^2_{t-1} + \ldots + \alpha_m a^2_{t-m}$$

Donde:

$\alpha_0 > 0$, $\alpha^i \geq 0$, $i > 0$

σ^2_t es la desviación en el periodo

σ_t es la desviación estándar

ε_t representa a una secuencia de variable aleatoria independiente e idénticamente distribuida con media 0 y varianza 1.

Los coeficientes α_1 deben satisfacer las condiciones necesarias para que la varianza de a_t sea finita. Se asume que ε_t sigue una distribución normal estándar, una t-Student o una distribución generalizada de error.

Según Argáez (Argáez Sosa et al., 2010), los modelos ARCH permiten modelar series de tiempo con varianzas dependientes del tiempo, con algunas restricciones: El supuesto de no negatividad de los parámetros puede no cumplirse cuando se incrementa el número de parámetros y, la cantidad de rezagos necesarios para transformar la serie de tiempo tiende a ser muy alta.

Dichas restricciones fueron tomadas en cuenta por Bollerslev con la introducción de sus modelos autorregresivos generalizados de heterocedasticidad condicional (GARCH), los cuales introducen una varianza condicional rezagada que actúa como un término suavizador ya que permite tomar en cuenta el efecto de las volatilidades pasadas en la volatilidad actual. Enders (Enders et al., 2008) menciona que la varianza condicional de la variable sigue un proceso ARMA. Los modelos GARCH pueden ser representados mediante la siguiente ecuación:

$$(9)\ a_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

$$(10)\ \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{t=1}^{m} \alpha_i\, a_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{s} \beta_j\, \sigma_{t-j}^2$$

Donde:

$\alpha_0 > 0$, $\alpha_i \geq 0$, $\beta_j > 0$ y $\sum_{i=1}^{m}(\alpha_i + \beta_j) < 1$

σ^2_t es la volatilidad en el periodo

σ_t es la desviación estándar

Se entiende que $\alpha_i > 0$ para $i > m$ y $\beta_j > 0$ para $j > s$
La restricción $\alpha_i + \beta_i$ implica que la varianza incondicional de a_t es finita mientras que su varianza condicional σ^2_t evoluciona a través del tiempo.

ε_t representa a una secuencia de variable aleatoria independiente e idénticamente distribuida con media 0 y varianza 1.

Se asume que ε_t sigue una distribución normal estándar, una t-Student o una distribución generalizada de error.

Tsay y Enders (Calvo Bodán, 2016) establecen la forma de construir un modelo GARCH de la siguiente manera, primero se especifica una ecuación para la media de la variable construyendo un modelo ARMA con el fin de determinar la existencia de dependencia serial. Se utilizan los residuos de la ecuación para detectar los efectos de los modelos heteroscedásticos.

Para ello se utiliza la prueba estadística de correlación serial Ljung-Box que tiene un estadístico Q(m) donde m es la cantidad de rezagos y analiza los errores cuadráticos. La hipótesis nula es que los primeros m rezagos de la función de autocorrelación total de los errores cuadráticos es cero, lo que significa que no están correlacionados de manera serial. Si se rechaza la hipótesis nula significa que tenemos evidencia de autocorrelación y podemos proceder con nuestro modelo GARCH, el estadístico Q(m) tiene una distribución Pearson con m grados de libertad.

Como segunda prueba se utiliza el multiplicador de Lagrange cuya hipótesis nula es que no existe correlación serial de los errores y su estadístico mF tiene una distribución Pearson con m grados de libertad, donde m es el número de rezagos.

Si los efectos del modelo resultan estadísticamente significativos se procede a especificar el modelo y se ejecuta una estimación conjunta de las ecuaciones de la media y de la volatilidad utilizando la función de autocorrelación total para determinar el número de rezagos de ε_t y la función de autocorrelación parcial para determinar el número de rezagos de σ_t. Para revisar el modelo y ajustarlo de ser necesario, el error estandarizado debe tener la forma $\varepsilon_t = \varepsilon_t / \sigma_t$.

I.4. Volatilidad

El concepto de volatilidad puede definirse como la velocidad con la que cambian los precios. Técnicamente, la volatilidad está asociada al error estándar de las variaciones de los precios de un activo respecto al valor medio o a su tendencia. (Doporto Miguez & Michelena, 2011)

Durante los días en los que aumenta el volumen de las operaciones que se realizan en los mercados de las materias primas, las variaciones de los precios tienden a ser mayores que en los días donde existe poca operación. Esta volatilidad en los precios ha mostrado tener influencia en el aumento de los costos de las operaciones con contratos de compra venta de materias primas denominados también contratos de futuros y opciones, o derivados financieros.

Este aumento de los costos se debe que los cambios drásticos en los precios generan incertidumbre entre los operadores de estos instrumentos. En el caso de contratos de futuros, se amplía el rango de precios entre la compra y la venta, por lo cual, el comprador debe comprar más caro y el vendedor, vender más barato.

En el caso de los contratos de opciones, la volatilidad en los precios aumenta el costo de las primas pagadas por los compradores o vendedores, misma que pierden parte de su valor inmediatamente después de que desaparece dicha volatilidad.

Se ha observado que, en los periodos de alta volatilidad, la gran cantidad de operaciones generan una disminución en la velocidad con la que se ejecutan las órdenes enviadas al mercado. Se han logrado identificar periodos de entre 5 a 20 segundos en los que incluso la liquidez del mercado se ve afectada de manera momentánea. Esto no parecería grave, ya que se ha observado que la situación vuelve a la normalidad entre 15 y 40 segundos después.

La realidad es que, con el avance de la tecnología, existen plataformas de operación de alta tecnología y capacidades que son capaces de aprovechar esos segundos para ejecutar miles de órdenes de manera automática, logrando beneficios que otros operadores con menores capacidades tecnológicas son incapaces de materializar. (He, Serra, & Garcia, 2018)

Recientemente, con la incorporación de las operaciones automatizadas por computadora en los mercados de valores, la volatilidad es un tema que ha cobrado importancia debido a la incertidumbre que generan las grandes variaciones en los precios de las materias primas.

En específico, se ha observado un considerable aumento del volumen de operaciones durante las sesiones de negociación donde se dan a conocer los datos de producción y comercialización del informe de la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA por sus siglas en inglés).

Esto se debe a que dichos reportes son esperados por productores, consumidores, comercializadores y analistas por igual, ya que divulgan información altamente relevante para los mercados agrícolas en Estados Unidos y en todos los países del mundo que contribuyen en la producción de alimentos y materias primas.

Diversos estudios han encontrado que existen patrones en el comportamiento de dicha volatilidad tales como el aumento del volumen de operaciones durante la apertura y el cierre de la jornada de operaciones, así como en los horarios de publicación de los informes del USDA, lo que confirma que los reportes ejercen influencia en los precios en tiempo real.

El cambio de precios en los futuros durante la sesión genera preocupación entre los operadores de contratos de futuros y opciones porque aumenta la dificultad para lograr coberturas que respondan realmente al riesgo del cambio en los precios de las materias primas negociadas.

Cuando la extrema volatilidad se presenta, esta genera incertidumbre, la cual aumenta los costos de las primas para el caso de los contratos de opciones y amplía el rango entre los precios de compra y los de venta en el caso de los contratos de futuros. (Couleau et al., 2018)

La volatilidad es un factor que cobra gran relevancia durante el estudio del comportamiento de los precios de las materias primas. Debe de tomarse en cuenta para la planeación y los pronósticos cuando se analizan los precios, ya que la información privilegiada, la inyección de grandes cantidades de capital, el gran volumen de operaciones en días de revelación de estudios y las operaciones automatizadas generan costos que terminan influyendo de manera importante en el costo de las transacciones en los mercados de materias primas.

La volatilidad se comienza a medir en los años setenta con la presencia de la crisis causada por la inestabilidad de los precios del petróleo. Anteriormente, los modelos de econometría estaban utilizándose en su mayoría para el estudio de indicadores macroeconómicos como la inflación y las tasas de interés. La volatilidad que se presentó en los precios del petróleo detona la búsqueda de ajustes en los modelos que logren mayor precisión en las explicaciones del comportamiento de este y otros activos financieros con volumen de operaciones creciente.

El estudio de la volatilidad mediante modelos econométricos ajustados supone una herramienta válida ya que cuenta con el rigor del método científico que permite realizar aproximaciones razonables al comportamiento esperado de un activo con base en su comportamiento en el pasado e incorporando el efecto variable de los cambios de precio cuando estos son positivos o negativos. En nuestros días, predecir la volatilidad es necesario en el análisis de activos económicos si se quiere contar el mayor nivel de precisión en dichas predicciones.

Uno de los conceptos de volatilidad comúnmente aceptado en el análisis de activos financieros es que este es el término empleado para medir el riesgo derivado por la evolución dinámica de los cambios positivos o negativos en los rendimientos históricos de una serie de tiempo. Este concepto de volatilidad puede ser representado mediante la siguiente ecuación matemática:

$$(11)\ \mathrm{Var}(x) = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^{N} [x_i - E(x_i)]^2$$

Donde:

X_i representa cada una de las observaciones de la muestra que va $i = 1, \ldots, N$

$E(x_i)$ representa la media de la muestra de la variable objeto de análisis, donde la ecuación (11) representa un estimador sesgado de la varianza.

Debido a lo anterior, es posible definir que la varianza es un promedio ponderado de los cuadrados de las desviaciones de los resultados de (x) de su valor esperado, sirviendo como ponderaciones las probabilidades correspondientes de cada resultado. (Austria Carlos, 2004)

La desviación estándar es la raíz cuadrada positiva de la varianza. La ecuación (11) nos presenta un problema de sesgo en el estimador debido a no tener incorporados de manera implícita los grados de libertad. Para obtener un estimador insesgado de la varianza debemos calcular la desviación estándar de una variable aleatoria con medida desconocida y esta puede ser representada mediante la siguiente ecuación matemática:

$$(12)\qquad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}[xi - E(xi)]^2}$$

Donde:

N es el tamaño de la muestra

N - 1 son los grados de libertad que hacen insesgado al estimador

E(x_i) es la media muestral

x_i representa a cada una de las observaciones de la muestra

De este modo, la desviación estándar de los rendimientos de un activo puede representar un buen indicador por ser una medida de dispersión de los rendimientos con respecto al promedio de estos en una serie de tiempo.

Capítulo II
METODOLOGÍA

II.1. Enfoque

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo. Este tipo de enfoque tienes las características que permiten acotar el planteamiento de un problema, medir uno o varios fenómenos, recoger datos estadísticos que buscan dar solución al problema de la investigación probando diferentes hipótesis y teorías.

Como proceso, el enfoque cuantitativo es deductivo, permite establecer una secuencia de procesos que realicen pruebas con los datos objeto de estudio con el fin de analizarlos a la luz de una realidad objetiva.

