Universidad Rafael Landívar

Banco de Guatemala

Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos -CEMLA-

Programa de Estudios Superiores

Maestría en Economía y Finanzas Cuantitativas

**ANÁLISIS DE LA VOLATILIDAD DE LOS RENDIMIENTOS DIARIOS DE LOS PRECIOS INTERNACIONALES DEL AZÚCAR Y EL CAFÉ: SU INCIDENCIA EN EL VALOR EN RIESGO DE LAS EXPORTACIONES GUATEMALTECAS Y EN LA GENERACIÓN DE COBERTURAS FINACIERAS**

Trabajo presentado para optar al título de Maestro en Economía y Finanzas Cuantitativas

Presentado por

**DIEGO IGNACIO SÁNCHEZ DEL CID**

Asesorado por el Dr. Nicholas David Virzi Arroyave

Guatemala, noviembre 2020

# Abstract

Este trabajo estima dos modelos de heteroscedasticidad condicional para los rendimientos diarios del precio del azúcar y café. Los pronósticos de la volatilidad de los rendimientos son utilizados para la estimación del valor en riesgo de las exportaciones guatemaltecas. Así mismo se realiza un análisis de la factibilidad de utilizar opciones put para generar una cobertura ante una fluctuación negativa en los precios. El análisis se realiza para el período comprendido del 01/10/2015 al 30/09/2020. Los resultados muestran que los rendimientos del café son más volátiles que los del azúcar. Sin embargo, esto no se traduce en un mayor valor en riesgo de las exportaciones de café que las del azúcar debido a que Guatemala produce más del último bien. En el análisis de las opciones put se resalta que a pesar que los rendimientos del café sean más volátiles, las caídas de los precios internacionales del azúcar suceden con más frecuencia.

*Clasificación JEL: B17, C58, F36, F37, G15, G17, G32, M16, O13, O16, Q02, Q14, Q17.*

# Índice General

[Introducción III](#_Toc55152962)

[1. Planteamiento del Problema 1](#_Toc55152963)

[1.1. Objetivos 1](#_Toc55152964)

[1.2. Justificación 1](#_Toc55152965)

[2. Revisión Literaria 4](#_Toc55152966)

[2.1. Definición de volatilidad 4](#_Toc55152967)

[2.2. Volatilidad en los mercados agrícolas. 4](#_Toc55152968)

[2.3. Causas de la volatilidad en los mercados agrícolas 5](#_Toc55152969)

[2.3.1. Shocks de Oferta 5](#_Toc55152970)

[2.3.2. Shocks de Demanda 6](#_Toc55152971)

[2.4. Efectos de la volatilidad en los mercados agrícolas 8](#_Toc55152972)

[2.4.1. Propagación de la volatilidad a los mercados domésticos 10](#_Toc55152973)

[2.5. El comportamiento de los precios en los mercados agrícolas 10](#_Toc55152974)

[2.6. Aproximaciones para la modelación de la volatilidad 11](#_Toc55152975)

[2.7. Generación de coberturas para reducir el riesgo. 14](#_Toc55152976)

[3. Delimitación del Alcance del estudio 16](#_Toc55152977)

[4. Formulación de la hipótesis 17](#_Toc55152978)

[5. Metodología 18](#_Toc55152979)

[5.1. Variables de análisis 18](#_Toc55152980)

[5.2. Diseño de la Investigación 19](#_Toc55152981)

[5.3. Selección de la muestra 19](#_Toc55152982)

[5.3.1. Estadística descriptiva de la muestra 20](#_Toc55152983)

[5.4. Herramientas para la estimación 25](#_Toc55152984)

[5.4.1. Modelos GARCH 25](#_Toc55152985)

[5.4.2. Criticas a los modelos GARCH 27](#_Toc55152986)

[5.4.3. El valor en riesgo 28](#_Toc55152987)

[5.4.4. Modelo Black-Scholes. 29](#_Toc55152988)

[5.4.5. Paridad Put-Call. 29](#_Toc55152989)

[5.4.6. Modelo de Black. 30](#_Toc55152990)

[5.5. Procedimientos 31](#_Toc55152991)

[6. Resultados 33](#_Toc55152992)

[6.1. Modelos elegidos para la volatilidad de los rendimientos del azúcar y café. ……………………………………………………………………………………33](#_Toc55152993)

[6.1.1. Análisis del modelo de los rendimientos de Coffee C. 33](#_Toc55152994)

[6.1.2. Análisis de los modelos de los rendimientos de Sugar #11. 36](#_Toc55152995)

[6.2. El valor en riesgo de las exportaciones guatemaltecas de azúcar y café 41](#_Toc55152996)

[6.2.1. El valor en riesgo de las exportaciones de café. 41](#_Toc55152997)

[6.2.2. El valor en riesgo de las exportaciones de azúcar. 43](#_Toc55152998)

[6.3. El valor de una opción put para las exportaciones guatemaltecas de azúcar y café. 46](#_Toc55152999)

[6.3.1. El valor de una opción put para las exportaciones de café. 46](#_Toc55153000)

[6.3.2. El valor de una opción put para las exportaciones de azúcar. 48](#_Toc55153001)

[7. Conclusiones 50](#_Toc55153002)

[8. Recomendaciones 51](#_Toc55153003)

[9. Referencias 52](#_Toc55153004)

[10. Anexos 54](#_Toc55153005)

# Introducción

En el presente trabajo de investigación se proponen dos modelos que permitan realizar pronósticos acerca de la volatilidad de los rendimientos de los precios internacionales del azúcar y café. Con estos pronósticos se estima el valor en riesgo de las exportaciones guatemaltecas de los productos antes mencionados. Así mismo se busca determinar la factibilidad de utilizar una opción put para generar una cobertura ante el riesgo de una fluctuación de los precios internacionales que reduzcan los flujos de efectivo de los exportadores.

El azúcar y café están dentro de los productos más importantes de las exportaciones guatemaltecas. En el año 2019 en conjunto estos representaron el 12.1% del total de exportaciones nacionales, esto es equivalente a $1,357.5 millones. (BANGUAT, 2020).

“Aproximadamente 70% de la producción de azúcar se exporta, se generan alrededor de 52 mil empleos directos y 260 mil indirectos.”

María Silvia Pineda, Directora Ejecutiva de FUNDAZUCAR.

“Un estimado del 90% de la producción de café se exporta, se generan alrededor de 500 mil empleos al año.”

Luisa Fernanda Correa, Gerente general de ANACAFÉ.

La persistencia de la volatilidad por la constante variación de los precios seguirá planteando para los productores agrícolas gran incertidumbre que se suman a los ya exacerbados riesgos que enfrentan debido al cambio climático y la presencia recurrente de plagas y enfermedades. (FAO, 2010)

Las coberturas financieras son una forma de reducir las consecuencias de los movimientos bruscos de los precios en el corto plazo sobre los flujos de efectivo de los agentes económicos que se dedican a las actividades agrícolas, promoviendo una mejor planificación de los negocios, como consecuencia de esta mejor planificación, los movimientos de corto plazo no influirán en los planes de producción de largo plazo generando distorsiones en los factores fundamentales de la oferta. (Hao, 2010)

Para los pronósticos de la volatilidad de los precios internacionales del azúcar y café se utilizaron modelos de heterocedasticidad condicional. La estimación del valor en riesgo de las exportaciones guatemaltecas se realizó utilizando el método paramétrico. Por su parte para la determinación de la viabilidad de utilizar una cobertura por medio de una opción put se utilizó el modelo Black-Scholes (1973) para determinar el valor de la opción. Este valor se contrastó con el número de veces que los precios han caído en una magnitud igual o mayor que el precio de la cobertura financiera.

Entre los principales resultados se destaca que los rendimientos de los precios internacionales del café recientemente han sido más volátiles que los del azúcar. Sin embargo, debido a que Guatemala produce una mayor cantidad de azúcar que de café esta volatilidad no se traduce en un mayor valor en riesgo para las exportaciones del café que del azúcar. Por su parte, la frecuencia con que se han dado las caídas de los precios internacionales del azúcar es mayor que la frecuencia de las caídas de los precios internacionales del café, a pesar que la volatilidad sea mayor para el caso del café.

El presente documento se compone de ocho secciones adicionales a esta introducción. En la primera sección se describe el planteamiento del problema. En la segunda. se desarrolla la revisión literaria. La tercera y cuarta sección corresponden a la delimitación del alcance del estudio y el planteamiento de la hipótesis. La quinta sección describe a detalle la metodología. La sexta, detalla los resultados de la investigación. La séptima y octava son las conclusiones y las recomendaciones para las siguientes investigaciones.

# Planteamiento del Problema

## Objetivos

Modelar la volatilidad de los rendimientos de los contratos de futuros del azúcar y café para estimar el valor en riesgo de las exportaciones de estos productos. Y determinar la factibilidad de generar una cobertura de riesgo adicional por medio de una opción de venta, valuandola a través del modelo Black-Scholes.

## Justificación

La alta volatilidad en los mercados de materias primas agrícolas tiene implicaciones económicas importantes para aquellos países que se especializan en su exportación. Siguiendo la línea de pensamiento de Doporto y Michelena (2011), la volatilidad es un fenómeno de suma complejidad cuyas repercusiones pueden afectar a aspectos tales como la seguridad alimentaria, los mercados financieros y los flujos de comercio, así como generar distorsiones en el desarrollo de las economías estructuralmente exportadoras o importadoras netas de productos básicos.

De acuerdo con BANGUAT (2020). Dentro de los productos más importantes de las exportaciones guatemaltecas en el año 2019 se encuentran el Azúcar con US$695.1 millones (6.2% de las exportaciones) y Café con US$662.4 millones (5.9% de las exportaciones), estos conforman el 12.1% del total exportado.

A pesar de una caída de estos productos en la participación estructural de las exportaciones guatemaltecas, se ha visto que en los últimos años se registra un incremento del ingreso de divisas derivado de las exportaciones de los productos antes mencionados.

Para ilustrar la importancia de estos productos en la economía guatemalteca, se muestra el comportamiento de los ingresos derivados de las exportaciones y su variabilidad, así como la evolución de la cantidad exportada.

**Gráfica 1.1** Producción de azúcar para la exportación en miles de toneladas métricas e ingresos en millones de dólares.

Fuente: Elaboración Propia con datos del BANGUAT y CENGICAÑA

**Gráfica 1.2** Producción de café para la exportación en miles de toneladas métricas e ingresos en millones de dólares.

Fuente: Elaboración Propia con datos de BANGUAT y ANACAFE.

La producción de azúcar para la exportación presenta una tendencia al alza. El café por su parte ha presentado estabilidad en sus exportaciones en los últimos 9 años.

**Gráfica 1.3** Crecimiento de los ingresos de las exportaciones de café y azúcar en los últimos 25 años. Eje secundario corresponde al café.

Fuente: Elaboración Propia con datos de BANGUAT.

La volatilidad de los precios internacionales del azúcar y café repercute de forma directa en los ingresos de los exportadores de estos productos poniendo en una situación de estrés los flujos de efectivo esperados.

Los ingresos de las exportaciones guatemaltecas de café y azúcar en los últimos 25 años han pasado de tener crecimientos del 50% o más respecto del año anterior a tener caídas mayores al 40% respecto del año anterior.

El café y el azúcar son productos importantes para la economía guatemalteca. Sus precios internacionales están sujetos a altos niveles de volatilidad y esto repercute de forma directa en los ingresos de las exportaciones promoviendo pérdida de bienestar y creando distorsiones en los mercados.

Por esto es importante una adecuada gestión de riesgo en empresas que operan en estos sectores.

# Revisión Literaria

## Definición de volatilidad

La volatilidad no es algo que se pueda definir de forma directa. El concepto varía de acuerdo a los autores.

“La volatilidad describe cuanto cambia un valor a lo largo del tiempo y a qué velocidad, la volatilidad en la teoría económica implica dos conceptos fundamentales: la variabilidad y la incertidumbre; el primero describe la variación total mientras que el segundo hace referencia a las fluctuaciones impredecibles.”

(FAO, 2010, p.1).

Por su parte Gilbert y Morgan (2010) definen la volatilidad como: “Una medida sin dirección del grado de la variabilidad del precio, la volatilidad por tanto se deriva del segundo momento de la distribución del precio o de una transformación de esta serie” (p.1).

A la definición anterior, se le puede agregar que la volatilidad es la variación de los desvíos de los precios respecto a una tendencia o media. De Lara (2018) argumenta que: “la volatilidad es un indicador fundamental para la cuantificación del riesgo, porque representa una medida de dispersión de los rendimientos[[1]](#footnote-1) con respecto al promedio o la media de los mismos para un período determinado.” (p.75).

## Volatilidad en los mercados agrícolas.

Balcombe (2010) citando a FAO (2008) argumentó que: “existe una considerable evidencia empírica de que la volatilidad en los precios de los productos agrícolas ha incrementado. Esto es una preocupación para los productores agrícolas y para los agentes económicos a lo largo de la cadena productiva.” (p.2).