Además, las bondades de este enfoque permiten la generalización de resultados, tener un control sobre los fenómenos estudiados, establecen un nivel de precisión, permiten replicar el experimento y predecir los resultados.

II.2. Modalidad

La presente investigación se asiste del análisis de la información obtenida de la revisión de la literatura disponible en bibliotecas digitales, publicaciones realizadas en periódicos, libros, revistas científicas, tesis de grado y portales de internet de empresas e instituciones nacionales e internacionales.

II.3. Tipo de investigación

Esta es una investigación de tipo exploratoria ya que expone un problema que ha resultado poco estudiado e indaga desde una perspectiva innovadora la literatura existente en busca de identificar conceptos y métodos utilizados en investigaciones anteriores para adecuarlos a la investigación propia.

También es una investigación de tipo descriptiva debido a que considera el fenómeno estudiado y todos sus componentes, mide sus conceptos, define variables y registra los datos obtenidos de la búsqueda en la literatura para su posterior ordenamiento, procesamiento y análisis de los resultados, que al ser interpretados ofrecen la posibilidad de realizar conclusiones de la investigación.

La investigación es correlacional al asociar conceptos, variables y cuantificar relaciones entre ellos que permitan realizar pronósticos de su comportamiento.

Por último, esta investigación es explicativa debido a que estructura el conocimiento existente, determina las causas de los fenómenos estudiados y genera un sentido de entendimiento.

II.4. Diseño

Los diseños de investigación se clasifican en experimentales y no experimentales. Los primeros involucran la manipulación intencionada y controlada de una o más variables independientes para posteriormente analizar los resultados sobre las variables dependientes. Los segundos consisten en llevar a cabo la investigación sin la manipulación de las variables analizadas con el fin de observar el comportamiento de un fenómeno tal como se produce en la realidad.

Las investigaciones no experimentales, a su vez, se clasifican en transeccionales y longitudinales. Las transeccionales, son investigaciones que analizan una variable en un momento dado, mientras que las investigaciones longitudinales se caracterizan por analizar la evolución de las variables al paso del tiempo.

En la presente investigación, el diseño que se habrá de utilizar es no experimental, esto responde a que se realizará una recolección de los precios del maíz y del tipo de cambio con el fin de analizarlos sin realizar manipulaciones a las variables estudiadas.

En cuanto a la clasificación de las investigaciones no experimentales, el presente estudio se debe clasificar como longitudinal debido a que los precios del maíz y del tipo de cambio que se habrán de analizar corresponden a múltiples observaciones diarias comprendidas dentro de un periodo de 20 años.

II.5. Técnicas de investigación

Esta investigación utilizará la técnica documental para recabar los datos necesarios para desarrollar este documento, los cuales incluyen los precios del maíz comprendidos dentro del periodo 1999-2019 del portal de internet de la plataforma internacional de información y servicios financieros *Investing.com* y los precios del tipo de cambio FIX publicados por el Banco de México en su portal de internet para el periodo de estudio antes mencionado.

II.6. Instrumento de medición

Los instrumentos de medición deben satisfacer tres características: confiabilidad, objetividad y validez. La confiabilidad se refiere a la capacidad de reproducción de resultados coherentes y consistentes. La objetividad consiste en que el investigador permanezca libre de sesgos y tendencias que puedan afectar los resultados obtenidos durante la aplicación del instrumento de medición. La validez es definida como la capacidad de una variable de medir el fenómeno estudiado.

El instrumento de medición que se utilizará en esta investigación es el modelo GARCH, su uso se encuentra ampliamente documentado y validado por investigadores nacionales e internacionales desde su introducción por Bollerslev hace más de 30 años.

Para garantizar la consistencia de las mediciones realizadas por el modelo, se hará uso del programa GRETL, mientras que la confiabilidad de este recae en la calidad de los datos respaldados por su fuente: el portal de información financiera Investing.com y el Banco de México.

II.7. Método de investigación

Para esta investigación, se plantea la utilización del método hipotético-deductivo. Primero se busca observar el comportamiento de los precios internacionales del maíz en el periodo 1999-2019 y del tipo de cambio FIX establecido por el Banco de México para ese mismo periodo. Segundo, consiste en la creación de las hipótesis que busque dar una explicación al comportamiento de dichas variables. Tercero, se establecen las posibilidades que se esperan obtener como resultado de dicha investigación. Por último, la observación de la posibilidad de comprobar las hipótesis realizadas mediante el análisis de los resultados obtenidos en esta investigación.

II.8. Población y determinación de la muestra

La población que se utiliza para este documento consiste en información secundaria, ya que los precios del maíz en el mercado internacional y el tipo de cambio FIX establecido por el Banco de México fueron recabados del análisis documental. Esta investigación no implica trabajar con una muestra puesto que se utiliza el total del universo de datos de cierre de mercado disponibles para el periodo que se contempla.

Debido a que el maíz es una materia prima y el tipo de cambio FIX representa un intercambio de divisas, estos cotizan en diferentes mercados financieros que, a su vez, tienen diferencias en sus días hábiles de cotización. Esto genera discrepancias entre el número de observaciones disponibles dentro del periodo objeto de estudio. Esto debido a que el tipo de cambio FIX no es publicado por

el Banco de México en los días feriados del mercado financiero mexicano, a su vez que, el precio del maíz no cotiza en los días feriados en el mercado financiero de los EUA.

Para resolver dichas discrepancias entre el número de observaciones, se procedió a duplicar el dato de cierre inmediato anterior en cada fecha que alguno de los datos no está disponible por esta situación.

Para el caso de los precios del maíz, se utilizarán los precios de cierre comprendidos dentro del periodo del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre del 2019, sumando un total de 5591 observaciones.

Para el caso de los precios del tipo de cambio peso-dólar americano, se utilizarán los precios comprendidos dentro del periodo del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre del 2019, sumando un total de 5591 observaciones.

II.9. Método de análisis

Existen dos tipos de análisis estadístico que pueden ser utilizados en los resultados de una investigación: descriptivo e inferencial. El análisis estadístico descriptivo consiste en la presentación de los resultados sin realizar correlación alguna entre las variables.

En cuanto al análisis estadístico inferencial, este es utilizado para la prueba de hipótesis y la estimación de parámetros que permitan no solo la descripción de los datos, sino que también permita conocer la relación que guardan las variables estudiadas entre sí mismas.

Esta investigación utiliza los dos tipos de análisis estadísticos mencionados anteriormente. Se realizó un análisis estadístico descriptivo de los datos que permite conocer las frecuencias, las varianzas y los rangos mínimos y máximos del comportamiento de los precios dentro del periodo de estudio.

Adicionalmente, se produjo un análisis estadístico inferencial al estudiar la relación que guardan las variables estudiadas entre sí. Para esto se utilizaron los modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva generalizada (GARCH).

II.10. Operacionalización de variables

Variables independientes: Precios internacionales de cierre del maíz en el periodo 1999-2019 y tipo de cambio FIX establecido por el Banco de México durante el periodo 1999-2019.

Variables dependientes: Volatilidad observada en los precios internacionales del maíz en el periodo 1999-2019 y volatilidad observada en el tipo de cambio FIX establecido por el Banco de México durante el periodo 1999-2019.

II.11. Procesamiento y análisis

Esta investigación consiste en la estimación de varios modelos GARCH para analizar la volatilidad que se presenta en el comportamiento de los precios del maíz en México explicados por la volatilidad del precio del maíz en el mercado internacional y la volatilidad del tipo de cambio peso-dólar.

Para este modelo se utilizaron datos recabados de los sitios de internet investing.com y del Banco de México. Los datos fueron capturados en una hoja de cálculo de Excel en el periodo comprendido del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019. Después se calcularon los rendimientos de las series mediante el método de diferencias logarítmicas para que estos pudieran ser alimentados en el programa GRETL para estimar los modelos GARCH.

Se realizó un análisis de los resultados de los modelos para estudiar el comportamiento de los precios del maíz en México derivado del comportamiento de los precios internacionales del maíz, el tipo de cambio y el análisis de sus volatilidades.

Capítulo III
RESULTADOS

En el presente capítulo se realiza el análisis de datos mediante la estimación de una serie de modelos GARCH que describen de la manera más adecuada la volatilidad presentada por el precio del maíz en México explicada por la volatilidad del precio internacional del maíz y del TICUS.

En una primera parte, se construye la ecuación de la media mediante el análisis de series de tiempo utilizando la metodología Box-Jenkins. En la segunda parte, se realiza la estimación de la ecuación de la varianza y se estudian los residuos de la ecuación de la media.

Con lo anterior, se realiza la estimación de los modelos GARCH para obtener las volatilidades de las variables analizadas. Finalmente, se estima un modelo GARCH utilizando el TICUS, la volatilidad del TICUS y la volatilidad del precio del maíz.

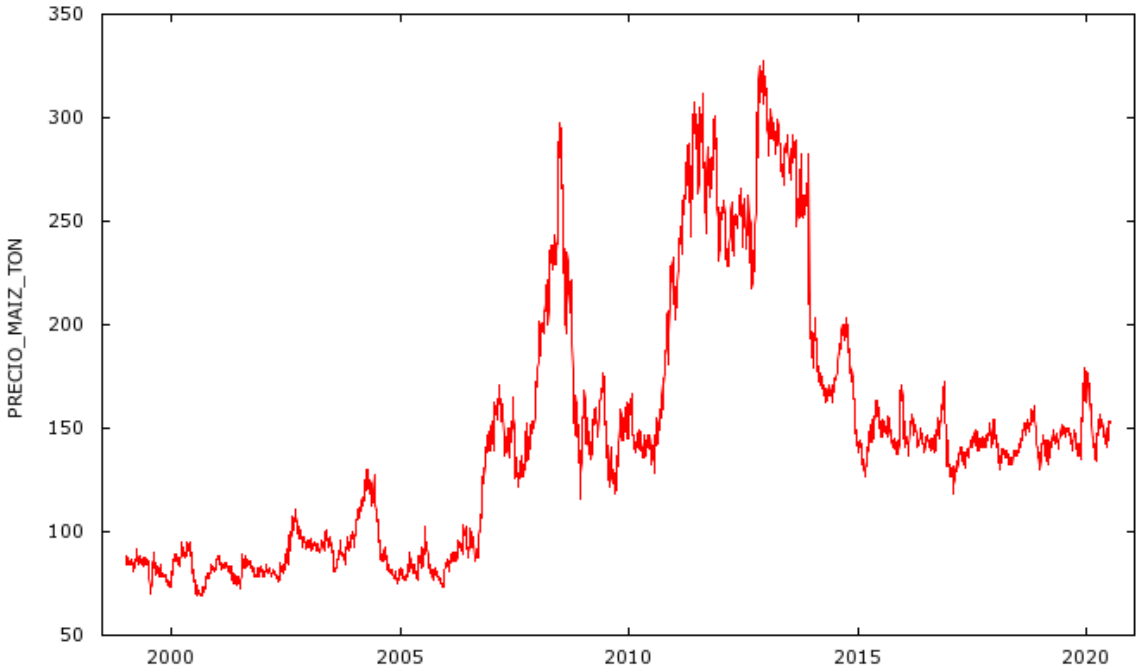
III.1. La muestra

La muestra está comprendida por todos los precios internacionales de cierre del maíz en el periodo comprendido del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019 y recabados del sitio de internet investing.com y tipo de cambio FIX establecido por el Banco de México en su portal electrónico durante el periodo comprendido del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.

La gráfica No. 6 permite apreciar el comportamiento de los precios del maíz. De un total de 5591 observaciones, el precio mínimo registrado es de 68.796 dólares por tonelada observado el día 11 de agosto de 2000.

El precio máximo registrado es de 327.25 dólares por tonelada observado el día 21 de agosto de 2012. La media que se registra para el total del periodo se ubica en los 147.09 dólares por tonelada con una desviación típica de 62.169 dólares por tonelada.

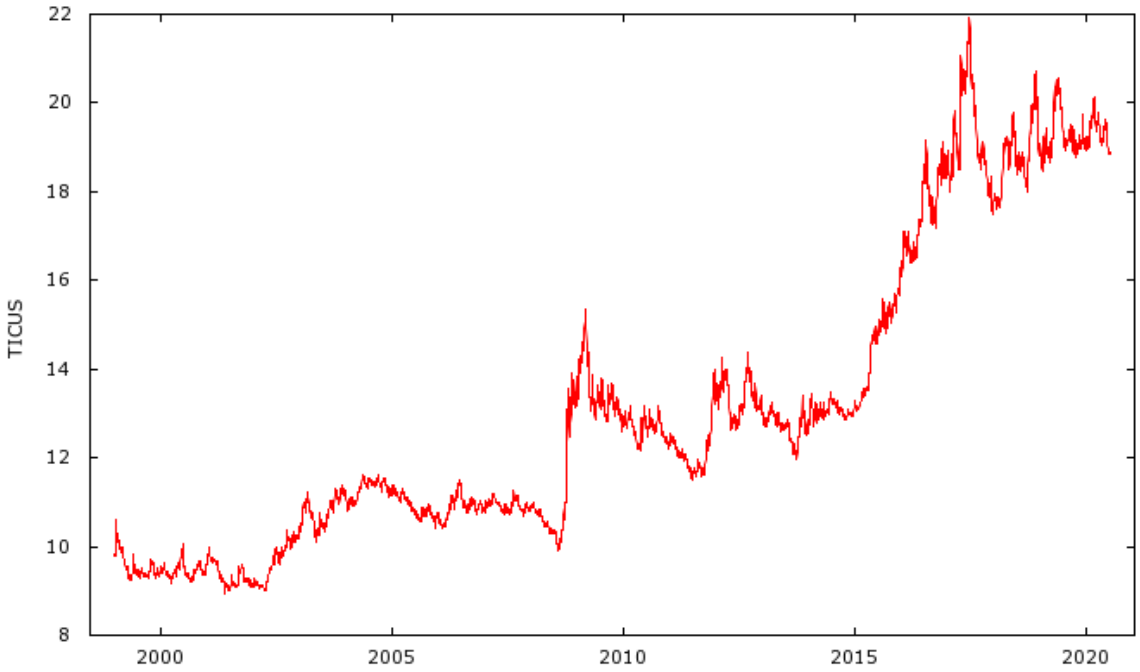
Gráfica No. 6: Evolución de los precios internacionales del maíz expresados en dólares por tonelada del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos de investing.com

La gráfica No. 7 permite apreciar el comportamiento del tipo de cambio. De un total de 5591 observaciones, el precio mínimo registrado es de 8.9428 pesos por dólar observado el día 21 de mayo de 2001. El precio máximo registrado es de 21.908 pesos por dólar observado el día 10 de enero de 2017. La media que se registra para el total del periodo se ubica en los 13.059 pesos por dólar con una desviación típica de 3.3198 pesos por dólar.

Gráfica No. 7: Evolución del TICUS del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos de Banco de México

III.2. Resultados del modelo GARCH

Habiendo establecido la metodología y los datos que se van a utilizar para esta investigación, podemos proceder a la estimación de los modelos GARCH mediante una serie de procedimientos y pruebas, las cuales exponemos a continuación.

III.2.1. Estimación

Para la realización del análisis de series de tiempo se utilizará el programa GRETL versión 1.7.1, el cual es un software econométrico de amplia utilización para este tipo de estudios. Para el análisis de la heterocedasticidad en series de tiempo se deben estimar una ecuación para la media y otra para la varianza. Además, es necesario realizar algunas pruebas para comprobar los supuestos de este tipo de modelos.

La ecuación de la media se construye utilizando la metodología Box-Jenkins. El primer paso es la identificación de las tres características relativas a la información:

1. La no estacionariedad de la serie.
2. El proceso que describe los datos es autorregresivo, de media móvil o mixto.
3. Determinar el número de rezagos a utilizar.

.

III.2.2. Pruebas de validación estadística

Las gráficas 6 y 7 sugieren que las series son estacionarias porque es posible distinguir una tendencia y una varianza irregular. Por ello, procedemos a aplicar la prueba de Dickey-Fuller aumentada para comprobar si se cumple el supuesto de no estacionariedad.

En la Tabla No. 7, la prueba Dickey-Fuller para los precios del maíz nos arroja un primer valor p asintótico de 0.2895, el segundo de 0.56124 y el tercero de 0.43099

Tabla No. 7: Prueba de Dickey-Fuller para los precios del maíz con constante, constante y tendencia y constante y tendencia cuadrática.

```
Contrastes aumentados de Dickey-Fuller, orden 1, para PRECIOS_MAIZ:
tamaño muestral 5589
hipótesis nula de raíz unitaria: a = 1

   contraste con constante
   Estadístico de contraste: tau_c(1) = -1.99444
   valor p asintótico 0.2895

utilizando las 5589 observaciones
```

```
Variable dependiente: d_PRECIOS_MAI

 VARIABLE        COEFICIENTE       DESV.TÍP.          ESTAD T
  const                0.221922         0.113799      1.950
  PRECIOS_MAI_1       -0.00142130       0.000712632  -1.994
  d_PRECIOS_M_1       -0.0681778        0.0133474    -5.108

   con constante y tendencia
   Estadístico de contraste: tau_ct(1) = -2.07143
   valor p asintótico 0.5612

utilizando las 5589 observaciones
Variable dependiente: d_PRECIOS_MAI

 VARIABLE        COEFICIENTE       DESV.TÍP.          ESTAD T
  const                0.203078         0.116949      1.736
  PRECIOS_MAI_1       -0.00171821       0.000829481  -2.071
  d_PRECIOS_M_1       -0.0679811        0.0133510    -5.092
  time                 2.23517E-05      3.19527E-05   0.700

   con constante y tendencia cuadrática
   Estadístico de contraste: tau_ctt(1) = -2.74188
   valor p asintótico 0.431

utilizando las 5589 observaciones
Variable dependiente: d_PRECIOS_MAI

 VARIABLE        COEFICIENTE       DESV.TÍP.          ESTAD T
  const                0.0762392        0.135673      0.562
  PRECIOS_MAI_1       -0.00271315       0.000989522  -2.742
  d_PRECIOS_M_1       -0.0676125        0.0133496    -5.065
  time                 0.000275945      0.000141251   1.954
  timesq              -4.18276E-08      2.26943E-08  -1.843
```

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en investing.com

En la Tabla No. 8, la prueba Dickey-Fuller para los precios del tipo de cambio nos arroja un primer valor p asintótico de 0.86429, el segundo de 0.22302 y el tercero de 0.18118

Tabla No. 8: Prueba de Dickey-Fuller para el TICUS con constante, constante y tendencia y constante y tendencia cuadrática.

```
Contrastes aumentados de Dickey-Fuller, orden 1, para TICUS:
```

```
tamaño muestral 5589
hipótesis nula de raíz unitaria: a = 1

   contraste con constante
   Estadístico de contraste: tau_c(1) = -0.618408
   valor p asintótico 0.8643

utilizando las 5589 observaciones
Variable dependiente: d_TICUS

 VARIABLE        COEFICIENTE       DESV.TÍP.          ESTAD T
  const                0.00449155       0.00495324    0.907
  TICUS_1             -0.000227358      0.000367651  -0.618
  d_TICUS_1            0.0622729        0.0133561     4.663

   con constante y tendencia
   Estadístico de contraste: tau_ct(1) = -2.73307
   valor p asintótico 0.223

utilizando las 5589 observaciones
Variable dependiente: d_TICUS

 VARIABLE        COEFICIENTE       DESV.TÍP.          ESTAD T
  const                0.0187485        0.00719611    2.605
  TICUS_1             -0.00235571       0.000861930  -2.733
  d_TICUS_1            0.0631197        0.0133520     4.727
  time                 4.83922E-06      1.77277E-06   2.730

   con constante y tendencia cuadrática
   Estadístico de contraste: tau_ctt(1) = -3.27483
   valor p asintótico 0.1812

utilizando las 5589 observaciones
Variable dependiente: d_TICUS

 VARIABLE        COEFICIENTE       DESV.TÍP.          ESTAD T
  const                0.0364102        0.0119588     3.045
  TICUS_1             -0.00374958       0.00114497   -3.275
  d_TICUS_1            0.0639595        0.0133568     4.789
  time                 2.37524E-07      3.05548E-06   0.078
  timesq               1.28618E-09      6.95647E-010   1.849
```