En otro estudio acerca de la volatilidad de los mercados agrícolas se concluyó qué:

“En efecto la volatilidad de los precios agrícolas si ha aumentado, pero no es el primer episodio de la historia con alta volatilidad. Por lo tanto, parece que este no es excepcional y debido a esta razón existe una esperanza de que la volatilidad se reduzca en los próximos años. Sin embargo, actualmente existen factores que podrían ser un shock permanente a la volatilidad. Entre estos factores mencionan al cambio climático, la volatilidad del precio del petróleo transmitida por la vía de los precios de los biocombustibles y los índices de inversión de los mercados de futuros.”

(Gilbert y Morgan, 2010, p.11)

La volatilidad de los precios de las materias primas agrícolas tiene costo para los países tales como:

* Pérdida de eficiencia económica,
* Reducción de la seguridad alimentaria
* Desnutrición.
* Efectos negativos sobre la balanza comercial
* Posibilidad de movilizaciones sociales y riesgos elevados para los productores, especialmente para los pequeños agricultores, pues se incrementaría la incertidumbre de sus ingresos esperados.

(Cepal, 2010, p.4).

## Causas de la volatilidad en los mercados agrícolas

CEPAL (2010) dividió las causas de la volatilidad en los mercados agrícolas en 2 grandes categorías:

### Shocks de Oferta

* + - 1. Variabilidad climática: La frecuencia de las inundaciones y sequías en el continente americano se ha multiplicado por 20 entre la primera mitad siglo pasado y los años 2000. Adicional a lo anterior, la baja inversión y la poca o nula gestión de riesgo en este sector lo hace más vulnerable exacerbando los períodos de volatilidad en el marco del riesgo climático[[2]](#footnote-2).

(Cepal, 2010, p.14)

* + - 1. Políticas públicas: El aumento de aranceles a la exportación y las retenciones de inventarios en un país pueden aumentar la elasticidad precio de la demanda en ese país. Esto reduciría la elasticidad precio de la demanda en el resto del mundo, lo cual contribuiría a una mayor volatilidad.

(Gilbert y Morgan, 2010, p.7)

### Shocks de Demanda

* + - 1. Cambios en los ingresos:El efecto sobre la volatilidad viene asociado con la elasticidad ingreso de la demanda, así como los productos sustitutos, y la dieta de los consumidores. Por ejemplo, si los consumidores remplazan cereales por carnes, más consumidores con menor elasticidad ingreso de la demanda sobre los cereales saldrán de ese mercado. Esto aumentaría la elasticidad ingreso de la demanda promedio de este producto, lo cual podría generar una disminución de la volatilidad.

(Cepal, 2010, p.15)

* + - 1. Nuevos usos para los productos agrícolas: **“**Dada la inelasticidad de la oferta agrícola en el corto plazo los nuevos usos de los productos agrícolas pueden generar un desajuste por exceso de demanda y exacerbar la volatilidad de los precios. (…) Con el desarrollo de los biocombustibles, se cambia la asignación de los cultivos agrícolas y se genera una conexión con el mercado de combustibles fósiles. Esto promueve un contagio de volatilidades.

(Ortiz y Girón, 2015, p.30)

* + - 1. Financierización de los mercados de materias primas agrícolas:CEPAL (2010) comentó que: la necesidad de diversificación de los inversionistas generó un aumento de los contratos de futuros. Esto ocasionó un alza de los precios, esta alza de precios no respondía a ningún cambio estructural en la oferta o demanda. (p.16-18).

Asimismo, “los mercados de futuros proveen de liquidez y permiten la transferencia de riesgos desde los agentes comerciales a los no comerciales (por ejemplo, especuladores). Esto permitió un mayor crecimiento de la oferta, siendo este un factor que reduce la volatilidad. Sin embargo, estos mismos mercados facilitan el comportamiento de manada[[3]](#footnote-3).

Adicional a lo anterior, se debe agregar que la casi perfecta elasticidad precio de los agentes financieros a sus posiciones de inversión promueve una mayor volatilidad. Debido a lo anterior, no se tiene una claridad de la tendencia predominante del efecto de la volatilidad sobre la financierización.”

(Gilbert y Morgan, 2010, p. 10)

* + - 1. Los mercados de divisas: **“**Los precios internacionales de las materias primas generalmente están denominados en dólares. Por lo tanto, están sujetos a las posibles apreciaciones o depreciaciones de esta moneda. La volatilidad del tipo de cambio es un factor que se transmite de forma directa a la volatilidad de los precios de los mercados agrícolas.”

(Balcombe, 2010, p.7)

Adicional a las causas listadas anteriormente, Doporto y Michelena (2011), destacaron otros factores tales como: “inflación, los niveles de inventarios, y las tasas de interés.” (p.16). Esta última variable está implícita en la financierización de los mercados de materias primas agrícolas. Por su parte Balcombe (2010) incluye otras posibles causas: “la volatilidad pasada, las tendencias, cosechas anteriores, la concentración de las exportaciones y volatilidad de las tasas de interés.” (p.3).

La FAO destacó que: “Entre las principales causas de la volatilidad en los mercados agrícolas, se encuentran: Inelasticidad en la oferta y la demanda, bajos niveles de inventarios, una mayor conexión con los mercados energéticos y los tipos de cambio.” Belhassen (Julio de 2012).

Cabe destacar:

“No existe un único factor que afecte de manera homogénea a todos los commodities. Esto refuerza la idea de que cada mercado tiene su propia dinámica y puede estar afectado por factores que son ajenos al resto. Esto no implica que los mercados sean independientes uno del otro, sino que existe una cierta idiosincrasia o características distintivas para cada uno.”

(Doporto y Michelena, 2011, p. 20)

## Efectos de la volatilidad en los mercados agrícolas

De Lara, A. (2018) comenta que la volatilidad es una medida de riesgo. Asimismo:

“La decisión de los agricultores cuando se encuentran sometidos al riesgo puede elevar la producción de cultivos intercalados, esto reduce la cantidad de los productos agrícolas cuyos precios fluctúan más, exacerbando la volatilidad, asimismo, el riesgo puede impedir la adopción de nuevas tecnologías para la agricultura.”

(Hao, 2010, p.5)

Para Hao (2010) Las decisiones de producción en la agricultura son hechas con mucha antelación, por lo que los precios a la que se venderá la producción no son sabidos en el inicio. La incertidumbre adquiere más relevancia por la inherente volatilidad de los mercados agrícolas. La asimetría de la información y la habilidad de los agricultores para enfrentar los riesgos genera la pérdida de bienestar social.

Con lo anterior, es que se puede decir que la volatilidad crea ineficiencias en los mercados. Aquellos mercados en donde existen formas de compartir riesgos permiten a las firmas y agricultores protegerse de los riesgos y es en donde se pueden obtener los beneficios de la especialización.

El principal argumento para la administración de riesgo de empresas agrícolas y la apertura de mercados futuros es:

“La inestabilidad de precios tiene consecuencias negativas, cuando los precios son más altos de lo esperado, una parte puede ser ahorrado por los agricultores como una protección en contra la disminución de los precios en el futuro, sin embargo estas formas de auto asegurarse son generalmente limitadas, la mayoría de los agricultores tienen flujos de efectivo bajo mucho estrés, por lo que cuando los precios son más bajos de lo esperado los agricultores difícilmente tienen la capacidad de cubrir los déficits con los ahorros, y esto crea dificultades para cosechas futuras.”

(Hao, 2010, p.4)

Así mismo:

“Otra consecuencia de la inestabilidad de precios es que puede crear distorsiones en los mercados. Cuando los agricultores no pueden cubrir o transferir sus riesgos, no puede haber una planificación de largo plazo de la producción. Esto tiene como principal consecuencia que shocks de corto plazo que no responden a cambios en las variables fundamentales de la demanda (como los ingresos, por ejemplo), si afecten a variables fundamentales de la oferta, como la producción. Promoviendo una asignación ineficiente de los recursos.”

(Hao, 2010, p.5)

Los países que más sufren las consecuencias de la volatilidad son aquellos cuyas economías están en vías de desarrollo:

“El impacto de una alta volatilidad se concentra principalmente en países en vías de desarrollo, pues el consumo directo de materias primas agrícolas se reduce conforme los ingresos de las naciones aumentan (…) La volatilidad en los precios de la comida potencialmente tendrá efectos en los términos de intercambio.”

(Gilbert y Morgan, 2010, p. 5).

### Propagación de la volatilidad a los mercados domésticos

Se puede explorar la transmisión de los precios en el mundo a los precios domésticos bajo la hipótesis de la ley del precio único, la principal conclusión, es que raramente se cumple, las principales razones son los impactos en los tipos de cambio y los grados de competencia imperfecta, las naciones más desarrolladas tienden a estar más abiertas y por tanto más expuestas a los precios internacionales, sin embargo, las naciones más ricas tienen una menor proporción de sus ingresos destinados a la alimentación. Mundlak y Larson (1992)

En el caso particular del café para México se concluyó que:

“Los productores de café sin instrumentos de cobertura son vulnerables a los cambios en el mercado internacional, a medida que la transmisión de precios es más completa y rápida (5 a 6 meses) el estudio inicia a cobrar más relevancia. A mayor integración con el mercado internacional, mayores serán los efectos de la transmisión de precios.”

(Jaramillo y Benítez, 2016, p.14)

## El comportamiento de los precios en los mercados agrícolas

Se ha hablado únicamente de la volatilidad de los precios, sin embargo, también es importante caracterizar de forma muy breve el comportamiento del precio de los bienes agrícolas:

“Para los países en que los ingresos de sus exportaciones dependen de productos agrícolas, la volatilidad de estos genera problemas en la formulación de las políticas macro y microeconómicas. El entendimiento de los procesos estocásticos que gobiernan los movimientos de los precios es esencial para el manejo macroeconómico, el consumo nacional, las políticas de ahorro y el diseño de los procesos para compartir riesgos entre los agricultores, inversionistas y los gobiernos.”

(Deaton y Laroque, 1990, p.1)

Deaton y Laroque (1990) para modelar el comportamiento de los precios partieron de un equilibrio entre oferta y demanda inelásticas, pero también modelaron el comportamiento de especuladores que mantienen inventarios con el fin de generar utilidades.

“Reconocer de forma explícita que no se pueden mantener inventarios negativos genera no linealidades que ayudan a explicar muchos hechos estilizados, como la curtosis, o la autocorrelación de los precios.”

(Deaton y Laroque, 1990, p.31)

Para poder explicar el comportamiento de los precios agrícolas, es necesario probar 2 teoremas: Existe un equilibrio estacionario de expectativas racionales y las condiciones sobre la cual se da un proceso de renovación en los precios. Deaton y Laroque (1990)

Entre las principales conclusiones de Deaton y Laroque (1990) se destaca que: “a pesar de que el almacenamiento de inventarios genera la autocorrelación de los precios, aún falta determinar especificaciones teóricas que puedan generar el verdadero grado de autocorrelación observado en las series de tiempo reales.” (p.31).

Lo descrito hasta el momento confirma los problemas que la volatilidad trae consigo, sobre todo en aquellas economías en desarrollo cuya población está más expuesta a los cambios bruscos de precios de los productos agrícolas. Por el hecho de que una mayor proporción de los ingresos está dirigida al consumo de alimentos.

Asimismo, las distorsiones de precios y las movilizaciones sociales son problemas que todo hacedor de política pública debe de tomar en cuenta. Pues tienen repercusiones negativas sobre el bienestar social.

Por las razones anteriores es que es necesaria la modelación de la volatilidad. Tener una herramienta que pueda pronosticar la volatilidad de los precios de los productos agrícolas puede reducir las consecuencias negativas de esta sobre el bienestar social.

## Aproximaciones para la modelación de la volatilidad

Vale la pena destacar que autores como Doporto y Michelena, (2011) y Balcombe, (2010) ya buscaron formas más específicas para modelar la volatilidad. De hecho, un hallazgo importante de las primeras autoras es que no todos los factores que afectan a la volatilidad tienen un efecto homogéneo sobre los commodities.

Doporto y Michelena (2011) utilizaron dos definiciones de volatilidad para su estudio: La primera es la volatilidad histórica, para el cálculo de esta se toma en cuenta el desvío estándar anualizado de las primeras diferencias en el logaritmo de los precios mensuales, la ecuación 1 puede ser más explícita.

Para la segunda definición, construyeron una proxi para la volatilidad basada en series mensuales, tomaron los valores absolutos de los residuos de un modelo AR(1)[[4]](#footnote-4) y luego calculan los promedios anuales. Las ecuaciones 2 y 3 ilustran el proceso.

Definición de volatilidad histórica.

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 1 ) |

Construcción del proxi de volatilidad

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 2 ) |
|  | ( 3 ) |

es el residuo de la estimación del rendimiento del commoditie en el momento t, es el término de error del modelo AR(1) del residuo.

En este caso la variable dependiente es el rendimiento de un commoditie, es decir:

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 4 ) |

Al utilizar el logaritmo se está haciendo una transformación “*Box-Cox”[[5]](#footnote-5)* para corregir el problema de distribución no normal de la serie y al diferenciar el logaritmo se está quitando la tendencia a la serie para poder hacerla estacionaria y por tanto poder realizar inferencia estadística.

Con la volatilidad obtenida, se utiliza como variable dependiente de:

* Inflación
* Inventarios
* Tipo de cambio
* Tasas de interés
* Crecimiento del ingreso
* El clima
* Especulación
* Activos financieros alternativos.

(Doporto y Michelena, 2011, p.20)

La estimación la llevan a cabo mediante la metodología de Zellner (1962)[[6]](#footnote-6)

La conclusión de Doporto y Michelena (2011) más destacable es que: “La volatilidad de los precios de los commodities es un fenómeno multicausal (…) La relación entre la volatilidad y la especulación no es concluyente.” (p.23).

Por su parte Balcombe (2010) utilizó una aproximación por descomposición. Para esto, se utiliza el logaritmo del precio en el tiempo t, la ecuación 5 ilustra el proceso.

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 5 ) |

El componente de nivel representa la media o la tendencia, el componente cíclico por definición tiene media 0 y no tiene tendencia. En este caso los componentes de nivel y cíclicos están guiados por shocks estocásticos y de varianza no constante en el tiempo. Una de las dos varianzas puede ser 0, pero no ambas. Esto implicaría que las series no tienen variaciones aleatorias. En el caso de la varianza del ciclo, si esta es 0, significa que todos los shocks son permanentes.

Los componentes de nivel y cíclicos están sujetos a la volatilidad de sus respectivos shocks, con esta construcción, es que la varianza de los shocks se utiliza como variable dependiente de:

* Volatilidad pasada de la del petróleo
* Volatilidad del precio de otros productos agrícolas.
* Volatilidad del tipo de cambio.
* Volatilidad de las tasas de interés.
* Niveles de inventarios
* Tendencia determinística.

(Balcombe, 2010, p. 8)

Con esta aproximación se obtiene además de una medida de volatilidad para la tendencia y el ciclo del producto agrícola, una prueba de persistencia de la volatilidad y la transmisión de la volatilidad entre productos agrícolas y petróleo.

La conclusión más destacable es que:

“Existe persistencia de volatilidad en los precios de los productos agrícolas, así como una fuerte transmisión de la volatilidad de los precios del petróleo a la de los precios de los productos agrícolas, esto por los costos de energía, así como la utilización de los cultivos como un factor necesario para la producción biodiesel.”

(Balcombe, 2010, p.10)

## Generación de coberturas para reducir el riesgo.

En los mercados financieros las materias primas se negocian mediante derivados. De Lara (2018) define estos instrumentos como: “Un derivado es un instrumento financiero cuyo valor subyace en el valor que tiene otro activo.” (p.146).

Un contrato futuro es un acuerdo estandarizado por una bolsa para la transacción de un bien en una fecha especificada y a un precio previamente acordado, los contratos futuros eliminan el riesgo de contraparte al estar respaldados por la cámara de compensación de una bolsa.

Otra forma de generar una cobertura es mediante la utilización de contratos de opciones, que de forma muy general tiene como objetivo que los movimientos adversos al inversionista en el mercado no le generen pérdidas, una opción puede dar al tenedor de esta el derecho de ejercer el contrato, pero no la obligación.

Existen dos tipos de opciones básicas. A partir de estas es que se pueden desarrollar mecanismos de cobertura más complejos. Debido al alcance de la investigación se definen de forma general dos tipos: de compra (call) y de venta (put)

“Una opción de compra da a su poseedor el derecho de comprar un activo financiero a un precio de ejercicio específico en o antes de una fecha de vencimiento especificada, si la opción de compra se puede ejercer hasta su vencimiento se le llama opción europea, si la opción se puede ejercer en cualquier momento se le llama opción americana. Una opción de venta da por tanto a su poseedor el derecho de vender al precio de ejercicio un activo financiero.”

(Brealey et al, 2015, p. 506)

# Delimitación del Alcance del estudio

La investigación es correlacional y descriptiva. El análisis de la volatilidad es correlacional, y la extrapolación de esta volatilidad al análisis del valor en riesgo de las exportaciones y la valuación de la opción la hace descriptiva. Adicional a la volatilidad existen otros factores idiosincráticos asociados a cada producto agrícola tales como: períodos de cosecha, distribución y clima necesario para su producción. Estos factores no serán caracterizados en la investigación

# Formulación de la hipótesis

La volatilidad de los cambios de precios del Azúcar será mayor a la volatilidad de los cambios de los precios del Café y esta mayor volatilidad se traducirá en un mayor valor en riesgo de las exportaciones del azúcar que del café. Por la razón anterior el valor de la opción put del azúcar tendrá un precio mayor que la opción put del café.

# Metodología

## Variables de análisis

En la siguiente tabla se presentan las definiciones operativas y conceptuales de las variables de análisis en el estudio.

**Tabla 5.1**. Definiciones conceptuales y operacionales de las variables de la investigación.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Variable | Definición conceptual | Definición operacional |
| Volatilidad | Medida sin dirección del grado de la variabilidad del precio. Gilbert. Morgan, (2010) | Estimación realizada por medio del modelo GARCH (p,q) que tenga el mejor ajuste. |
| Rendimiento | Medida de rentabilidad de un activo financiero. |  |
| Precios del Azúcar | Información transmitida entre productores y consumidores del valor del azúcar. | Serie de precios de los contratos de futuros “The Sugar No.11” de la NYSE |
| Precios del Café | Información transmitida entre productores y consumidores del valor del café. | Serie de precios de los contratos futuros de “Coffeee C Futures” de la NYSE. |
| Valor en riesgo | Medida estadística de riesgo de mercado que estima la pérdida máxima que podría registrar un portafolio en un intervalo de tiempo y con cierto nivel de probabilidad o confianza. De Lara, A. (2018) | Z es el factor que determina el nivel de confianza del cálculo; es el monto total de la inversión o la exposición al riesgo; es la volatilidad del activo y t se refiere al horizonte temporal en que se desea calcular el VaR. |
| Opción de Venta | Derecho de vender al precio de ejercicio pactado un activo financiero. | Estimación resultante de la utilización del modelo propuesto por Black & Scholes. (1973). |
| Exportaciones de Azúcar y Café | Cantidad exportada de Azúcar y Café. | Cantidad exportada de azúcar y café en el año 2019, facilitada por CENGICAÑA, ANACAFÉ y BANGUAT. |

## Diseño de la Investigación

La investigación utilizará un diseño no experimental, transversal correlacional-causal. Primero se determinará cuáles son los niveles de volatilidad de los rendimientos de los precios de los contratos de futuros del azúcar y café a través de un modelo de heterocedasticidad condicional. Posteriormente con la volatilidad se estimará el valor en riesgo de estos activos tomando como proxi del número de contratos la estacionalidad de las exportaciones de azúcar y café guatemaltecas para el mes de octubre, como proxi del tiempo se asumirá que el contrato futuro se comprará el 30/09/2020 y se venderá el 31/10/2020.

Para determinar cuál es el costo de cubrir el riesgo derivado de un movimiento negativo de los precios en el mercado, se valuará una opción put con el modelo Black-Scholes, (1973). Se contrastará el monto de la compra de la opción put con el valor en riesgo, para determinar la factibilidad de cubrir dicho riesgo.

## Selección de la muestra

Para el estudio se tomarán las series de tiempo de “The Sugar No.11” y “Coffeee C Futures” como proxis de los precios internacionales del azúcar y café. Los datos seleccionados tienen un período de duración de 5 años que abarca del 01/10/2015 al 30/09/2020 para ambas series.

La razón de la selección es principalmente porque el período abarca el cambio estructural que generó la crisis financiera mundial del 2008, así como las investigaciones anteriores Cepal (2010), Balcombe (2010), Gilbert y Morgan, (2010), Doporto y Michelena (2011), FAO (2010) hablan del aumento de la volatilidad para el período posterior al 2008.

### Estadística descriptiva de la muestra

* + - 1. Estadística Descriptiva de la serie de precios de Sugar # 11 y Coffee C:El análisis de volatilidad de los rendimientos inicia con las series de precios, por esta razón se describe el comportamiento en el tiempo de los precios de los contratos futuros del azúcar y del café.

**Gráfica 5.1.** Comportamiento de los precios del café para el período de análisis.

Fuente: Elaboración propia con datos de Investing.

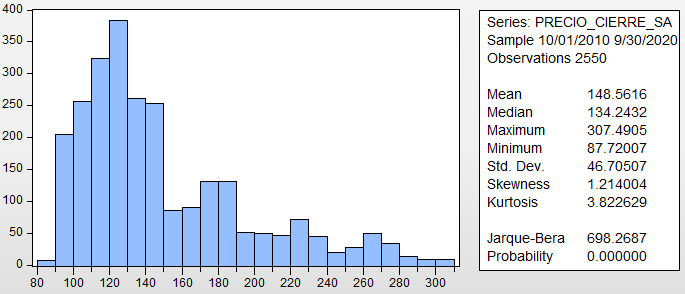
**Gráfica 5.2.** Comportamiento de los precios del azúcar para el período de análisis.

Fuente: Elaboración propia con datos de Investing.

Es posible observar la presencia de tendencias tanto primarias como secundarias en las series, estas tendencias dificultan el análisis estadístico, principalmente porque son una evidencia de que los procesos tienen comportamiento de raíz unitaria.

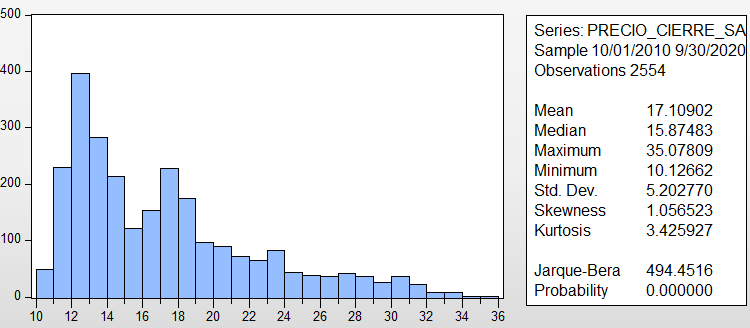
se presenta la distribución y las estadísticas descriptivas de las series.

**Figura 5.1.** Distribución y estadística descriptiva de los precios del café.



Fuente: Elaboración propia con datos de Investing.

**Figura 5.2.** Distribución y estadística descriptiva de los precios del azúcar.

Fuente: Elaboración propia con datos de Investing.

Con el apoyo de la prueba Jarque-Bera se puede asegurar que no existe evidencia estadística de que las series de precios se distribuyan con sesgo 0 y curtosis 3 como una distribución normal.

Todas las características anteriores son de procesos que tienen raíz unitaria y que por tanto dificultan la inferencia estadística.

Para comprobar que los procesos en efecto tienen una raíz unitaria se realizó la prueba de Dickey-Fuller aumentada con la ayuda del paquete estadístico Eviews 10, la hipótesis nula de que el proceso tiene raíz unitaria no fue rechazada. Las tablas 10.1 y 10.2 de la sección de anexos muestran los resultados de las pruebas.

Para reforzar la prueba anterior se observaron los altos niveles de autocorrelación de las series que pueden inducir a dudas acerca de los estadísticos t utilizados para hacer inferencia. En la sección de anexos las tablas 10.3 y 10.4 muestran los correlogramas de las series de precios de café y azúcar

Monsalve y Harmath (2015) mencionan que: “En finanzas se suele considerar con mucha frecuencia la serie de rentabilidades en lugar de la de precios, las dos razones principales son: las rentabilidades son una síntesis de las oportunidades de inversión y las series de rendimientos en general tienen mejores propiedades estadísticas que facilitan su análisis.” (p. 3)

* + - 1. Estadística Descriptiva de la Serie de Rendimientos de Sugar#11 y Coffee C:Para analizar la serie de tiempo de los precios se hace uso de la rentabilidad continua, que se define en la ecuación 4 de la revisión literaria.

**Gráfica 5.3** Rendimientos del precio del café para el período de análisis.

Fuente: Elaboración propia con datos de Investing.

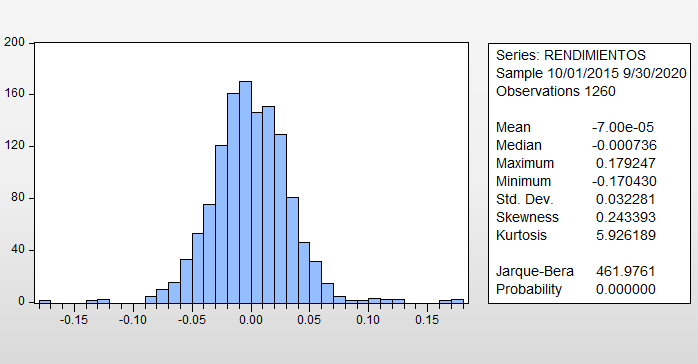
**Gráfica 5.4** Rendimientos del precio del azúcar para el período de análisis.

Fuente: Elaboración propia con datos de Investing.

Es posible observar que los rendimientos no presentan una tendencia, también se puede apreciar el agrupamiento de volatilidades característico de las series de tiempo financieras. Esto quiere decir que períodos de alta volatilidad suelen ser precedidos por períodos de baja volatilidad.