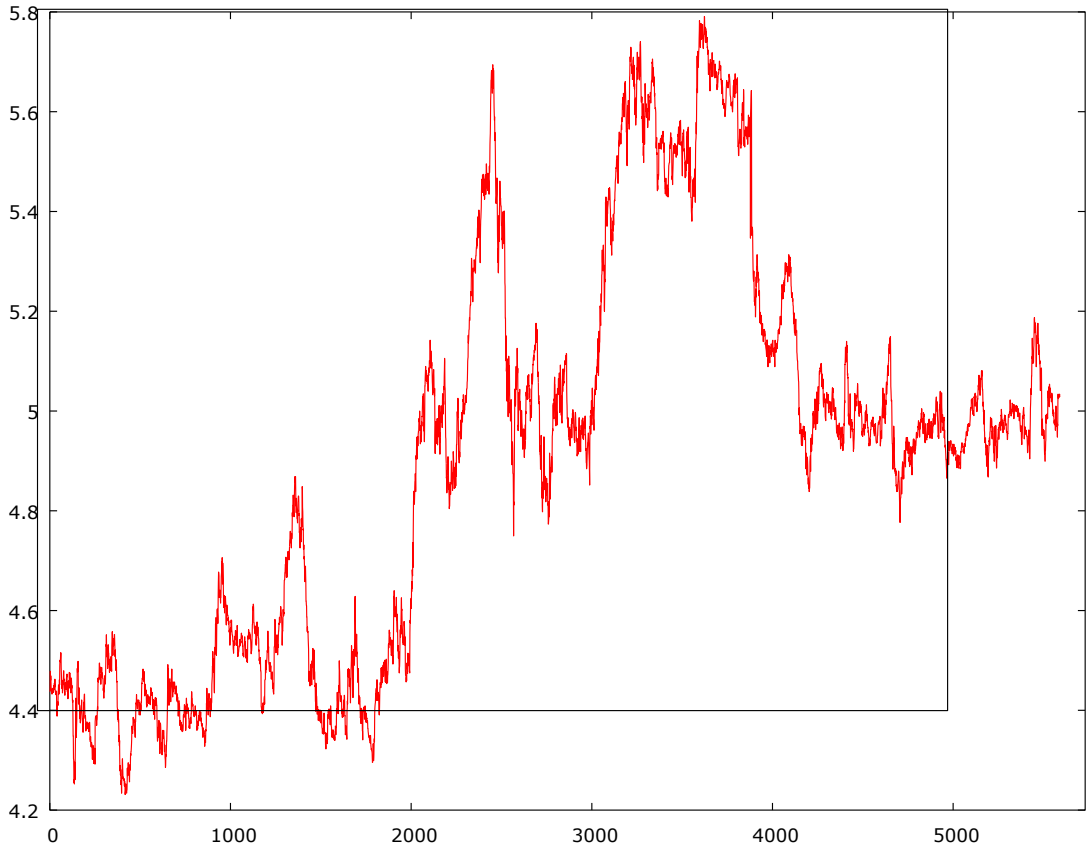
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en Banco de México

Debido a que los valores obtenidos en las pruebas de Dickey-Fuller para ambas variables son mayores a 0.10, podemos establecer que no se cumple con el supuesto de no estacionariedad por lo que no es posible estimar un modelo de tipo GARCH con los datos actuales.

Para proceder con el análisis de los datos, es posible calcular los logaritmos de los precios del maíz y del TICUS. Esto permite a su vez realizar el cálculo de las diferencias de los logaritmos de ambas series de datos para lograr el cumplimiento del supuesto de no estacionariedad.

En la gráfica No. 8 podemos observar el comportamiento de los logaritmos de los precios internacionales del maíz del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.

Gráfica No. 8: Serie logarítmica: Logaritmos de los precios internacionales del maíz del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de investing.com

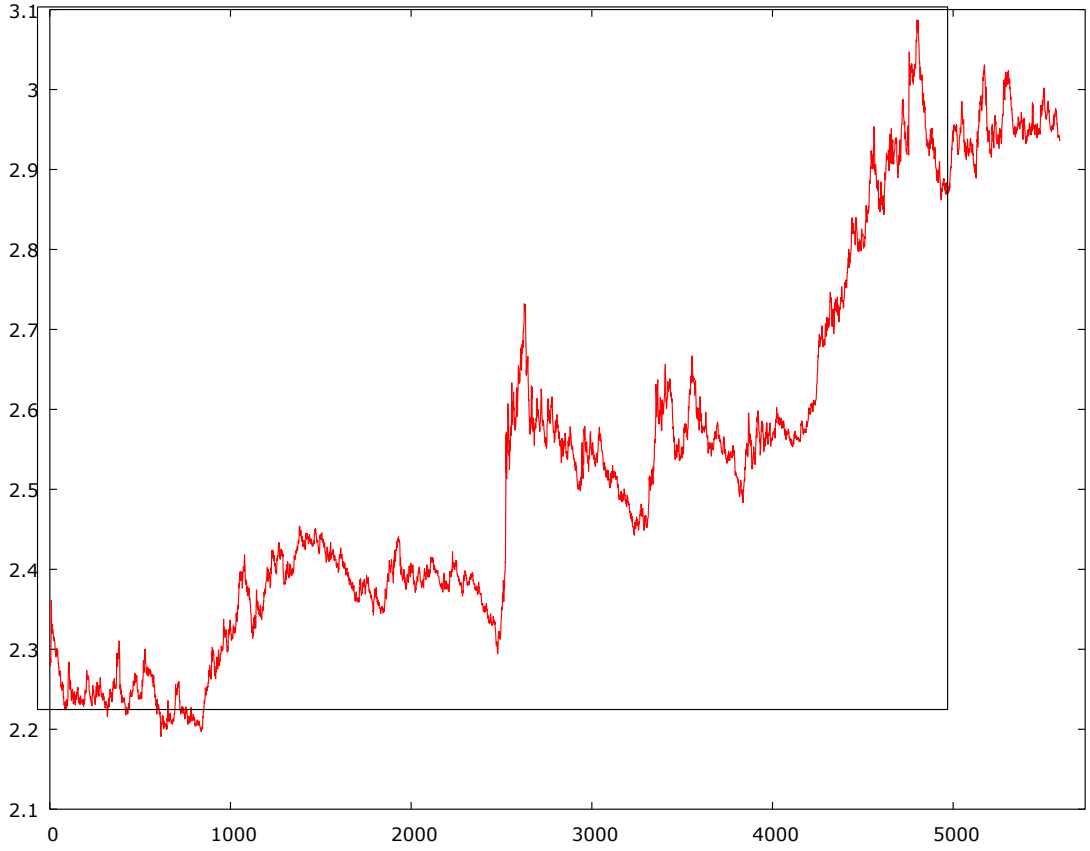
En la Gráfica No. 9 podemos observar el comportamiento de los logaritmos del TICUS del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.

Gráfica No. 9: Serie logarítmica: Logaritmos del TICUS del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Banco de México

Es posible observar que los datos obtenidos son negativos, lo cual no permite calcular las diferencias de los logaritmos que se necesitan para continuar con las estimaciones de los modelos. Por ello, es posible multiplicar los datos de la serie por -1 para convertirlos a positivos. En la Gráfica No. 10 podemos observar los datos obtenidos después de multiplicarlos por -1.

Gráfica No. 10: Serie logarítmica: Logaritmos del TICUS del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019 multiplicados por -1.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Banco de México

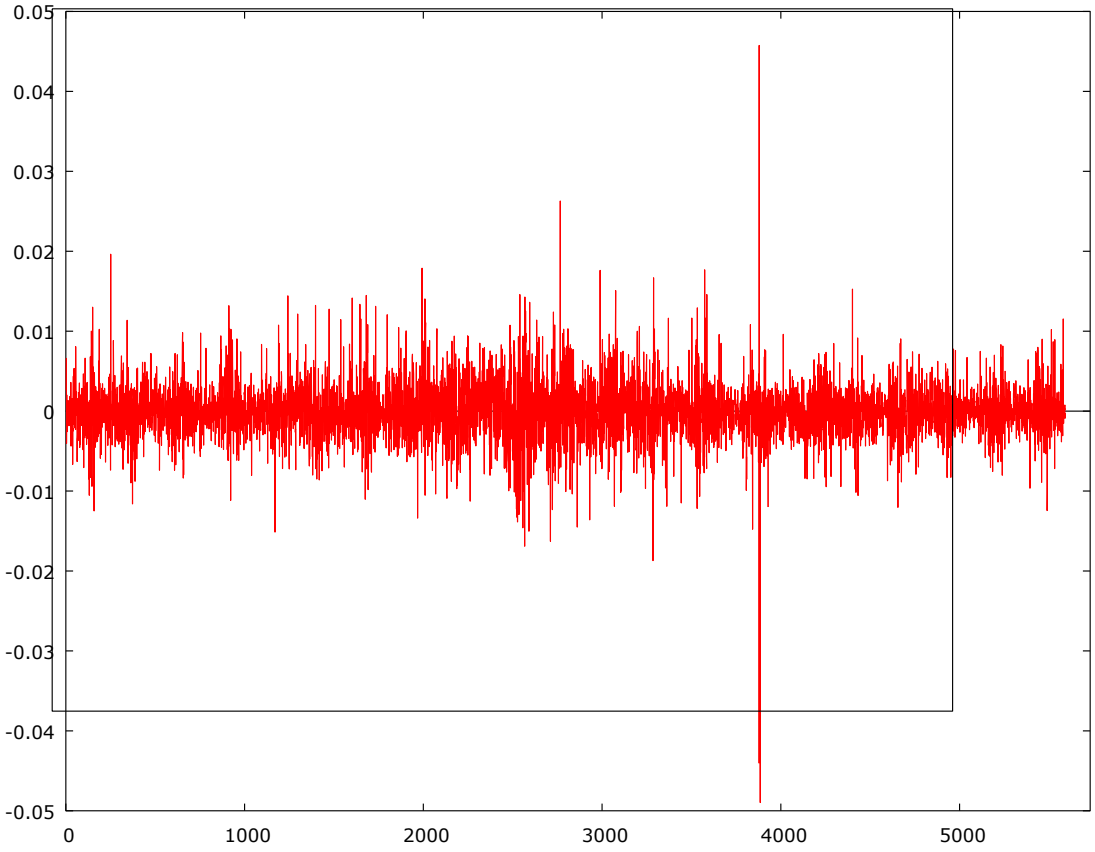
Derivado de lo anterior, ahora es posible modificar las series de tiempo para convertirlas en dos series diferenciadas, esto se logra aplicando la siguiente fórmula:

$$dy = lny_t - lny_{t-1}$$

Por lo que a continuación se presentan los gráficos de las series diferenciadas obtenidas:

En la gráfica No. 11 podemos apreciar el comportamiento de los rendimientos de los precios del maíz, los cuales registran una variación negativa máxima de -0.048968 y una variación positiva máxima de 0.04575 con una desviación típica de 0.0036936.