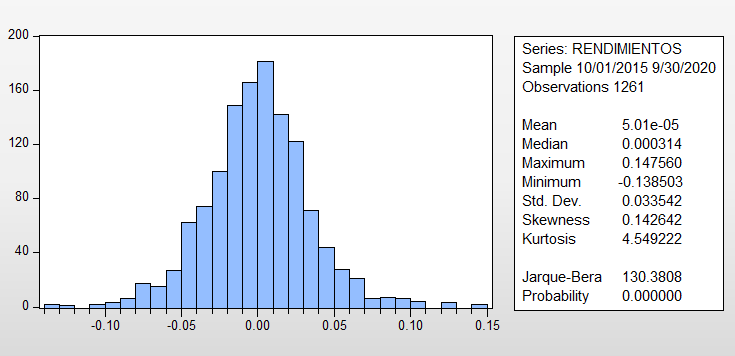
El análisis de las estadísticas descriptivas de la serie de rendimientos, así como la distribución da lugar a un mejor entendimiento de las mismas.

**Figura 5.3** Distribución y estadística descriptiva de los rendimientos del precio del café.



Fuente: Elaboración propia con datos de Investing.

**Figura 5.4** Distribución y estadística descriptiva de los rendimientos del precio del azúcar.



Fuente: Elaboración propia con datos de Investing.

Se puede observar el característico exceso de curtosis que presentan las series de rendimientos. Tanto las características de agrupamiento de volatilidad como de exceso de curtosis son capturadas por los modelos GARCH.

El test de Dickey-Fuller aumentado rechaza la hipótesis nula de que las series tienen una raíz unitaria, es decir estas series si son aptas para el análisis estadístico correspondiente. Las tablas 10.5 y 10.6 de la sección de anexos muestran los resultados de la prueba.

Como complemento del análisis anterior, se puede observar que los niveles de autocorrelación de las series de rendimientos se ven drásticamente reducidos, permitiendo encontrar un modelo que sirva para realizar pronósticos de volatilidad. Las tablas 10.7 y 10.8 de la sección de anexos muestran los niveles de autocorrelación de las series de rendimientos.

## Herramientas para la estimación

El objetivo de la presente sección es describir el fundamento estadístico y matemático de las herramientas utilizadas para el análisis econométrico y financiero de las variables anteriormente descritas.

### Modelos GARCH

Los modelos Generalizados Autorregresivos de Heterocedasticidad Condicional (GARCH por sus siglas en inglés) son una generalización de los modelos autorregresivos de heterocedasticidad condicional (ARCH por sus siglas en inglés) propuestos por Engel, R. (1982). Los modelos ARCH son básicamente un enfoque sistemático para la modelación de la volatilidad.

Bollerslev, T. (1986) propuso una solución alternativa, los modelos generalizados autorregresivos de heterocedasticidad condicional (GARCH por sus siglas en inglés).

Como lo mencionan Monsalve y Harmath, (2015) “Para estos modelos, la varianza condicional en un instante es una función no solo del rezago de los shocks[[7]](#footnote-7) al cuadrado (como en el modelo ARCH), sino también, de sus propios rezagos.” (p.84)

Un modelo GARCH (p,q) se expresa mediante la siguiente ecuación:

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 6 ) |

es una sucesión de variables independientes e idénticamente distribuidas (i.i.d.) con media 0 y varianza 1, independientes de para todo t. es la varianza de los residuos en el tiempo t y son las noticias que se reciben del commoditie en t. La no negatividad de la varianza condicional se garantiza imponiendo que , , i ϵ j ϵ . El proceso es estacionario[[8]](#footnote-8) si se asegura que: .

Utilizando la ecuación 6 se puede deducir que valores grandes de las varianzas o shocks pasados, generarán grandes valores de la varianza, creando el agrupamiento característico de la volatilidad de las series financieras. Además, si al modelo se le impone la existencia del cuarto momento[[9]](#footnote-9), y suponiendo normalidad de se puede deducir que la distribución de los procesos GARCH (p,q), generan colas más pesadas que la de una distribución normal, es decir, también son capaces de reflejar el exceso de curtosis característico de las series financieras.

La estimación de los modelos GARCH se realiza por el método de maximización de la función de verosimilitud Gaussiana.

### Criticas a los modelos GARCH

El principal argumento en contra de los modelos GARCH, como lo mencionan Monsalve y Harmath (2015) es que: “Al igual que los modelos ARCH, estos responden de forma simétrica ante los shocks independientemente de su signo y por esta razón no pueden reflejar los efectos asimétricos de las rentabilidades negativas o positivas.” (p. 87)

Por la razón anterior es que se han propuesto modelos de heterocedasticidad condicional que toman en cuenta la asimetría de reacción de los mercados financieros a los cambios de precios, entre estos modelos destacan:

* + - 1. Modelo EGARCH:Se basa en que la volatilidad se genera principalmente en los momentos en que los shocks son negativos, es decir existe una correlación negativa entre los cambios de precio y la volatilidad, este modelo toma en cuenta el logaritmo natural de la varianza para lograr capturar la asimetría de los efectos. Monsalve y Harmath (2015)
      2. Modelo GARCH-M:Es una modelación que incluye como el rendimiento de un activo está vinculado al riesgo de este, para lograr esto se incluye en el modelo de la media condicional una función de la varianza condicional. Monsalve y Harmath (2015)
      3. Modelo TGARCH:Es otro modelo que busca corregir el efecto apalancamiento, que es la asimetría de reacción a los cambios de precios, para esto se utiliza un valor umbral para el efecto del shock en el modelo GARCH. Monsalve y Harmath (2015)

Vale la pena mencionar que todos los modelos anteriores incluyen una forma funcional específica de la varianza, para corregir esto, se han propuesto modelos de volatilidad estocástica, que se caracterizan porque no suponen una forma funcional determinista de la información pasada. Monsalve y Harmath. (2015)

### El valor en riesgo

Esta metodología fue difundida y promovida por JP Morgan en 1994, se considera como un nivel de referencia y un estándar en los mercados financieros, lo que permite comparar la exposición de riesgo de mercado entre diversas instituciones.

De acuerdo con De Lara. (2018): “El valor en riesgo es una medida estadística de riesgo de mercado que estima la pérdida máxima que podría registrar un portafolio en un intervalo de tiempo y con cierto nivel de probabilidad o confianza.” (p.91)

La medida de valor en riesgo es válida únicamente en condiciones normales de mercado, en momentos de crisis la pérdida esperada se define a través de pruebas de estrés o valores extremos.

La metodología del VaR no da certeza acerca de las pérdidas, sino da una expectativa de los resultados basada en estadística.

De acuerdo con De Lara. (2018) el valor en riesgo se puede estimar de forma paramétrica. La característica principal es que los rendimientos se distribuyen de forma normal. En este caso, el VaR viene determinado por:

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 7 ) |

Donde Z es el factor que determina el nivel de confianza del cálculo; es el monto total de la inversión o la exposición al riesgo; es la volatilidad del activo y t se refiere al horizonte temporal en que se desea estimar el VaR.

### Modelo Black-Scholes.

Las opciones son una forma de asegurar una posición como inversionista, y es aquí donde surge el problema de valuarlas. A pesar de que existen diferentes formas para valuar una opción, dentro de esta investigación se usará el modelo propuesto por Black y Scholes, (1973).

El valor de una opción valuada por medio de Black-Scholes viene dado por:

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 8 ) |
|  |  |

Donde es el valor del bien subyacente en un momento del tiempo específico; K es el precio de ejercicio de la opción; r es la tasa libre de riesgo; t es el período de vigencia de la opción; es la volatilidad del bien subyacente; son los valores que corresponden a la curva de distribución normal acumulada.

### Paridad Put-Call.

Con el valor de una opción Call es que se puede obtener el valor de una opción put, pues existe una relación entre ambas a partir de la paridad put-call.

Brealey et al (2015) acerca de la relación entre una opción put y call señalan que: “La paridad de opciones de compra y venta puede expresarse de varias maneras. Cada expresión implica dos estrategias de inversión que producen resultados idénticos.” (p.513)

La paridad Put-Call está dada por

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 9 ) |

Donde es el valor del bien subyacente en un momento del tiempo específico; K es el precio de ejercicio de la opción; r es la tasa libre de riesgo; t es el período de vigencia de la opción, es el valor de la opción Call en un momento del tiempo específico y es el valor de una opción put en un momento del tiempo específico.

### Modelo de Black.

La valuación de opciones para commodities con modelos aplicados a opciones sobre acciones solo debe de ser un primer para la aproximación del valor justo de un derivado. Cárcamo y Arbeláez (2008).

La dificultad para modelar el comportamiento de los precios de los commodities es que existen procesos tanto determinísticos como aleatorios dentro de los procesos de producción, entre estos Cárcamo y Arbeláez (2008) resaltan: “Cosecha, transporte, distribución y el clima. Esto relaciona los movimientos de los precios de un día dado con los precios de otros días diferentes del día anterior.” (p.15)

Para corregir esto, es posible utilizar el modelo propuesto por Black (1976), que se basa en la modelación de los precios forward, en vez de los precios spot. El principal argumento para utilizar los precios forward de acuerdo con Cárcamo y Arbeláez (2008) es que: “Los precios forward no están guiados por las cosechas, pues su entrega se pacta para después de la cosecha y deben ser más bajos anticipando la caída en los precios spot después de la cosecha.” (p.11)

LaDeterminación del valor de una opción Call por medio del modelo Black (1976) viene determinado por:

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 10 ) |
|  |  |

Donde es el valor del bien subyacente en un momento del tiempo específico.; K es el precio de ejercicio de la opción; t es el período de vigencia de la opción; es la volatilidad del bien subyacente; son los valores que corresponden a la curva de distribución normal acumulada.

## Procedimientos

Para la selección del mejor modelo de la volatilidad se tomarán como criterios de selección el cumplimiento de los supuestos de los residuos y el criterio de Akaike.

Una vez estimada la volatilidad con el modelo GARCH se utilizará el pronóstico de 16 días adelante del modelo como insumo para la estimación del valor en riesgo de forma diaria desde el 01/10/2020 al 22/10/2020.

Para la estimación en el valor en riesgo se asumirá que la entrega del café y el azúcar se hará el 31/10/2020 y que se compraron contratos futuros en la fecha 30/09/2020.

Para la estimación de la exposición al riesgo se toma en cuenta la estacionalidad de las exportaciones guatemaltecas de café y azúcar y con base en ella se estimará la cantidad de contratos futuros que se necesitan comprar.

La estimación del modelo Black-Scholes, (1973) y Black, (1976) requiere la anualización de la volatilidad pronosticada con el modelo GARCH estimado. Como proxi de la tasa libre de riesgo se considera el rendimiento de los “Treasury Bills” con plazo a 1 año emitidos por el departamento del tesoro de estados unidos. Para los valores del bien subyacente se tomó en cuenta los precios de los contratos Sugar # 11 y Coffee C del 01/10/2020 al 22/10/2020.

Para la estimación del modelo GARCH, el VaR y el valor de la opción Put se utilizan los precios diarios publicados en investing de los contratos *Sugar No. 11* y *Coffee C* en un período muestral comprendido del 01/10/2015 al 30/09/2020 para las dos series. El procesamiento de los datos, la estimación del VaR y la valuación de la opción Put requiere la utilización de hojas de cálculo de Excel. Para la estimación de los modelos GARCH se utiliza el software *Eviews 10.*

# Resultados

## Modelos elegidos para la volatilidad de los rendimientos del azúcar y café.

La elección del modelo vino dictada por el cumplimiento de los supuestos de los residuos y el criterio de Akaike. Para el caso de los rendimientos del azúcar se obtuvieron dos modelos que no solo cumplían con los supuestos de los residuos, sino que en el criterio de Akaike los valores eran muy cercanos, debido a que uno es un modelo GARCH (1,1) y otro un TGARCH vale la pena mostrar ambos, pues por la forma en que están construidos se logra apreciar la volatilidad desde perspectivas diferentes. Por su parte, para el caso de los rendimientos del café se obtuvo un modelo GARCH (2,1).

### Análisis del modelo de los rendimientos de Coffee C.

A continuación, se muestra el modelo elegido.

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 11 ) |
|  |  |

El análisis tiene un enfoque en la modelación de la varianza. Sin embargo, vale la pena destacar que el modelo de los rendimientos es estacionario. Asimismo, todos los coeficientes tanto para el GARCH, como para el modelo de los rendimientos son estadísticamente significativos. Los detalles acerca de la bondad de ajuste, los criterios de información y el cumplimiento de los supuestos de los residuos se detallan en las tablas 10.9, 10.10, 10.11 y en la figura 10.1 de la sección de anexos.

El modelo para la varianza de los rendimientos del café es estacionario, y por tanto se asegura la convergencia a su media no condicional. El mayor impacto a la volatilidad de los rendimientos está explicado por la volatilidad del día anterior, algo característico de las series de tiempo financieras debido a la forma en la que se agrupan los niveles de volatilidad.

Los shocks por su parte tienen efectos contrarios a la volatilidad de los rendimientos, este efecto depende de la distancia temporal del shock, el del día anterior exacerba la volatilidad, mientras que el shock de dos días antes la amortigua. Estos coeficientes recogen la actitud de los agentes financieros hacia las noticias que se reciben acerca de los futuros del café.

Gilbert y Morgan (2010) así como Doporto y Michelena (2011) concluyeron que la financierización de los productos agrícolas no tiene un efecto concluyente sobre la volatilidad, sin embargo, en este modelo se puede observar que de forma neta los shocks exacerban los niveles de volatilidad.