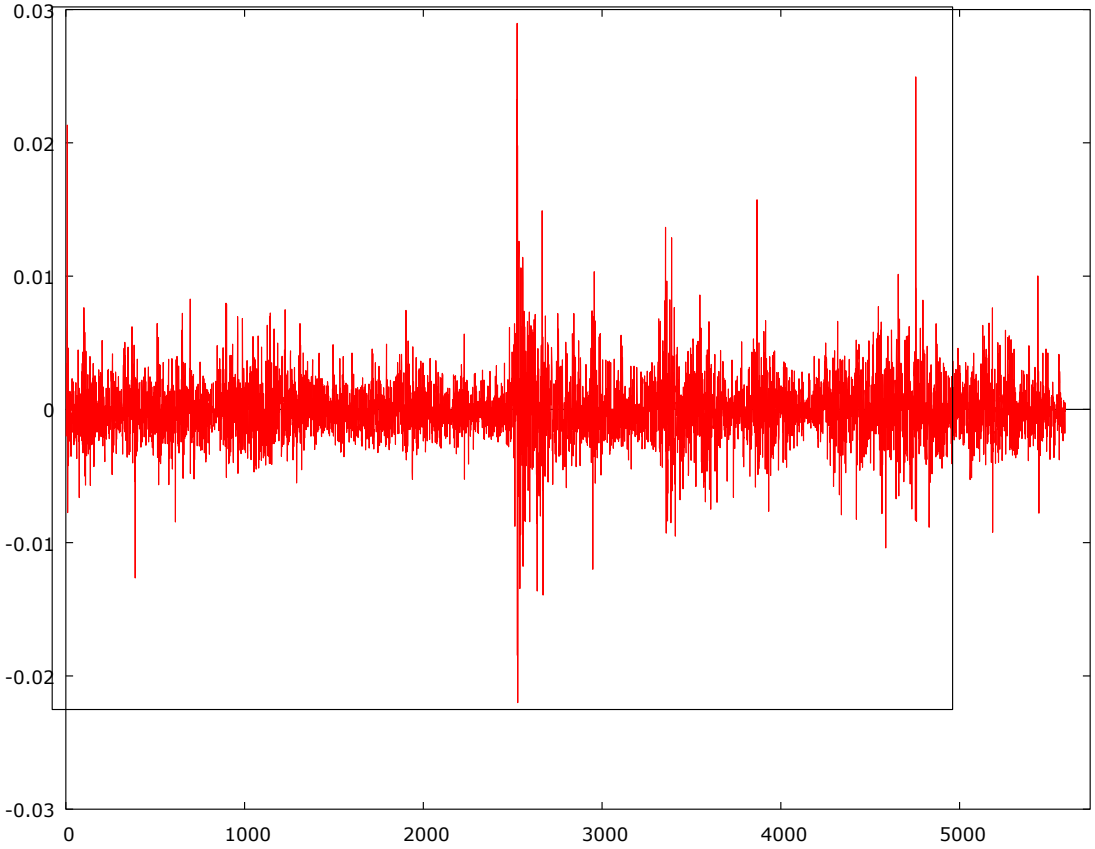
Gráfica No. 11: Serie diferenciada - Evolución de las diferencias logarítmicas del precio internacional del maíz del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de investing.com

En la gráfica No. 12 podemos apreciar el comportamiento de los rendimientos del tipo de cambio, los cuales registran una variación negativa máxima de -0.022007 y una variación positiva máxima de 0.028968 con una desviación típica de 0.0024369.

Gráfica No. 12: Serie diferenciada - Evolución de las diferencias logarítmicas del TICUS del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Banco de México

Ahora podemos realizar nuevamente las pruebas Dickey-Fuller para ambas series diferenciadas para corroborar que se cumple con el supuesto no estacionariedad de los datos en ambos casos.

En la Tabla No. 9 podemos observar que en el contraste con constante el valor de p resulta menor a 0.1, en el contraste con constancia y tendencia el valor de p resulta menor a 0.1 y en el contraste con constancia y tendencia cuadrática el valor de p resulta menor a 0.1, por lo que se confirma que la serie es no estacionaria, lo que implica que la media y la varianza no son constantes en el periodo analizado.

Tabla No. 9: Prueba de Dickey-Fuller para la serie diferenciada de los precios del maíz de contraste con constante, constante y tendencia y constante y tendencia cuadrática.

```
Contrastes aumentados de Dickey-Fuller, orden 10, para ld_logmaiz:
```

```
tamaño muestral 5579
hipótesis nula de raíz unitaria: a = 1

   contraste con constante
   modelo: (1 - L)y = b0 + (a-1)*y(-1) + ... + e
   Coef. de autocorrelación de primer orden de e: -0.000
   valor estimado de (a - 1): -1.04616
   Estadístico de contraste: tau_c(1) = -22.5514
   valor p asintótico 6.276e-051

   con constante y tendencia
   modelo: (1 - L)y = b0 + b1*t + (a-1)*y(-1) + ... + e
   Coef. de autocorrelación de primer orden de e: -0.000
   valor estimado de (a - 1): -1.04658
   Estadístico de contraste: tau_ct(1) = -22.5547
   valor p asintótico 6.389e-058

   con constante y tendencia cuadrática
   modelo: (1 - L)y = b0 + b1*t + b2*t^2 + (a-1)*y(-1) + ... + e
   Coef. de autocorrelación de primer orden de e: -0.000
   valor estimado de (a - 1): -1.04707
   Estadístico de contraste: tau_ctt(1) = -22.558
   valor p asintótico 6.389e-058
```

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en investing.com

En la Tabla No. 10 podemos observar que en el contraste con constante el valor de p resulta menor a 0.1, en el contraste con constancia y tendencia el valor de p resulta menor a 0.1 y en el contraste con constancia y tendencia cuadrática el valor de p resulta menor a 0.1, por lo que se confirma que la serie es no estacionaria, lo que implica que la media y la varianza no son constantes en el periodo analizado.

Tabla No. 10: Prueba de Dickey-Fuller para la serie diferenciada del TICUS de contraste con constante, constante y tendencia y constante y tendencia cuadrática.

```
Contrastes aumentados de Dickey-Fuller, orden 10, para ld_logticus:
tamaño muestral 5579
hipótesis nula de raíz unitaria: a = 1

   contraste con constante
   modelo: (1 - L)y = b0 + (a-1)*y(-1) + ... + e
   Coef. de autocorrelación de primer orden de e: 0.000
   valor estimado de (a - 1): -0.955842
   Estadístico de contraste: tau_c(1) = -21.922
   valor p asintótico 2.968e-050

   con constante y tendencia
   modelo: (1 - L)y = b0 + b1*t + (a-1)*y(-1) + ... + e
   Coef. de autocorrelación de primer orden de e: 0.000
   valor estimado de (a - 1): -0.95654
   Estadístico de contraste: tau_ct(1) = -21.9299
   valor p asintótico 6.389e-058

   con constante y tendencia cuadrática
   modelo: (1 - L)y = b0 + b1*t + b2*t^2 + (a-1)*y(-1) + ... + e
   Coef. de autocorrelación de primer orden de e: 0.000
   valor estimado de (a - 1): -0.957617
   Estadístico de contraste: tau_ctt(1) = -21.9438
   valor p asintótico 6.389e-058
```

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Banco de México

Con el propósito de establecer la autocorrelación de ambas series diferenciadas, es posible analizarlas a través de correlogramas. A continuación, se revisan las funciones de autocorrelación para las series diferenciadas del maíz y del TICUS.

En la Tabla No. 11 podemos observar que el primer retardo registra un factor de autocorrelación negativa de -0.0266, un factor de autocorrelación parcial negativa de -0.266 y un valor p de 0.047 que resulta estadísticamente significativo.

También podemos observar que el quinto retardo registra un factor de autocorrelación negativa de -0.0269, un factor de autocorrelación parcial negativa de -0.2679 y un valor p de 0.077 que resulta estadísticamente significativo.

Derivado de lo anterior, es posible establecer que no existe un proceso de media móvil 0 y que existen procesos autorregresivos significativos de orden 1 y 5, lo cual quiere decir que existe una relación de mayor importancia con las observaciones (t-1) y (t-5).

Tabla No. 11: Factores de autocorrelación y autocorrelación parcial de las diferencias logarítmicas del precio internacional del maíz del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.

Función de autocorrelación para ld_logmaiz

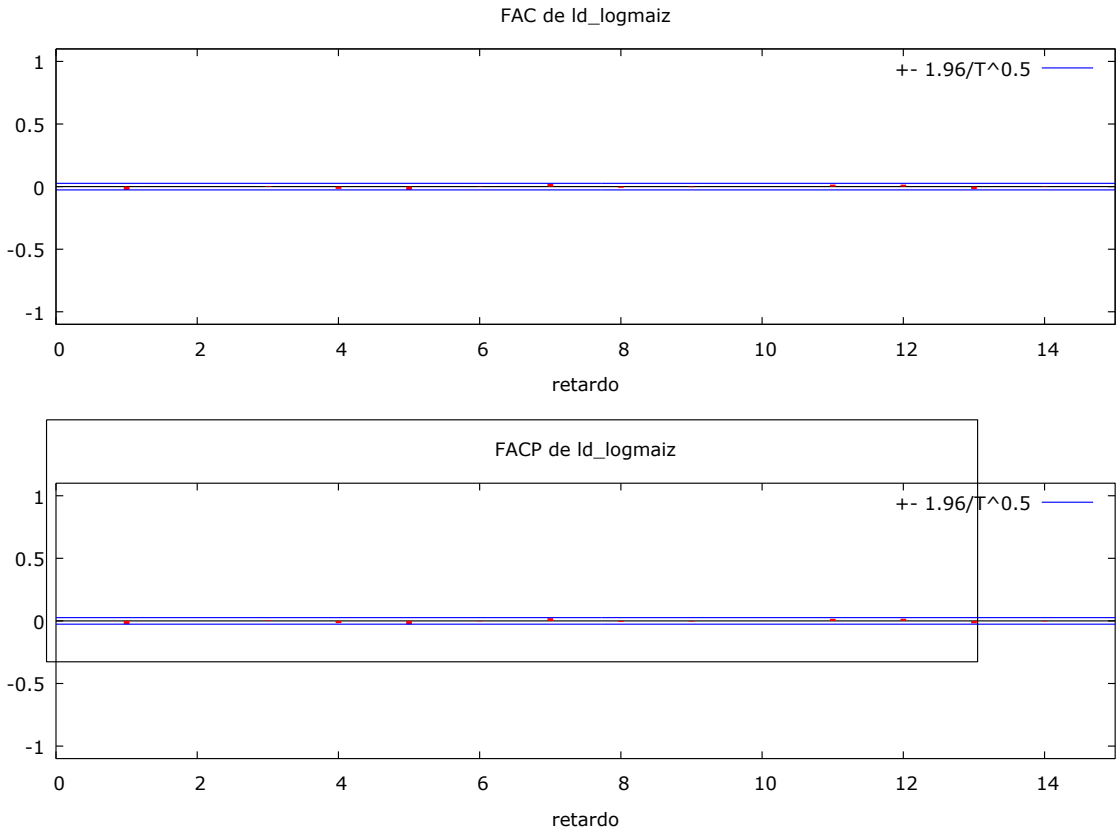
RETARDO	FAC		FACP		Estad-Q.	[valor p]
1	-0.0266	**	-0.0266	**	3.9618	[0.047]
2	0.0006		-0.0001		3.9638	[0.138]
3	0.0052		0.0052		4.1169	[0.249]
4	-0.0179		-0.0176		5.8999	[0.207]
5	-0.0269	**	-0.0279	**	9.9450	[0.077]
6	-0.0023		-0.0038		9.9738	[0.126]
7	0.0218		0.0219		12.6395	[0.081]
8	-0.0094		-0.0083		13.1342	[0.107]
9	-0.0042		-0.0057		13.2318	[0.152]
10	0.0001		-0.0013		13.2318	[0.211]
11	0.0162		0.0169		14.7007	[0.197]
12	0.0159		0.0178		16.1247	[0.186]
13	-0.0197		-0.0194		18.2941	[0.147]
14	-0.0024		-0.0045		18.3274	[0.192]

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de investing.com

Para demostrar si existía autocorrelación entre las variables consideradas en el estudio, se elaboró un correlograma, donde se muestran las diferencias logarítmicas del precio internacional del maíz considerando el periodo que comprende desde el 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019, los resultados demostraron que existe una correlación significativa de orden 1 y 5, esto significa que existe una relación de mayor importancia con las observaciones (t-1) y (t-5).