El siguiente gráfico ilustra la volatilidad diaria para el período de análisis capturada con el modelo GARCH (2,1).

**Gráfica 6.1.1** Volatilidad de los rendimientos del café capturada con el modelo GARCH (2,1).

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el modelo estimado la volatilidad de los precios del café en los últimos 5 años ha oscilado en mínimos de 1.5% y recientemente llegó a un máximo alrededor del 7% en un día, estos niveles de volatilidad diaria son los que ponen en riesgo los ingresos de las exportaciones guatemaltecas.

En la gráfica también es posible observar el efecto del COVID-19. Se puede apreciar mayores niveles de volatilidad tanto en términos de desviación estándar como en términos de frecuencia de la fluctuación. Los niveles de volatilidad en el año 2020 fueron reduciéndose hasta llegar a un mínimo de alrededor de 2.5% en junio.

Sin embargo, el punto máximo de la volatilidad (aproximadamente 7% en un día) se puede observar fue muy recientemente. Debido al alcance del estudio no se puede determinar la razón de este pico más allá de los efectos de la volatilidad pasada y los shocks de dos días anteriores al punto máximo.

Respecto a las predicciones, los modelos GARCH tienden converger a su varianza no condicional muy rápidamente, por lo que los períodos para hacer pronósticos con este tipo de modelos son cortos. Adicionalmente se debe validar el modelo semanalmente para corroborar que aún es útil para la realización de pronósticos.

La siguiente gráfica ilustra el pronóstico de la volatilidad de los rendimientos del café para los siguientes 16 días.

**Gráfica 6.1.2** Pronóstico de la volatilidad de los rendimientos del café con el modelo GARCH (2,1).

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el modelo se pronostica un período de niveles de volatilidad mayores al 4.15% entre el 2 y 5 de octubre. Se observa que el modelo luego de esas fechas inicia a converger muy rápidamente a su media no condicional.

### Análisis de los modelos de los rendimientos de Sugar #11.

A continuación, se muestra el primer modelo elegido:

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 12 ) |
|  |  |

El primer modelo mostrado es el GARCH (1,1). Todos los coeficientes tanto para el modelo de los rendimientos como para el de la varianza son estadísticamente significativos. Tanto el modelo de los rendimientos como el GARCH son estacionarios. Los detalles de la bondad del ajuste, el criterio de Akaike y el cumplimiento de los supuestos de los residuos se detallan en las tablas 10.12, 10.13, 10.14 y en la figura 10.2 de la sección de anexos.

Como era de esperarse, el mayor impacto a la volatilidad de los rendimientos de Sugar # 11 viene dictado por la volatilidad del día anterior, el shock del día anterior también tiene una relación directa con los niveles de volatilidad en el presente de acuerdo con este modelo.

El coeficiente del shock explica que las noticias recientes acerca de Sugar #11 aumenta los niveles de volatilidad, lo que concuerda con una parte de la teoría plateada por Gilbert y Morgan (2010) en el que mencionan que la casi perfecta elasticidad precio de los agentes financieros a sus posiciones de inversión exacerba los niveles de volatilidad de los productos agrícolas. Sin embargo, en ese trabajo también destacan que los mercados financieros dan liquidez a los mercados agrícolas y estos sirven como atenuante de la volatilidad.

A continuación, se ilustran los niveles de volatilidad capturados con el modelo GARCH (1,1) el cual vale la pena destacar genera un efecto simétrico de la volatilidad hacia las noticias positivas o negativas.

**Gráfica 6.1.3** Volatilidad de los rendimientos del azúcar capturada con el modelo GARCH (1,1)

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el modelo estimado la volatilidad de los rendimientos ha oscilado entre el 2% y el 7%, el modelo captura el efecto del COVID-19. Esto se puede observar en el alza de la volatilidad que llegó a alcanzar niveles del 4.5% justo después de la finalización del 2019. Se puede observar para el año 2020 que los niveles de volatilidad no han estado por encima de la volatilidad de los últimos años, la gráfica ilustra que estos niveles han sido muy parecidos a los de años anteriores, exceptuando el efecto del COVID-19 a principios del 2020.

Debido a que los niveles de volatilidad han sido más bajos en las últimas semanas que los niveles promedio, el modelo pronostica que la volatilidad para los próximos 16 días tendrá una tendencia al alza. Esta tendencia al alza del modelo está principalmente guiada por la convergencia hacia la varianza no condicional del modelo que es mayor que los niveles de volatilidad recientemente vistos. La gráfica mostrada a continuación ilustra lo anteriormente descrito.

**Gráfica 6.1.4.** Pronósticos de la volatilidad de los rendimientos del azúcar con el modelo GARCH (1,1).

Fuente: Elaboración propia.

El segundo modelo elegido para la volatilidad de los rendimientos de azúcar es:

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 13 ) |
|  |  |

Los coeficientes del modelo TGARCH y del modelo que explica el comportamiento de los rendimientos son todos estadísticamente significativos. Ambos modelos son procesos estacionarios. El detalle de la bondad de ajuste, criterio de Akaike y el cumplimiento de los supuestos para los residuos se detallan en las tablas 10.15, 10.16, 10.17 y en la figura 10.3 de la sección de anexos.

El modelo es un TGARCH. Su principal característica, es que este modelo incorpora una variable dicotómica en el que se captura la asimetría de reacción de los agentes financieros a shocks negativos en los mercados. En este modelo se puede observar que los shocks negativos exacerban la volatilidad. Cuando no hay un impulso negativo, la volatilidad está únicamente guiada por la volatilidad del día anterior. La incorporación de la variable dicotómica hace más evidente que la casi perfecta elasticidad precio de los agentes financieros a sus posiciones de inversión exacerba los niveles de volatilidad en los mercados agrícolas como lo mencionan Gilbert y Morgan (2010).

A continuación, se ilustran los niveles de volatilidad capturados por el modelo TGARCH, estos se desvían respecto a la volatilidad capturada por el modelo GARCH (1,1), por el efecto de la variable dicotómica y presentan otra perspectiva de la volatilidad de los rendimientos del azúcar.

**Gráfica 6.1.5** Volatilidad de los rendimientos del azúcar capturada con el modelo TGARCH.

Fuente: Elaboración propia.

La principal diferencia a resaltar de este modelo es que captura la volatilidad en menores niveles, pues en los últimos 5 años de acuerdo con este modelo la volatilidad ha oscilado entre niveles de 2.5% y 5.5% diario. En este modelo el efecto del COVID-19 generó niveles de volatilidad alrededor del 4%, mientras que en el GARCH (1,1) la volatilidad para ese período ascendió a niveles del 4.5%. En cuanto a las tendencias de la volatilidad en los últimos años ambos modelos capturan las mismas tendencias al alza o a la baja.

A pesar de lo anterior, el modelo TGARCH en los momentos más recientes captura mayores niveles de volatilidad que el GARCH (1,1) esto es consecuencia de que los mercados han estado sujetos a shocks negativos que exacerban la volatilidad.

Por la forma en que se construyó el TGARCH la predicción de la volatilidad difiere mucho para los próximos 16 días respecto del GARCH (1,1). Este modelo predice que los niveles de volatilidad van a disminuir en vez de aumentar. La siguiente gráfica ilustra lo descrito.

**Gráfica 6.1.6.** Volatilidad de los rendimientos del azúcar capturada con el modelo TGARCH

Fuente: Elaboración propia.

Este modelo pronostica mayores niveles de volatilidad respecto al GARCH (1,1) para los primeros días de octubre. No obstante, se observa que converge muy rápidamente a su varianza no condicional. Por esta razón para efectos de análisis del valor en riesgo y de la estimación del valor de una opción put para el azúcar se utilizarán los pronósticos del modelo GARCH (1,1).

Los 3 modelos expuestos anteriormente ilustran los niveles de volatilidad de los rendimientos del azúcar y el café a nivel internacional, es evidente que el azúcar se encuentra en un período de menores niveles de volatilidad que el café poniendo en mayor riesgo a los productores nacionales de café que los de azúcar.

## El valor en riesgo de las exportaciones guatemaltecas de azúcar y café

Con las estimaciones de la volatilidad de los rendimientos en los precios internacionales del azúcar y el café es posible determinar el valor en riesgo de las exportaciones guatemaltecas de los productos antes mencionados.

### El valor en riesgo de las exportaciones de café.

Para la estimación del valor en riesgo de las exportaciones del café guatemalteco se utilizó la ecuación ( 7 ) descrita en la sección de metodología. La volatilidad pronosticada por el modelo GARCH (2,1) es un factor importante. Otro factor que es importante describir es la determinación de la cantidad de contratos futuros necesaria para la estimación del valor en riesgo.

La cantidad de contratos futuros se estimó a través de la estacionalidad que presentan las exportaciones de café en Guatemala. Para esta estimación se tomaron los datos de exportaciones mensuales del BANGUAT del año 2015 al año 2019.

**Gráfica 6.2.1** Estacionalidad de las exportaciones de Café en Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con datos del BANGUAT.

En promedio el 80% de las exportaciones de café en Guatemala se realiza en los meses de febrero a agosto. El mes de octubre representa únicamente el 2.1% de las exportaciones de café. Con este dato es posible determinar que el número de contratos futuros de café para cubrir las exportaciones guatemaltecas de ese mes es de 259.

La siguiente tabla ilustra los datos necesarios para la estimación del valor en riesgo de las exportaciones de café. Se asume que se compró el contrato de futuros de café el día 30/09/2020, la entrega pactada en el contrato es para diciembre 2020 y el valor del contrato ese día fue de 110.95. El valor de cada punto para estos contratos es de US$375.00

**Tabla 6.2.1.** Detalle de los contratos de futuros de café para las exportaciones guatemaltecas.

|  |  |
| --- | --- |
| Tamaño del contrato | 37,500 libras |
| Cantidad exportada en octubre estimada | 97,230,000 libras |
| Valor del contrato futuro el 30/09/2020 | 110.95 |
| Nivel de confianza | 99% |
| Cantidad de contratos | 259 |
| Tamaño de la exposición | $10,787,670.00 |

Adicional a los datos anteriormente expuestos dentro de los supuestos para la estimación del valor en riesgo se tomó en cuenta que la entrega del producto se realizará a finales de octubre. En el mercado de futuros no necesariamente se tiene que tener el contrato hasta la fecha en el que expira gracias a la cámara de compensación que elimina el riesgo de contraparte[[10]](#footnote-10) y permite que los agentes financieros se retiren en el momento que deseen asumiendo sus pérdidas o ganancias.

**Gráfica 6.2.2.** Valor en riesgo de las exportaciones guatemaltecas de café.

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica anterior expone el valor en riesgo de las exportaciones de café para los 16 días de pronóstico del GARCH (2,1), el valor en riesgo toma un máximo de alrededor de $5.5. millones y un mínimo de $2.75 millones cuando se está a 8 días de la entrega del producto.

Lo que nos muestra la gráfica anterior es que las exportaciones guatemaltecas de café bajo los supuestos ya descritos pueden llegar a perder hasta un valor de $5.5 millones en un día derivado de un movimiento negativo en los precios, debido a que el nivel de confianza es del 99%, esto podría suceder de acuerdo al modelo el 1% de las veces, es decir en 100 días llegaría a suceder únicamente 1 día, sin embargo es necesario poder cubrir estas posibles pérdidas que de capitalizarse podrían generar una disminución en el bienestar de los guatemaltecos.

### El valor en riesgo de las exportaciones de azúcar.

Se utilizó el mismo procedimiento que para la estimación del valor en riesgo del café, en este caso el pronóstico del modelo GARCH (1,1) fue el insumo.

La estacionalidad de las exportaciones de azúcar se obtuvo mediante el procedimiento ya descrito para las exportaciones de café.

**Gráfica 6.2.3** Estacionalidad de las exportaciones de azúcar en Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con datos del BANGUAT.

En los últimos 5 años el 72% de las exportaciones de azúcar se ha dado en los meses de diciembre a junio. El mes de octubre en promedio de los últimos 5 años ha representado el 4.1% de las exportaciones guatemaltecas de azúcar. El dato anterior implica que la cantidad necesaria de contratos futuros para cubrir las exportaciones guatemaltecas de azúcar es de 1,373.

La siguiente tabla ilustra los datos necesarios para la estimación del valor en riesgo de las exportaciones de azúcar. Se asume que se compró el contrato de futuros de azúcar el día 30/09/2020, la entrega es para marzo 2021 y el valor del contrato ese día fue de 13.07 El valor de cada punto para estos contratos es de US$1,120.00

**Tabla 6.2.2.** Detalle de los contratos de futuros de azúcar para las exportaciones guatemaltecas.

|  |  |
| --- | --- |
| Tamaño del contrato | 112,000 libras |
| Cantidad exportada en octubre estimada | 153,791,000 libras |
| Valor del contrato futuro el 30/09/2020 | 13.07 |
| Nivel de confianza | 99% |
| Cantidad de contratos | 1,373 |
| Tamaño de la exposición | $20,100,485.00 |

Los supuestos hechos para la estimación del valor en riesgo de las exportaciones de azúcar son los mismos que los que se hicieron para la estimación del café.

**Gráfica 6.2.4.** Valor en riesgo de las exportaciones guatemaltecas de azúcar.

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica anterior expone el valor en riesgo de las exportaciones de azúcar para los 16 días de pronóstico del GARCH (1,1), el valor en riesgo toma un máximo de alrededor de $6.75. millones y un mínimo de $3.75 millones cuando se está a 8 días de la entrega del producto.

Lo que nos muestra la gráfica anterior es que las exportaciones guatemaltecas de azúcar bajo los supuestos ya descritos pueden llegar a perder hasta un valor de $6.75 millones en un día derivado de un movimiento negativo en los precios, debido a que el nivel de confianza es del 99%, esto podría suceder de acuerdo al modelo el 1% de las veces, es decir en 100 días llegaría a suceder únicamente 1 día, sin embargo es necesario poder cubrir estas posibles pérdidas que de capitalizarse podrían generar una disminución en el bienestar de los guatemaltecos.

## El valor de una opción put para las exportaciones guatemaltecas de azúcar y café.

Los pronósticos de los niveles de volatilidad de los rendimientos de los precios internacionales de azúcar y café también son un insumo importante en el cálculo del precio de una opción de venta para estos productos.

Para la realización de este análisis se utilizaron las expresiones ( 8 ), ( 9 ) y ( 10 ) de la sección de metodología. Así mismo en la sección de procedimientos se detalló que como proxi de la tasa libre de riesgo se utilizarían los “Treasury Bills” con plazo a un año, cuyo rendimiento es de 0.12%.

### El valor de una opción put para las exportaciones de café.

Para la realización de este cálculo se tomó como supuesto que la opción put se adquiriría el 01/10/2020. El valor de ejecución pactado sería de 110.95 que es el valor al cuál se adquirieron los 259 contratos futuros de café que dieron lugar al análisis del valor en riesgo de la sección anterior.

La siguiente tabla describe los supuestos tomados en cuenta para la estimación del valor de una opción put, tanto para el modelo Black-Scholes, como el modelo de Black.

**Tabla 6.3.1** Supuestos para la estimación del valor de una opción put para las exportaciones de café.

|  |  |
| --- | --- |
| Valor de ejecución | 110.95 |
| Cantidad de contratos a cubrir | 259 |
| Valor del contrato futuro el 30/09/2020 | 110.95 |
| Período de vigencia | 31 días |
| Tasa libre de riesgo | 0.12% |
| Tamaño de la exposición | $10,787,669 |
| Valor put con el modelo Black-Scholes | 10.079 |
| Valor put con el modelo Black | 10.074 |
| Costo total de la put con Black-Scholes | $979,955.00 |
| Costo total de la put con Black | $979,470.00 |

Se puede observar que bajo los supuestos ya descritos. Los valores de la opción put para las exportaciones de café con los modelos Black-Scholes (1973) y Black (1976) no difieren en mucho, para efectos del análisis se utilizará la valuación del modelo Black-Scholes.

Todo agente financiero racional ejecutará la opción put sí y solo sí el valor de los contratos futuros de café cae más de 10.079 puntos respecto al valor inicial de 110.95. Esta caída representaría una pérdida de $979,955.00 para las exportaciones guatemaltecas de café.

Las siguientes gráficas muestran las frecuencias tanto absolutas como porcentuales en las que se dio la caída de ese valor o más en el período del 01/10/2015 al 30/09/2020

**Gráfica 6.3.1.** Frecuencia absoluta y mensual de la realización de la pérdida interdía, interquincenal e intermensual para los precios del café.

Fuente: Elaboración propia

La gráfica anterior ilustra que los episodios en los que los precios internacionales de café han caído en 10.079 puntos o más de forma interdía, interquincenal e intermensual varían desde 1% hasta 21% en los últimos 5 años. De forma absoluta esto ha sucedido desde 14 veces entre días hasta 532 veces con una separación de 30 días en los últimos 5 años.

### El valor de una opción put para las exportaciones de azúcar.

Para la realización de este cálculo se tomó como supuesto que la opción put se adquiriría el 01/10/2020. El precio de ejecución pactado sería de 13.07 que es el precio al cuál se adquirieron los 1,373 contratos futuros de azúcar que dieron lugar al análisis del valor en riesgo.

La siguiente tabla describe los supuestos tomados en cuenta para la estimación del valor de una opción put, tanto para el modelo Black-Scholes, como el modelo de Black.

**Tabla 6.3.2** Supuestos para la estimación del valor de una opción put para las exportaciones de azúcar.

|  |  |
| --- | --- |
| Valor de ejecución | 13.07 |
| Cantidad de contratos a cubrir | 1,373 |
| Valor del contrato futuro el 30/09/2020 | 13.07 |
| Período de vigencia | 31 días |
| Tasa libre de riesgo | 0.12% |
| Tamaño de la exposición | $20,100,485.00 |
| Valor put con el modelo Black-Scholes | 0.4172 |
| Valor put con el modelo Black | 0.4163 |
| Costo total de la put con Black-Scholes | $641,595.00 |
| Costo total de la put con Black | $640,220.00 |

Se puede observar que bajo los supuestos ya descritos. Los valores de la opción put para las exportaciones de café con los modelos Black-Scholes (1973) y Black (1976) no difieren en mucho, para efectos del análisis se utilizará la valuación del modelo Black-Scholes.

Todo agente financiero racional ejecutará la opción put sí y solo sí el valor de los contratos futuros de café cae más de 0.4172 puntos respecto al valor inicial de 13.07. Esta caída representaría una pérdida de $641,595.00 para las exportaciones guatemaltecas de azúcar.

Las siguientes gráficas muestran las frecuencias tanto absolutas como porcentuales en las que se dio la caída de ese valor o más en el período del 01/10/2015 al 30/09/2020

**Gráfica 6.3.2.** Frecuencia absoluta de la realización de la pérdida interdía, interquincenal e intermensual para los precios del azúcar.

Fuente: Elaboración propia

La gráfica anterior ilustra que los episodios en los que los precios internacionales del azúcar han caído en 0.4172 puntos o más de forma interdía, interquincenal e intermensual varían desde 8% hasta 42% en los últimos 5 años. De forma absoluta esto ha sucedido desde 200 veces entre días hasta 1076 veces con una separación de 30 días en los últimos 5 años.

El resultado anterior ilustra que a pesar de que los rendimientos de los precios internacionales del café sean más volátiles que los del azúcar, esto no implica que los cambios de precios del café sean más bruscos para el café que para el azúcar. En este caso se observa que los cambios de precios del café podrían representar mayores pérdidas para los productores de café que para los de azúcar. Sin embargo, la frecuencia con la que se podrían dar las pérdidas es mayor para los azucareros que para los guatemaltecos.

# Conclusiones

1. En los últimos 5 años los niveles de volatilidad de los rendimientos de los precios internacionales del café y azúcar en términos generales se han mantenido en niveles similares. Estos oscilan entre 2.5% y 4.5% con excepción de algunos episodios de alta volatilidad en los que se han llegado hasta niveles de 7%.
2. En los momentos más recientes el mercado internacional del café ha presentado niveles de volatilidad más altos que el mercado internacional del azúcar. Prueba de esto es que los pronósticos para la volatilidad de los rendimientos de los precios del café oscilan entre 3.95% y 4.20%. Por su parte los pronósticos para la volatilidad de los rendimientos de los precios del azúcar no rebasan niveles de volatilidad de 2.80%.
3. A pesar de que los rendimientos de los precios internacionales del café estén expuestos a mayores niveles de volatilidad el valor en riesgo es mayor para las exportaciones de azúcar ($6.75 millones) que para las de café ($5.5 millones), esto se da principalmente porque la producción para exportación de azúcar es mucho mayor que la producción de café en Guatemala.
4. Cubrir las exportaciones guatemaltecas con una opción put en el caso del azúcar para el mes de octubre tendría un costo de $641 mil, mientras que cubrir las exportaciones de café guatemaltecas para el mes de octubre costaría $979 mil.
5. No obstante los niveles de volatilidad del café sean mayores que los del azúcar, en los últimos 5 años en términos de inter día, inter quincena e intermensuales los movimientos de los precios internacionales del azúcar han tenido una mayor frecuencia que los precios internacionales del café. En los últimos 5 años para el café una pérdida de $979 mil con todas las condiciones descritas para el cálculo de la opción put se habría dado el 21% de las veces, esto es 535 veces. Por su parte para el azúcar una pérdida de $641 mil con los mismos supuestos que para el café se hubiese dado el 42% de las veces, esto es 1076 veces.

# Recomendaciones

Por la naturaleza de los modelos GARCH se recomienda actualizarlos continuamente para no perder efectividad en los pronósticos de la volatilidad de los rendimientos de los precios internacionales del azúcar y café.

Para hacer más robusto este estudio se recomienda estimar un modelo para la realización de pronósticos de las cosechas de azúcar y café, esto podría mejorar la planificación de los flujos de efectivo derivados de las exportaciones y esta estimación podría ser un mejor insumo para la determinación de la cantidad de contratos futuros necesarios para generar las coberturas de las exportaciones.

En el presente estudio la elección del tiempo para la estimación del valor en riesgo y del valor de la opción put vino dada por la duración del mes a cubrir, sin embargo, se recomienda determinar si es más eficiente la utilización de otro horizonte temporal, por ejemplo, el tiempo que requiere la producción del azúcar o café desde su siembra hasta la entrega del producto final.

# Referencias

ANACAFE. (30 de Octubre de 2020). *Exportación*. Obtenido de Estadísticas: https://www.anacafe.org/exportacion/estadisticas-divisas/

Balcombe, K. (2009). *The Nature and Determinants of Volatility in Agricultural Prices An Empirical Study from 1962-2008.* Reading: University of Reading.

BANGUAT. (30 de Octubre de 2020). *Nota al comercio exterior año 2019*. Obtenido de http://banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/ceie/CG/2019/nota\_comercio\_mensual.htm&e=143802

BANGUAT. (30 de Octubre de 2020). *Serie de comercio exterior clasificado por producto*. Obtenido de Exportaciones (FOB) realizadas, años 1994-2019: http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/comercio/sercom/2\_POR\_PRODUCTO/X\_PROD\_1994\_2019.htm&e=150511

BANGUAT. (28 de Octubre de 2020). *Serie de comercio exterior clasificado por producto*. Obtenido de Exportaciones (FOB) e Importaciones (CIF) mensuales por Producto: http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/comercio/sercom/2\_POR\_PRODUCTO/prod\_mensDB001.HTM&e=150513

Black, F. (1976). The pricing of commodity contracts. *Journal of Financial Economics*, 167-179.

Black, F., & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 637.

Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 307-327.

Brealey, Myers, & Allen. (2015). *Principios de finanzas corporativas.* Ciudad de México: Mc Graw Hill.

Cárcamo Cárcamo, U., & Arbeláez López, J. (2007). Modelos de tiempo contínuo para commodities agrícolas en Colombia. *AD-Minister*, 42-63.

CENGICAÑA. (2020). *Series históricas de producción, exportación y consumo de azúcar en Guatemala.* Guatemala: CENGICAÑA.

CEPAL/FAO/IICA. (2010). *Volatilidad de los precios en los mercados agrícolas (2000-2010): Implicaciones para America Latina y opciones de políticas.* Santiago de Chile: CEPAL/FAO/IICA.

de Lara Haro, A. (2018). *Medición y control de riesgos financieros.* Ciudad de México: LIMUSA.

Deaton, A., & Laroque, G. (1990). *On the behavior of commodity prices.* Cambridge: National Bureau of economic research.

Doporto, M., & Michelena, I. (2011). *La volatilidad de los precios de los commodities: el caso de los productos agrícolas.* Buenos Aires: Centro de Economía Internacional (CEI).

Engle, R. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 987-1007.

FAO. (2012). Food price volatility and its drivers-setting the stage. *Food price volatility and the role of speculation* (pp. 1-10). Roma: FAO.

Gilbert, C. L., & Morgan, C. W. (2010). Food Price Volatility. *Philosophical Transactions Of The Royal Society B*, 3023-3034.

Hao, A. (2010). *Uncertainty, Risk Aversion and Risk Management in Agriculture.* Zhengzhou: ELSEVIER.

Investing. (21 de Octubre de 2020). *Commodities*. Obtenido de Sugar #11: https://es.investing.com/commodities/us-sugar-no11

Investing. (20 de Octubre de 2020). *Commodities*. Obtenido de Coffee C: https://es.investing.com/commodities/us-Coffeee-c

Jaramillo Villanueva, J., & Benitez García, E. (2016). Transmisión de precios en el mercado mexicano e internacional de café (Coffeea arabica L.): un análisis de cointegración. *Agrociencia*, 931-944.

Monsalve, A., & Harmath, P. (2015). *Introducción al análisis de series de tiempo con aplicaciones a la econometría y finanzas.* Mérida: Ediciones IVIC.

Mundlak, Y., & Larson, D. (1992). On the Transmission of World Agricultural Prices. *world bank economic review*, 399-422.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *La volatilidad de precios en los mercados agrícolas.* Roma: FAO.

Ortíz Alvarado, A., & Girón, L. E. (2015). Predicción de la volatilidad de la rentabilidad diaria del mercado de azúcar y su aplicación en la razón de cobertura. *Semetre Económico*, 105-136.