En la Gráfica No. 13 constatamos de manera gráfica que existe autocorrelación significativa de orden 1 y 5.

Gráfica No. 13: Correlograma de las diferencias logarítmicas del precio internacional del maíz del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de investing.com

En la Tabla No. 12 podemos observar que el primer retardo registra un factor de autocorrelación positiva de 0.0485, un factor de autocorrelación parcial positiva de 0.0485 y un valor p de 0 que resulta estadísticamente significativo.

También podemos observar que el tercer retardo registra un factor de autocorrelación negativa de -0.0412, un factor de autocorrelación parcial negativa de -0.0432 y un valor p de 0 que resulta estadísticamente significativo.

Por último, podemos observar que el octavo retardo registra un factor de autocorrelación positiva de 0.0417, un factor de autocorrelación parcial positiva de 0.0388 y un valor p de 0 que resulta estadísticamente significativo.

Derivado de lo anterior, es posible establecer que no existe un proceso de media móvil 0 y que existen procesos autorregresivos significativos de orden 1, 3 y 8, , lo cual quiere decir que existe una relación de mayor importancia con las observaciones (t-1), (t-3) y (t-8).

Tabla No. 12: Factores de autocorrelación y autocorrelación parcial de las diferencias logarítmicas del TICUS del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.

Función de autocorrelación para ld_logticus

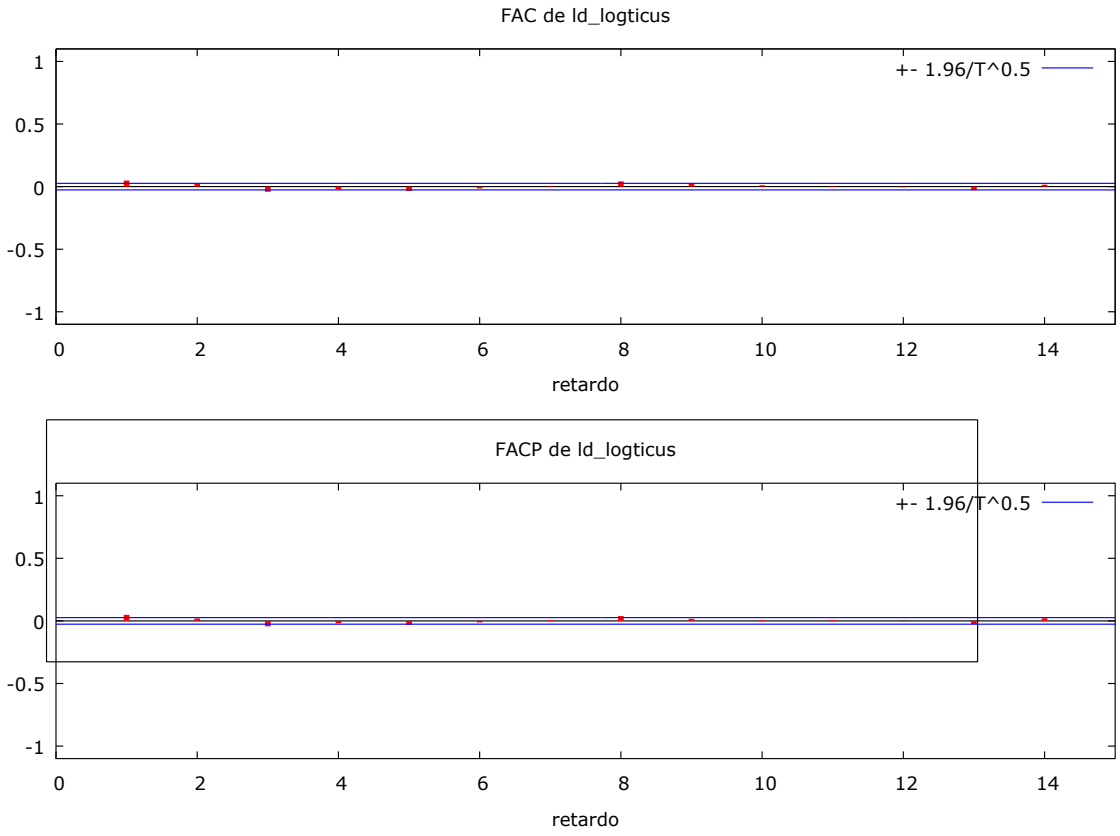
RETARDO	FAC		FACP		Estad-Q.	[valor p]
1	0.0485	***	0.0485	***	13.1619	[0.000]
2	0.0216		0.0193		15.7625	[0.000]
3	-0.0412	***	-0.0432	***	25.2456	[0.000]
4	-0.0225	*	-0.0189		28.0719	[0.000]
5	-0.0344	**	-0.0308	**	34.7042	[0.000]
6	-0.0148		-0.0126		35.9234	[0.000]
7	0.0057		0.0067		36.1053	[0.000]
8	0.0417	***	0.0388	***	45.8349	[0.000]
9	0.0230	*	0.0167		48.7967	[0.000]
10	0.0111		0.0066		49.4926	[0.000]
11	0.0052		0.0062		49.6461	[0.000]
12	-0.0054		-0.0031		49.8102	[0.000]
13	-0.0283	**	-0.0243	*	54.3069	[0.000]
14	0.0154		0.0212		55.6379	[0.000]

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en Banco de México

Para demostrar si existía autocorrelación entre las variables consideradas en el estudio, se elaboró un correlograma, donde se muestran las diferencias logarítmicas del TICUS considerando el periodo que comprende desde el 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019, los resultados demostraron que existe una correlación significativa de orden 1, 3 y 8, esto significa que existe una relación de mayor importancia con las observaciones (t-1), (t-3) y (t-8).

En la Gráfica No. 14 constatamos de manera gráfica que existe autocorrelación significativa de orden 1, 3 y 8.

Gráfica No. 14: Correlograma de las diferencias logarítmicas del TICUS del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Banco de México

III.2.3. Estimación de la volatilidad

Habiendo definido que existen procesos de autocorrelación significativa y los retardos que presentan mayor significancia, es posible realizar las estimaciones de los modelos GARCH de esta investigación.

La Tabla No. 13 nos muestra los resultados de la estimación del modelo GARCH para la serie logarítmica diferenciada de los precios del maíz. Podemos observar los valores de alpha (0) 3.96867E-07, alpha (1) de 0.104735 y beta (1) de 0.872081, valores p menores a 0.00001 y valor de Log-verosimilitud de 23859.8 . El programa GRETL asigna calificaciones de 3 estrellas para todas las variables lo que significa que son estadísticamente significativas.

Tabla No. 13: Estimación de modelo GARCH para la serie logarítmica diferenciada de los precios del maíz del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.

Estimaciones GARCH

Utilizando las 5590 observaciones 2-5591
Variable dependiente: ld_logmaiz
Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

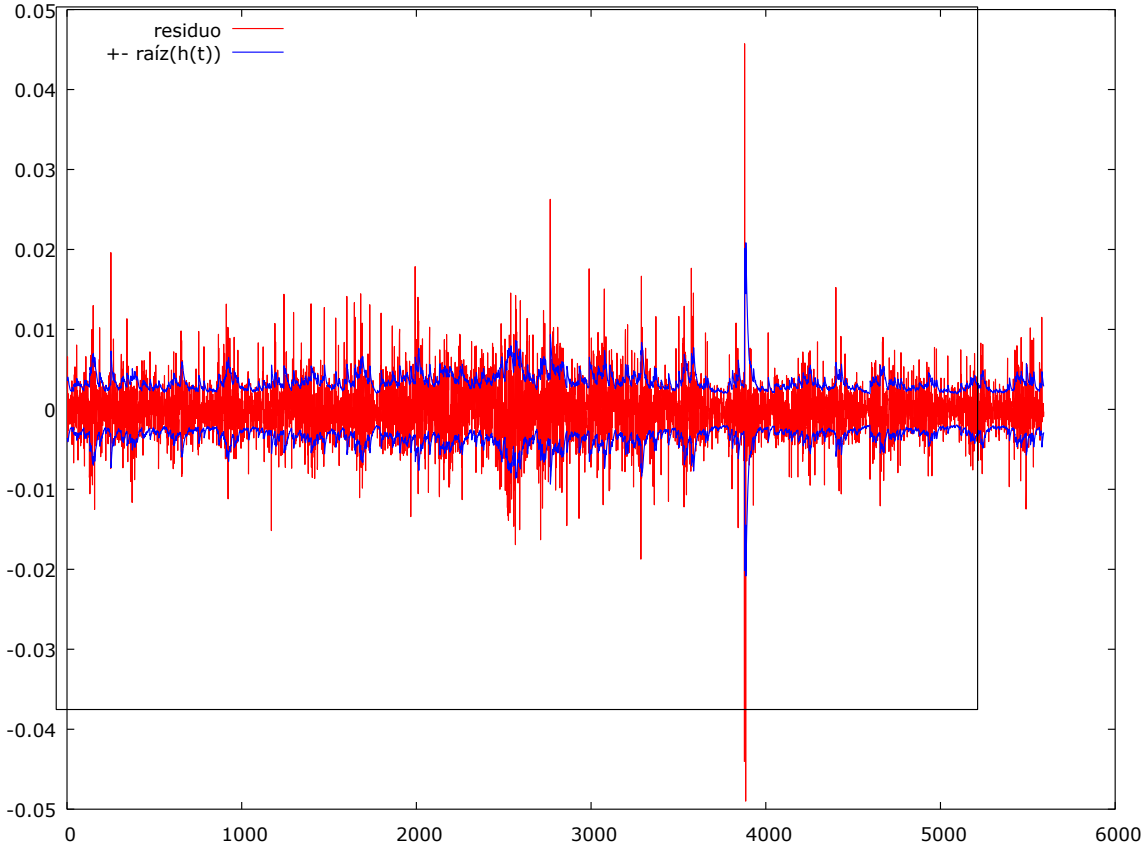
VARIABLE	COEFICIENTE	DESV.TÍP.	ESTAD T	VALOR P
const	2.30703E-05	4.05079E-05	0.570	0.56900	
alpha(0)	3.96867E-07	8.77836E-08	4.521	<0.00001	***
alpha(1)	0.104735	0.0124670	8.401	<0.00001	***
beta(1)	0.872081	0.0163107	53.467	<0.00001	***

Media de la var. dependiente = 2.23639e-005
Desviación típica de la var. dependiente. = 0.00369356
Varianza incondicional del error = 1.71183e-005
Log-verosimilitud = 23859.8

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de investing.com

La Gráfica No. 15 nos muestra el rango de volatilidad y el comportamiento de los residuos de la serie diferenciada de los precios del maíz. Al analiza los datos, podemos observar que existe un periodo de alta volatilidad donde los rangos aumentan de manera significativa con respecto al comportamiento de las demás observaciones llegando a tener valores de -0.0486 y 0.04591.

Gráfica No.15: Gráfico de la estimación del modelo GARCH para la serie logarítmica diferenciada de los precios del maíz del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de investing.com

La Tabla No. 14 nos muestra los resultados de la estimación del modelo GARCH para la serie logarítmica diferenciada de los precios del TICUS. Podemos observar los valores de alpha (0) 9.36033E-08, alpha (1) de 0.0898393 y beta (1) de 0.896322, valores p menores a 0.00001 y valor de Log-verosimilitud de 26449.1 . El programa GRETL asigna calificaciones de 3 estrellas para todas las variables lo que significa que son estadísticamente significativas.

Tabla No. 14: Estimación de modelo GARCH para la serie logarítmica diferenciada de los precios del TICUS del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.

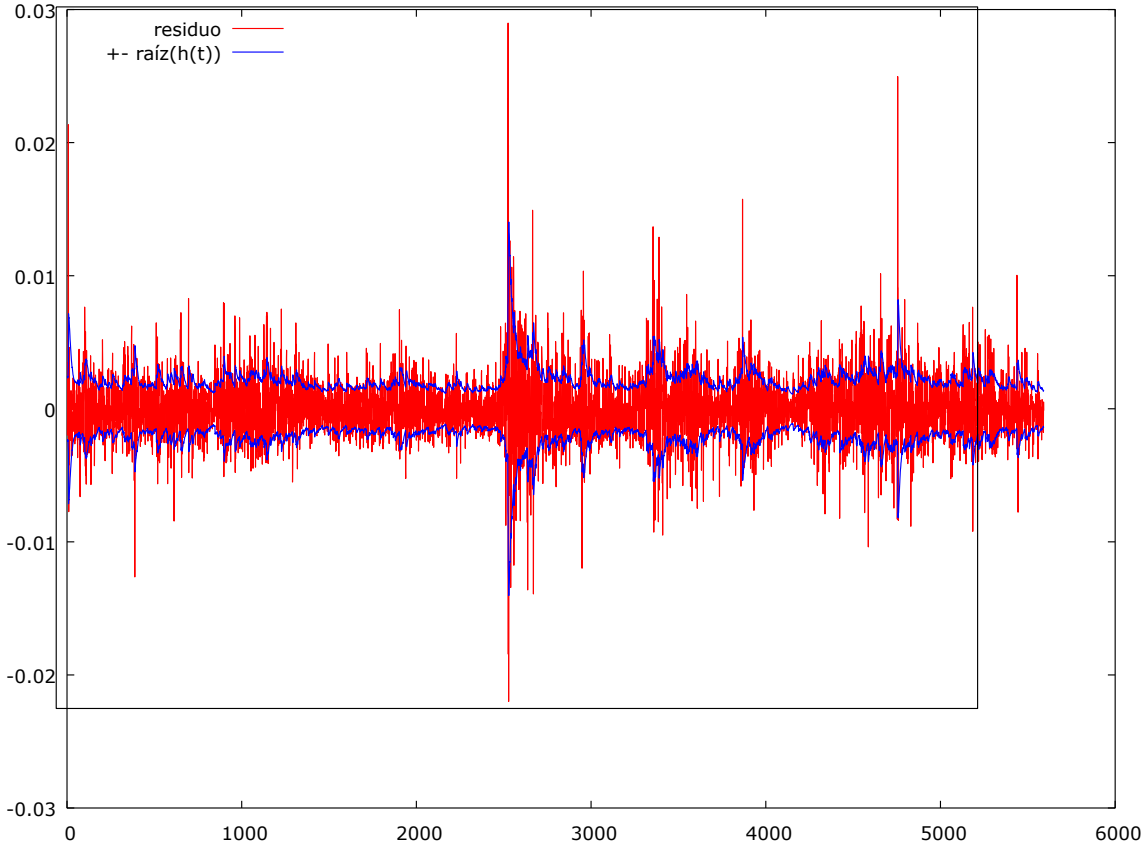
Estimaciones GARCH

```
Utilizando las 5590 observaciones 2-5591
Variable dependiente: ld_logticus
Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

VARIABLE        COEFICIENTE       DESV.TÍP.          ESTAD T   VALOR P
const               -1.50587E-05      2.56779E-05  -0.586    0.55758

alpha(0)             9.36033E-08      1.90251E-08   4.920   <0.00001 ***
alpha(1)             0.0898393        0.00881567   10.191   <0.00001 ***
beta(1)              0.896322         0.0102416    87.517   <0.00001 ***

Media de la var. dependiente = 4.4827e-005
Desviación típica de la var. dependiente. = 0.00243694
Varianza incondicional del error = 6.7637e-006
Log-verosimilitud = 26449.1
```

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Banco de México

La Gráfica No. 16 nos muestra el rango de volatilidad y el comportamiento de los residuos de la serie diferenciada de los precios del TICUS. Podemos observar que existe un periodo que se distingue por la presencia de la más alta volatilidad donde los rangos aumentan de manera significativa con respecto al comportamiento de las demás observaciones llegando a tener valores de -0.02182 y 0.02918.

Gráfica No.16: Gráfico de la estimación del modelo GARCH para la serie logarítmica diferenciada de los precios del TICUS del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Banco de México

CONCLUSIONES

Resulta de gran importancia estudiar el comportamiento de los precios del maíz en México debido a que estos responden a variables que presentan volatilidades significativas. Dichas volatilidades dificultan de manera considerable la toma de decisiones en el proceso de comercialización de todo

tipo de materias primas, incluyendo el trigo, la soya y el maíz, objeto de estudio de esta investigación.

Es particularmente interesante que, tratándose de materias primas, la volatilidad es mayor que la de otros activos financieros, como acciones, bonos gubernamentales o fondos de inversión, debido a la necesidad de almacenamiento y todos los costos que esto implica, además de que, a diferencia de otros activos financieros, existen varias fuentes de producción para una misma materia prima.

Existen varios modelos econométricos de series de tiempo que pueden ser aplicados al estudio de la variación de los precios de los activos financieros. Estas herramientas estadísticas permiten adecuar los modelos para que sea posible tomar en cuenta diversas variables que influyen en el comportamiento de los precios que se busca analizar.

Para lograr construir un modelo adecuado, se debe cuidar que las fuentes de la información sean veraces y confiables. Se debe analizar cuál metodología resulta en modelos más confiables. Los modelos más utilizados en la literatura para el estudio de la volatilidad de los precios de los activos financieros son los modelos ARIMA y sus variaciones.

Este tipo de modelos se destacan debido a que permiten explicar la correlación que existe en una serie de tiempo que se requiera analizar. Particularmente, en las series de tiempo de activos financieros, es común la presencia de periodos de alta volatilidad que merecen atención especial en su análisis puesto que representan mayores niveles de riesgo y por ende, de pérdidas financieras sustanciales.

De acuerdo con la primera hipótesis, si es posible utilizar las herramientas econométricas existentes para realizar dichos estudios que aporten información de gran utilidad y confiabilidad debido a su base científica ampliamente documentada.

Para la determinación de cuál sea la herramienta más adecuada para realizar dichos estudios, es siempre recomendable realizar una revisión de la literatura disponible en busca de la metodología que concentre mayor evidencia de su capacidad para generar información confiable.

La recurrencia al uso de los modelos GARCH implementados para la presente investigación, está ampliamente documentada en los textos científicos disponibles actualmente y han sido utilizados para el análisis de una gran cantidad de activos financieros, como es el caso de acciones, índices bursátiles, tipos de cambio, tasas de interés y para el análisis del comportamiento de los precios de las materias primas en los mercados de valores, objetivo que es compartido por la presente investigación.

Los modelos GARCH se han destacado por su alta capacidad de análisis de series de tiempo puesto que incorporan el efecto que tienen en los activos financieros las condiciones de alta volatilidad al tomar en cuenta el efecto de volatilidades pasadas en la volatilidad actual, característica que permite mayor exactitud que otros modelos.

Para esta investigación fueron utilizados los precios internacionales de cierre del maíz en el periodo comprendido del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019 y recabados del sitio de internet investing.com y tipo de cambio FIX establecido por el Banco de México en su portal electrónico durante el periodo comprendido del 4 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.

De un total de 5591 observaciones para el precio del maíz, el precio mínimo registrado es de 68.796 dólares por tonelada observado el día 11 de agosto de 2000. El precio máximo registrado es de 327.25 dólares por tonelada observado el día 21 de agosto de 2012. La media que se registra para el total del periodo se ubica en los 147.09 dólares por tonelada con una desviación típica de 62.169 dólares por tonelada.

De un total de 5591 observaciones para el TICUS, el precio mínimo registrado es de 8.9428 pesos por dólar observado el día 21 de mayo de 2001. El precio máximo registrado es de 21.908 pesos por dólar observado el día 10 de enero de 2017. La media que se registra para el total del periodo se ubica en los 13.059 pesos por dólar con una desviación típica de 3.3198 pesos por dólar.

El análisis del comportamiento de los rendimientos de los precios del maíz arroja registros de una variación negativa máxima de -0.048968 y una variación positiva máxima de 0.04575 con una desviación típica de 0.0036936.

El análisis del comportamiento de los rendimientos del TICUS arroja registros de una variación negativa máxima de -0.022007 y una variación positiva máxima de 0.028968 con una desviación típica de 0.0024369.

Se utilizó la metodología Box Jenkins para estimar un modelo ARIMA que permitió determinar el comportamiento histórico de los precios internacionales del maíz y del TICUS. Se procedió a estimar modelos GARCH para los precios internacionales del maíz y del TICUS y determinar el comportamiento de la volatilidad de ambas variables. Estas volatilidades y el TICUS se utilizaron a su vez para estimar el modelo GARCH que determina la volatilidad del precio del maíz en México.

Lo anterior permitió verificar la segunda hipótesis en relación con la eficacia de la utilización de los modelos GARCH, pues resultan ser herramientas econométricas adecuadas para analizar el

comportamiento de la volatilidad de los precios del maíz en México. Estos resultados permiten establecer rangos de comportamiento de la volatilidad observada en los últimos 20 años que apoyen el proceso de decisión para la contratación de coberturas de precios que reduzcan los efectos de los periodos de alta volatilidad.