Parody Camargo, E., Charris Fontanilla, A., & García Luna, R. (2012). Modelación de la volatilidad y pronóstico del índice general de la bolsa de valores de Colombia. *Clío América*, 223-239.

Zellner, A. (1962). An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias. *Journal of the American Statistical Association*, 348-368.

# Anexos

**Tabla 10.1** Prueba de Dickey-Fuller aumentada para la serie Coffee C.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Null Hypothesis: PRECIO\_CIERRE\_SA has a unit root | | | | |
| Exogenous: Constant | | |  |  |
| Lag Length: 5 (Automatic - based on SIC, maxlag=26) | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  | t-Statistic | Prob.\* |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | | | -1.755717 | 0.4030 |
| Test critical values: | 1% level |  | -3.432727 |  |
|  | 5% level |  | -2.862476 |  |
|  | 10% level |  | -2.567313 |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| \*MacKinnon (1996) one-sided p-values. | | | |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation | | | |  |
| Dependent Variable: D(PRECIO\_CIERRE\_SA) | | | |  |
| Method: Least Squares | | |  |  |
| Date: 10/21/20 Time: 15:50 | | |  |  |
| Sample (adjusted): 10/11/2010 9/30/2020 | | | |  |
| Included observations: 2544 after adjustments | | | |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| PRECIO\_CIERRE\_SA(-1) | -0.003218 | 0.001833 | -1.755717 | 0.0793 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-1)) | -0.248201 | 0.019628 | -12.64528 | 0.0000 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-2)) | -0.147772 | 0.020233 | -7.303549 | 0.0000 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-3)) | -0.068387 | 0.020399 | -3.352537 | 0.0008 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-4)) | 0.014821 | 0.020223 | 0.732901 | 0.4637 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-5)) | 0.159745 | 0.019588 | 8.155323 | 0.0000 |
| C | 0.443753 | 0.285430 | 1.554681 | 0.1201 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| R-squared | 0.095627 | Mean dependent var | | -0.026981 |
| Adjusted R-squared | 0.093488 | S.D. dependent var | | 4.521118 |
| S.E. of regression | 4.304599 | Akaike info criterion | | 5.759993 |
| Sum squared resid | 47009.52 | Schwarz criterion | | 5.776066 |
| Log likelihood | -7319.711 | Hannan-Quinn criter. | | 5.765823 |
| F-statistic | 44.70950 | Durbin-Watson stat | | 2.013909 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Tabla 10.2** Prueba de Dickey-Fuller aumentada para la serie Sugar # 11.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Null Hypothesis: PRECIO\_CIERRE\_SA has a unit root | | | | |
| Exogenous: Constant | | |  |  |
| Lag Length: 12 (Automatic - based on SIC, maxlag=26) | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  | t-Statistic | Prob.\* |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | | | -1.935073 | 0.3163 |
| Test critical values: | 1% level |  | -3.432730 |  |
|  | 5% level |  | -2.862477 |  |
|  | 10% level |  | -2.567314 |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| \*MacKinnon (1996) one-sided p-values. | | | |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation | | | |  |
| Dependent Variable: D(PRECIO\_CIERRE\_SA) | | | |  |
| Method: Least Squares | | |  |  |
| Date: 10/21/20 Time: 10:18 | | |  |  |
| Sample (adjusted): 10/20/2010 9/30/2020 | | | |  |
| Included observations: 2541 after adjustments | | | |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| PRECIO\_CIERRE\_SA(-1) | -0.003712 | 0.001918 | -1.935073 | 0.0531 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-1)) | -0.240192 | 0.019801 | -12.13009 | 0.0000 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-2)) | -0.175143 | 0.020365 | -8.600281 | 0.0000 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-3)) | -0.060332 | 0.020625 | -2.925199 | 0.0035 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-4)) | -0.070383 | 0.020655 | -3.407552 | 0.0007 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-5)) | 0.160380 | 0.020616 | 7.779216 | 0.0000 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-6)) | -0.039860 | 0.020783 | -1.917954 | 0.0552 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-7)) | -0.081454 | 0.020754 | -3.924846 | 0.0001 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-8)) | -0.095848 | 0.020527 | -4.669291 | 0.0000 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-9)) | -0.015761 | 0.020506 | -0.768639 | 0.4422 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-10)) | 0.065279 | 0.020473 | 3.188504 | 0.0014 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-11)) | -0.014314 | 0.020230 | -0.707561 | 0.4793 |
| D(PRECIO\_CIERRE\_SA(-12)) | -0.090685 | 0.019679 | -4.608142 | 0.0000 |
| C | 0.054377 | 0.034259 | 1.587252 | 0.1126 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| R-squared | 0.160296 | Mean dependent var | | -0.005821 |
| Adjusted R-squared | 0.155976 | S.D. dependent var | | 0.542750 |
| S.E. of regression | 0.498629 | Akaike info criterion | | 1.451584 |
| Sum squared resid | 628.2895 | Schwarz criterion | | 1.483762 |
| Log likelihood | -1830.238 | Hannan-Quinn criter. | | 1.463257 |
| F-statistic | 37.10716 | Durbin-Watson stat | | 2.002926 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Tabla 10.3** Correlograma de la serie de precios Coffee C.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Date: 10/21/20 Time: 15:50 | | | |  |  |  |
| Sample: 10/01/2010 9/30/2020 | | | |  |  |  |
| Included observations: 2550 | | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Autocorrelation | Partial Correlation |  | AC | PAC | Q-Stat | Prob |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\*\*\*\*\*\*\* | 1 | 0.995 | 0.995 | 2528.0 | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\* | | 2 | 0.992 | 0.203 | 5042.3 | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\* | | 3 | 0.990 | 0.127 | 7546.9 | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\* | | 4 | 0.988 | 0.088 | 10044. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 5 | 0.986 | 0.020 | 12532. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | \*| | | 6 | 0.983 | -0.155 | 15004. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 7 | 0.980 | -0.039 | 17461. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 8 | 0.977 | 0.026 | 19906. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 9 | 0.975 | 0.030 | 22341. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 10 | 0.972 | -0.007 | 24764. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 11 | 0.969 | -0.054 | 27171. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 12 | 0.966 | -0.019 | 29564. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 13 | 0.963 | 0.027 | 31944. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 14 | 0.961 | 0.051 | 34315. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 15 | 0.959 | 0.011 | 36674. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 16 | 0.956 | -0.017 | 39020. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 17 | 0.953 | 0.033 | 41354. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 18 | 0.951 | 0.028 | 43679. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 19 | 0.949 | 0.034 | 45996. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 20 | 0.947 | -0.011 | 48303. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 21 | 0.945 | 0.020 | 50599. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 22 | 0.943 | 0.042 | 52889. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 23 | 0.942 | 0.021 | 55172. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 24 | 0.940 | -0.000 | 57447. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 25 | 0.938 | 0.042 | 59717. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 26 | 0.937 | 0.002 | 61980. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 27 | 0.935 | -0.020 | 64236. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 28 | 0.934 | -0.022 | 66485. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 29 | 0.932 | 0.005 | 68728. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 30 | 0.930 | -0.039 | 70962. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 31 | 0.929 | 0.026 | 73190. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 32 | 0.927 | -0.003 | 75410. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 33 | 0.926 | 0.021 | 77625. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 34 | 0.924 | -0.005 | 79833. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 35 | 0.922 | 0.004 | 82033. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 36 | 0.920 | -0.019 | 84226. | 0.000 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**Tabla 10.4**  Correlograma de la serie de precios Sugar # 11.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Date: 10/21/20 Time: 10:23 | | | |  |  |  |
| Sample: 10/01/2010 9/30/2020 | | | |  |  |  |
| Included observations: 2554 | | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Autocorrelation | Partial Correlation |  | AC | PAC | Q-Stat | Prob |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\*\*\*\*\*\*\* | 1 | 0.994 | 0.994 | 2527.1 | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\* | | 2 | 0.990 | 0.181 | 5036.4 | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\* | | 3 | 0.988 | 0.157 | 7535.1 | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\* | | 4 | 0.986 | 0.090 | 10025. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\* | | 5 | 0.985 | 0.087 | 12508. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | \*\*| | | 6 | 0.980 | -0.212 | 14971. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 7 | 0.977 | -0.007 | 17417. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 8 | 0.975 | 0.058 | 19852. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\* | | 9 | 0.973 | 0.076 | 22280. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 10 | 0.971 | 0.025 | 24700. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | \*| | | 11 | 0.967 | -0.081 | 27102. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 12 | 0.964 | -0.009 | 29490. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 13 | 0.963 | 0.073 | 31870. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 14 | 0.961 | -0.014 | 34242. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 15 | 0.958 | -0.026 | 36602. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 16 | 0.955 | -0.011 | 38947. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 17 | 0.952 | 0.005 | 41280. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 18 | 0.950 | -0.001 | 43604. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 19 | 0.947 | -0.037 | 45915. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 20 | 0.944 | -0.029 | 48213. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 21 | 0.941 | -0.008 | 50495. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 22 | 0.938 | -0.029 | 52762. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 23 | 0.935 | 0.025 | 55019. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 24 | 0.933 | 0.005 | 57263. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 25 | 0.929 | -0.007 | 59493. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 26 | 0.926 | 0.005 | 61709. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 27 | 0.924 | -0.002 | 63913. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 28 | 0.921 | -0.005 | 66105. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 29 | 0.918 | 0.013 | 68285. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 30 | 0.915 | -0.006 | 70451. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | |\* | | 31 | 0.913 | 0.082 | 72609. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 32 | 0.911 | 0.017 | 74757. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 33 | 0.909 | 0.022 | 76897. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 34 | 0.907 | 0.003 | 79028. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*\* | | | | 35 | 0.904 | -0.048 | 81145. | 0.000 |
| |\*\*\*\*\*\*| | | | | 36 | 0.902 | -0.013 | 83252. | 0.000 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**Tabla 10.5** Prueba de Dickey-Fuller aumentada para la serie de rendimientos de Coffee c.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Null Hypothesis: RENDIMIENTOS has a unit root | | | |  |
| Exogenous: Constant | | |  |  |
| Lag Length: 4 (Automatic - based on SIC, maxlag=22) | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  | t-Statistic | Prob.\* |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | | | -16.67280 | 0.0000 |
| Test critical values: | 1% level |  | -3.435327 |  |
|  | 5% level |  | -2.863626 |  |
|  | 10% level |  | -2.567930 |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| \*MacKinnon (1996) one-sided p-values. | | | |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation | | | |  |
| Dependent Variable: D(RENDIMIENTOS) | | | |  |
| Method: Least Squares | | |  |  |
| Date: 10/21/20 Time: 15:57 | | |  |  |
| Sample: 10/01/2015 9/30/2020 | | |  |  |
| Included observations: 1260 | | |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| RENDIMIENTOS(-1) | -1.551498 | 0.093056 | -16.67280 | 0.0000 |
| D(RENDIMIENTOS(-1)) | 0.198133 | 0.080686 | 2.455620 | 0.0142 |
| D(RENDIMIENTOS(-2)) | -0.014523 | 0.064531 | -0.225062 | 0.8220 |
| D(RENDIMIENTOS(-3)) | -0.175857 | 0.046975 | -3.743672 | 0.0002 |
| D(RENDIMIENTOS(-4)) | -0.181398 | 0.027781 | -6.529568 | 0.0000 |
| C | -0.000108 | 0.000832 | -0.129690 | 0.8968 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| R-squared | 0.672673 | Mean dependent var | | -2.47E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.671368 | S.D. dependent var | | 0.051540 |
| S.E. of regression | 0.029546 | Akaike info criterion | | -4.200991 |
| Sum squared resid | 1.094694 | Schwarz criterion | | -4.176520 |
| Log likelihood | 2652.624 | Hannan-Quinn criter. | | -4.191795 |
| F-statistic | 515.4065 | Durbin-Watson stat | | 2.004958 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Tabla 10.6** Prueba de Dickey-Fuller aumentada para la serie de rendimientos de Sugar # 11.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Null Hypothesis: RENDIMIENTOS has a unit root | | | |  |
| Exogenous: Constant | | |  |  |
| Lag Length: 7 (Automatic - based on SIC, maxlag=26) | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  | t-Statistic | Prob.\* |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | | | -20.79935 | 0.0000 |
| Test critical values: | 1% level |  | -3.432726 |  |
|  | 5% level |  | -2.862476 |  |
|  | 10% level |  | -2.567313 |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| \*MacKinnon (1996) one-sided p-values. | | | |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation | | | |  |
| Dependent Variable: D(RENDIMIENTOS) | | | |  |
| Method: Least Squares | | |  |  |
| Date: 10/21/20 Time: 10:22 | | |  |  |
| Sample (adjusted): 10/14/2010 9/30/2020 | | | |  |
| Included observations: 2545 after adjustments | | | |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| RENDIMIENTOS(-1) | -1.721475 | 0.082766 | -20.79935 | 0.0000 |
| D(RENDIMIENTOS(-1)) | 0.421219 | 0.077445 | 5.438962 | 0.0000 |
| D(RENDIMIENTOS(-2)) | 0.182526 | 0.071665 | 2.546940 | 0.0109 |
| D(RENDIMIENTOS(-3)) | 0.041305 | 0.065120 | 0.634287 | 0.5260 |
| D(RENDIMIENTOS(-4)) | -0.044985 | 0.055075 | -0.816801 | 0.4141 |
| D(RENDIMIENTOS(-5)) | 0.191637 | 0.044068 | 4.348700 | 0.0000 |
| D(RENDIMIENTOS(-6)) | 0.177800 | 0.032201 | 5.521584 | 0.0000 |
| D(RENDIMIENTOS(-7)) | 0.082637 | 0.019740 | 4.186364 | 0.0000 |
| C | -0.000483 | 0.000557 | -0.867089 | 0.3860 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| R-squared | 0.676266 | Mean dependent var | | -9.32E-06 |
| Adjusted R-squared | 0.675244 | S.D. dependent var | | 0.049278 |
| S.E. of regression | 0.028082 | Akaike info criterion | | -4.303815 |
| Sum squared resid | 1.999949 | Schwarz criterion | | -4.283156 |
| Log likelihood | 5485.604 | Hannan-Quinn criter. | | -4.296321 |
| F-statistic | 662.1981 | Durbin-Watson stat | | 2.000932 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Tabla 10.7** Correlograma de la serie de rendimientos de Coffee C.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Date: 10/21/20 Time: 15:56 | | | |  |  |  |
| Sample: 10/01/2015 9/30/2020 | | | |  |  |  |
| Included observations: 1260 | | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Autocorrelation | Partial Correlation |  | AC | PAC | Q-Stat | Prob |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| \*\*| | | \*\*| | | 1 | -0.274 | -0.274 | 94.628 | 0.000 |
| \*| | | \*| | | 2 | -0.087 | -0.176 | 104.30 | 0.000 |
| \*| | | \*| | | 3 | -0.087 | -0.182 | 113.88 | 0.000 |
| | | | \*| | | 4 | 0.039 | -0.072 | 115.82 | 0.000 |
| |\* | | |\* | | 5 | 0.200 | 0.179 | 166.38 | 0.000 |
| \*| | | | | | 6 | -0.102 | 0.014 | 179.58 | 0.000 |
| \*| | | \*| | | 7 | -0.095 | -0.075 | 191.00 | 0.000 |
| | | | | | | 8 | 0.036 | 0.009 | 192.67 | 0.000 |
| | | | \*| | | 9 | -0.031 | -0.075 | 193.89 | 0.000 |
| |\* | | | | | 10 | 0.101 | 0.024 | 206.83 | 0.000 |
| | | | | | | 11 | -0.049 | 0.013 | 209.87 | 0.000 |
| | | | | | | 12 | -0.027 | 0.002 | 210.82 | 0.000 |
| | | | | | | 13 | -0.019 | -0.037 | 211.28 | 0.000 |
| | | | | | | 14 | 0.022 | 0.001 | 211.90 | 0.000 |
| | | | | | | 15 | 0.060 | 0.035 | 216.44 | 0.000 |
| | | | | | | 16 | -0.052 | -0.022 | 219.84 | 0.000 |
| | | | | | | 17 | -0.023 | -0.012 | 220.53 | 0.000 |
| | | | | | | 18 | 0.005 | -0.005 | 220.56 | 0.000 |
| |\* | | | | | 19 | 0.076 | 0.066 | 227.96 | 0.000 |
| \*| | | \*| | | 20 | -0.076 | -0.068 | 235.28 | 0.000 |
| | | | | | | 21 | 0.000 | -0.007 | 235.28 | 0.000 |
| | | | | | | 22 | -0.016 | -0.017 | 235.63 | 0.000 |
| | | | | | | 23 | 0.011 | -0.029 | 235.79 | 0.000 |
| | | | | | | 24 | 0.001 | -0.031 | 235.79 | 0.000 |
| | | | | | | 25 | -0.000 | 0.015 | 235.79 | 0.000 |
| | | | | | | 26 | -0.010 | -0.002 | 235.92 | 0.000 |
| | | | | | | 27 | 0.004 | -0.006 | 235.95 | 0.000 |
| | | | | | | 28 | -0.004 | 0.007 | 235.97 | 0.000 |
| | | | | | | 29 | 0.030 | 0.013 | 237.09 | 0.000 |
| | | | | | | 30 | -0.041 | -0.031 | 239.22 | 0.000 |
| | | | | | | 31 | -0.002 | -0.019 | 239.23 | 0.000 |
| | | | | | | 32 | 0.014 | 0.011 | 239.49 | 0.000 |
| | | | | | | 33 | -0.016 | -0.033 | 239.83 | 0.000 |
| | | | | | | 34 | -0.018 | -0.048 | 240.27 | 0.000 |
| | | | | | | 35 | -0.015 | -0.021 | 240.56 | 0.000 |
| | | | | | | 36 | -0.008 | -0.038 | 240.64 | 0.000 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**Tabla 10.8** Correlograma de la serie de rendimientos de Sugar #11.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Date: 10/21/20 Time: 10:21 | | | |  |  |  |
| Sample: 10/01/2010 9/30/2020 | | | |  |  |  |
| Included observations: 2553 | | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Autocorrelation | Partial Correlation |  | AC | PAC | Q-Stat | Prob |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| \*\*| | | \*\*| | | 1 | -0.206 | -0.206 | 108.26 | 0.000 |
| \*| | | \*\*| | | 2 | -0.174 | -0.226 | 185.53 | 0.000 |
| \*| | | \*| | | 3 | -0.086 | -0.194 | 204.34 | 0.000 |
| | | | \*| | | 4 | -0.025 | -0.158 | 205.97 | 0.000 |
| |\*\* | | |\*\* | | 5 | 0.334 | 0.262 | 490.90 | 0.000 |
| \*| | | | | | 6 | -0.096 | 0.026 | 514.31 | 0.000 |
| \*| | | \*| | | 7 | -0.157 | -0.072 | 577.28 | 0.000 |
| | | | \*| | | 8 | -0.056 | -0.083 | 585.30 | 0.000 |
| | | | | | | 9 | 0.059 | -0.011 | 594.10 | 0.000 |
| |\* | | | | | 10 | 0.186 | 0.071 | 682.85 | 0.000 |
| \*| | | | | | 11 | -0.077 | 0.006 | 697.94 | 0.000 |
| \*| | | | | | 12 | -0.149 | -0.064 | 755.04 | 0.000 |
| | | | | | | 13 | 0.007 | -0.011 | 755.16 | 0.000 |
| |\* | | | | | 14 | 0.083 | 0.014 | 772.92 | 0.000 |
| |\* | | | | | 15 | 0.091 | 0.018 | 794.18 | 0.000 |
| \*| | | | | | 16 | -0.081 | -0.018 | 811.03 | 0.000 |
| \*| | | | | | 17 | -0.091 | -0.008 | 832.15 | 0.000 |
| | | | | | | 18 | 0.071 | 0.056 | 845.19 | 0.000 |
| | | | | | | 19 | 0.048 | 0.005 | 851.04 | 0.000 |
| | | | | | | 20 | 0.015 | -0.016 | 851.60 | 0.000 |
| | | | | | | 21 | -0.029 | 0.036 | 853.83 | 0.000 |
| \*| | | | | | 22 | -0.089 | -0.028 | 874.25 | 0.000 |
| | | | | | | 23 | 0.054 | -0.017 | 881.64 | 0.000 |
| | | | | | | 24 | 0.045 | -0.006 | 886.78 | 0.000 |
| | | | | | | 25 | -0.006 | 0.003 | 886.88 | 0.000 |
| | | | | | | 26 | -0.045 | -0.017 | 892.13 | 0.000 |
| | | | | | | 27 | -0.033 | -0.001 | 894.97 | 0.000 |
| | | | | | | 28 | 0.030 | -0.025 | 897.24 | 0.000 |
| | | | | | | 29 | 0.063 | 0.033 | 907.48 | 0.000 |
| | | | | | | 30 | -0.062 | -0.042 | 917.31 | 0.000 |
| | | | | | | 31 | -0.021 | -0.009 | 918.49 | 0.000 |
| | | | | | | 32 | -0.006 | -0.009 | 918.58 | 0.000 |
| | | | | | | 33 | 0.031 | 0.003 | 920.99 | 0.000 |
| | | | | | | 34 | 0.049 | 0.016 | 927.12 | 0.000 |
| | | | | | | 35 | -0.064 | -0.017 | 937.72 | 0.000 |
| | | | | | | 36 | -0.007 | 0.002 | 937.86 | 0.000 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**Tabla 10.9** Detalle del modelo del modelo GARCH (2,1) para los rendimientos de Coffeee C.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Dependent Variable: RENDIMIENTOS | | | |  |
| Method: ML - ARCH | | |  |  |
| Date: 10/22/20 Time: 12:30 | | |  |  |
| Sample (adjusted): 10/01/2015 9/30/2020 | | | |  |
| Included observations: 1260 after adjustments | | | |  |
| Convergence achieved after 21 iterations | | | |  |
| MA Backcast: 9/24/2015 9/30/2015 | | | |  |
| Presample variance: backcast (parameter = 0.7) | | | | |
| GARCH = C(6) + C(7)\*RESID(-1)^2 + C(8)\*RESID(-2)^2 + C(9)\*GARCH(-1) | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Variable | Coefficient | Std. Error | z-Statistic | Prob. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| AR(2) | -0.092068 | 0.026132 | -3.523168 | 0.0004 |
| AR(5) | 0.513314 | 0.046934 | 10.93687 | 0.0000 |
| MA(1) | -0.334293 | 0.028501 | -11.72926 | 0.0000 |
| MA(3) | -0.080753 | 0.025647 | -3.148648 | 0.0016 |
| MA(5) | -0.334676 | 0.048092 | -6.959096 | 0.0000 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | Variance Equation | |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| C | 1.52E-05 | 5.99E-06 | 2.534695 | 0.0113 |
| RESID(-1)^2 | 0.152082 | 0.031157 | 4.881139 | 0.0000 |
| RESID(-2)^2 | -0.115419 | 0.031834 | -3.625671 | 0.0003 |
| GARCH(-1) | 0.946616 | 0.015649 | 60.48902 | 0.0000 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| R-squared | 0.166474 | Mean dependent var | | -7.00E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.163817 | S.D. dependent var | | 0.032281 |
| S.E. of regression | 0.029519 | Akaike info criterion | | -4.283239 |
| Sum squared resid | 1.093537 | Schwarz criterion | | -4.246533 |
| Log likelihood | 2707.441 | Hannan-Quinn criter. | | -4.269446 |
| Durbin-Watson stat | 2.042746 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Inverted AR Roots | .85 | .26+.85i | .26-.85i | -.69-.53i |
|  | -.69+.53i | |  |  |
| Inverted MA Roots | .91 | .29+.74i | .29-.74i | -.58-.49i |
|  | -.58+.49i | |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

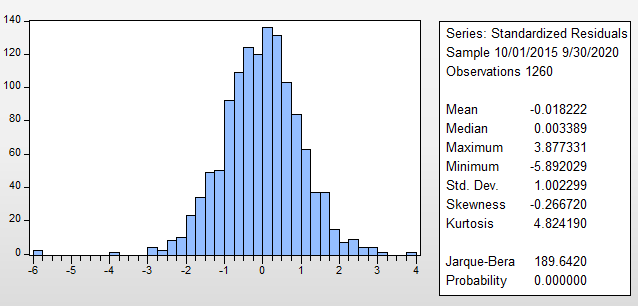
**Tabla 10.10** Autocorrelación de los residuos del Modelo GARCH (2,1) de los rendimientos de Coffee C.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Date: 10/28/20 Time: 17:59 | | | |  |  |  |
| Sample: 10/01/2015 10/22/2020 | | | |  |  |  |
| Included observations: 1260 | | |  |  |  |  |
| Q-statistic probabilities adjusted for 5 ARMA terms | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Autocorrelation | Partial Correlation |  | AC | PAC | Q-Stat | Prob\* |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| | | | | | | 1 | 0.005 | 0.005 | 0.0300 |  |
| | | | | | | 2 | -0.000 | -0.000 | 0.0303 |  |
| | | | | | | 3 | -0.003 | -0.003 | 0.0436 |  |
| | | | | | | 4 | 0.039 | 0.039 | 1.9941 |  |
| | | | | | | 5 | 0.023 | 0.022 | 2.6539 |  |
| | | | | | | 6 | 0.028 | 0.028 | 3.6739 | 0.055 |
| | | | | | | 7 | 0.008 | 0.009 | 3.7649 | 0.152 |
| | | | | | | 8 | 0.029 | 0.028 | 4.8684 | 0.182 |
| | | | | | | 9 | -0.055 | -0.057 | 8.7055 | 0.069 |
| | | | | | | 10 | -0.011 | -0.013 | 8.8570 | 0.115 |
| | | | | | | 11 | 0.015 | 0.014 | 9.1540 | 0.165 |
| | | | | | | 12 | 0.031 | 0.028 | 10.404 | 0.167 |
| | | | | | | 13 | -0.020 | -0.018 | 10.908 | 0.207 |
| | | | | | | 14 | 0.001 | 0.003 | 10.910 | 0.282 |
| | | | | | | 15 | 0.027 | 0.029 | 11.827 | 