Los participantes del mercado del maíz, tanto productores como consumidores, autoridades gubernamentales e inversionistas especuladores tienen la posibilidad de acudir a los mercados de futuros para cubrir una importante cantidad de materias primas de los efectos adversos que puedan tener los periodos de alta volatilidad en las cotizaciones de los mercados financieros.

Las coberturas pueden ser contratadas para comprar o vender a un determinado precio y en un determinado momento en el tiempo, por lo que, una buena planeación puede cubrir a todos los participantes del mercado en todas las situaciones de riesgo en las que pudiera participar o tenga un interés abierto.

En la actualidad, en México es posible acceder a la contratación de dichas coberturas que, al combinarse con la información generada con investigaciones como la presente, pueden generar un esquema de protección contra la volatilidad que pudiera presentarse antes y durante el ciclo de producción agrícola.

Las coberturas permiten generar una mayor estabilidad en las actividades de comercialización y en la planeación de presupuestos de producción del maíz y otras materias primas en México.

Por lo anterior, es posible establecer que la volatilidad es una variable de gran importancia cuando se analiza el comportamiento del precio de cualquier activo financiero. Con la obtención de los resultados de esta investigación, se aportan elementos de gran relevancia para el análisis de los precios del maíz en México y permiten una mejor toma de decisiones basada en evidencia científica.

RECOMENDACIONES

Las investigaciones sobre el comportamiento de los precios de las materias primas en nuestros tiempos son necesarias para ayudar a comprender la manera en que estos activos financieros varían, y con ello, facilitar la planeación y la toma de decisiones basado en información altamente confiable.

Existen una gran cantidad de combinaciones que se pueden investigar tomando en cuenta que hay un cúmulo de materias primas cotizando en las bolsas de valores alrededor del mundo, una infinidad de periodos en el tiempo que tienen características e interés propio, así como muchos modelos y técnicas metodológicas para el diseño de la investigación que se proponga.

Los modelos econométricos deben seguir una metodología establecida ya probada y se deben de cumplir ciertos parámetros en las variables utilizadas. Para ello, es necesario aplicar pruebas como la de Dickey-Fuller para establecer la no estacionariedad de las series de tiempo analizadas.

Al analizar series de tiempo de activos financieros, es recomendable profundizar los estudios analizando diferentes periodos de tiempo y aplicando diversas metodologías existentes además de los modelos autorregresivos de heterocedasticidad condicional generalizada (GARCH) con la finalidad de comparar la efectividad de herramientas econométricas distintas.

Es indudable que en todo el mundo existe un gran interés por saber que esperar en los días por venir con respecto al comportamiento de los precios de las materias primas en los mercados financieros. Son la fuente de la producción de bienes y servicios finales, la variación de sus precios afecta de manera directa el valor de todo lo que se produce y consume en el mundo.

Los energéticos como el gas, la gasolina y el petróleo, que mueven a la industria y a la población mundial. Los metales, que forman la estructura de las construcciones o de la industria automotriz, o son refugio del valor y del poder adquisitivo, como es el caso del oro y la plata.

Los diferentes granos como el trigo, el sorgo y la soya y demás alimentos a granel, como el café, la cocoa, la leche o el jugo de naranja congelado, representan insumos imposibles de sustituir para las empresas del sector alimenticio.

Al ser el maíz la materia prima agrícola con el mayor volumen de operación en los mercados financieros en México y en el mundo y con el volumen de siembra más importante, se decidió que el comportamiento de su precio fuera el objeto principal de esta investigación. Pero existen otras materias primas agrícolas (como el trigo, la soya, el café, el cacao y el algodón) y no agrícolas (como el petróleo, el gas natural, la gasolina, el oro y la plata) que podrían beneficiarse de replicar un análisis con modelos GARCH similar al de la presente investigación.

Por último, existe la necesidad de socializar los resultados obtenidos de investigaciones como la presente con el fin de ampliar el conocimiento de la población en materia del comportamiento de los activos financieros y generar mayor interés que derive en la realización de nuevas investigaciones que amplíen el conocimiento de las materias primas con enfoque económico y financiero

.

BIBLIOGRAFÍA

Ahmed, L. (2018). *U.S. Corn Exports to Mexico and the North American Free Trade Agreement*. Washington. Retrieved from www.usitc.gov

Appendini, K. (2014). Reconstructing the maize market in rural Mexico. *Journal of Agrarian Change*, *14*(1), 1–25. https://doi.org/10.1111/joac.12013

Argáez Sosa, J., Batún Cutz, J. L., Guerrero Lara, E., Kantún Chim, D., Medina Peralta, S., & Pantí Trejo, H. (2010). Un paseo por el modelo GARCH y sus variantes. *Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán, México*, *10*(2014).

Austria Carlos, M. A. (2004). *Estimación del riesgo financiero mediante los modelos GARCH y SV: Caso de las acciones más bursátiles y capitalizables de la Bolsa Mexicana de Valores 1990-2003*. Instituto Politécnico Nacional.

Becerra Pérez, L. A. (2009). La industria del etanol en México. *Economía UNAM*, *6*(16), 82–98. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-952X2009000100006

Calvo Bodán, R. (2016). *Análisis de la volatilidad del tipo de cambio Spot del Peso Mexicano mediante el método GARCH*. Universidad de Costa Rica.

CME-Group. (2019). Corn Futures Quotes. Retrieved January 13, 2019, from https://www.cmegroup.com/trading/agricultural/grain-and-oilseed/corn.html

Couleau, A., Serra, T., & Garcia, P. (2018). Are Corn Futures Prices Getting ‘ Jumpy ’ ?, (1005769).

Díaz-tinoco, J., & Venegas-martínez, F. (2001). Política agrícola y contratos de futuros: Un modelo de arbitraje. *Momento Económico*, (115), 2–21. Retrieved from http://revistas.unam.mx/index.php/rme/article/view/4271/3804

Doporto Miguez, I., & Michelena, G. La volatilidad de los precios de los commodities: el caso de los productos agrícolas (2011).

Eakin, H., Perales, H., Appendini, K., & Sweeney, S. (2014). Selling maize in Mexico: The persistence of peasant farming in an era of global markets. *Development and Change*, *45*(1), 133–155. https://doi.org/10.1111/dech.12074

Enders, W., Chung, P., Enders, W., Shao, L., & Yuan, J. (2008). *Applied econometric time series* (2nd Editio). Alabama: John Wiley & Sons. Retrieved from https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40782547/Solution_manual_of_Walter_enders.pdf?1450266148=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSolution_manual_of_Walter_enders.pdf&Expires=1597037038&Signature=IZ09bCXo~10xvWS-J6DpMy6XgtG~Q8Rx2kKIanzK~uCEFpHBJ0G08AOKo40AjmTqv4paBDN8HPjWIcF~ULVsiE5PaTM33hp35k2z8GDv8wU6qx6p8whfP0qZtAOD8w1-oexi0t7YvziSA-SGkW2j0-53r-aI0lqo6COcUxUh-jmOgBD3l1cQl6KjNoYBbKXSmFdJ~skEj4PFE4IncYMtTS-~tBaiSpwvVAlV7JMhyeduAja69sEf6n4z3KZM1joSr1IxBdRhCqqCiUIWk4ozddmsiw4fo9jNsBZpprr-ZStN4hthFrvsGzY4PL02Ju49S1nX13r8hF5m-XrLiwGQew__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

FIRA, F. I. en R. con la A. (2014). *Factores relevantes en el desarrollo de proyectos de inversión en el sector agropecuario en México*.

FIRA, F. I. en R. con la A. (2018). *Resumen del reporte mensual sobre estimaciones de oferta y demanda WASDE, USDA.*

Fitting, E. (2006). Importing corn, exporting labor: The neoliberal corn regime, GMOs, and the erosion of Mexican biodiversity. *Agriculture and Human Values*, *23*(1), 15–26.

https://doi.org/10.1007/s10460-004-5862-y

Freidberg, S. (2017). Trading in the secretive commodity. *Economy and Society*, *46*(3–4), 499–521. https://doi.org/10.1080/03085147.2017.1397359

González Sierra, M. A. (2010). *Análisis de la demanda de energía eléctrica usando series de tiempo*. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Retrieved from http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11114.pdf

He, X., Serra, T., & Garcia, P. (2018). Cost of Immediacy during Large Price Movements: Evidence from Corn Futures Market. In *NCCC-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting, and Market Risk Management*. Minneapolis.

Paláu Blanco, E. (Integradora C. (2017). Funciona la agricultura por contrato de maiz? *Noroeste*. Retrieved from https://www.noroeste.com.mx/publicaciones/opinion/funciona-la-agricultura-por-contrato-de-maz-100598

Paliwal, R. L. (2001). *Introducción al maíz y su importancia*. Roma. Retrieved from http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s02.htm#P0_0

Rojas, D., & Abreu, J. L. (2008). Mercado de futuros, alternativa de protección de precios para los industriales transformadores del grano de trigo en México. *International Journal of Good Conscience. Septiembre*, *3*(2), 105–144. Retrieved from http://www.spentamexico.org/v3-n2/3(2) 105-144.pdf

SAGARPA. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. Ciudad de México.

Scuse, M. T. (2016). *World Agricultural Supply and Demand Estimates*. *Usda*. https://doi.org/DOI: 10.1016/j.tet.2009.07.077

Secretaría de economía. (2019). Comercialización. Retrieved from http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/productos-servicios/comercializacion

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Retrieved from https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430

Stanton, W. J., Etzel, M. J., & Walker, B. J. (2007). *Fundamentos de marketing* (14th ed.). Ciudad de México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Tsay, R. S. (2014). *Tsay-2014-An introduction to analysis of financial data with r*. Wiley & Sons.

van Huellen, S. (2018). How financial investment distorts food prices: evidence from U.S. grain markets. *Agricultural Economics (United Kingdom)*, *49*(2), 171–181. https://doi.org/10.1111/agec.12406

Villavicencio, J. (2010). *Introducción a Series de Tiempo*. Retrieved from https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38458362/manual_intro_series_tiempo.pdf?1439406686=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIntroduccion_a_Series_de_Tiempo.pdf&Expires=1597036055&Signature=ZR3x4Bll3QuVAlWtxLH21UDor7XzhtmX~GJGvAsFnjx9-mNQ9pZY93fW-tbg-lrLuWxiHaggKPXqCGrsH5qVtMfUlIxXr7Gp4DXckMhKVbpnfnxvHV4gIS6FQaAxKqONfyDQQB9EfyGpxAOAIWxp1vlr09eLUdXYHJPxEWscoiVtNMpp6LRz~m9fWqTgBdBeQ5lHyotBFUov0U9lLuNRfCYawxRTX7eV7Zd7ghc9C4RGjfTxHyAqQKQ-zaFxVutZ30bF-aPAPF0R6UR5bCks54BIqvpcYsUNlNLaWlh6MbnuAEUCUpaCV1V~GB9Edo0b8X0S~34szeRzPq9S0gBRUQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA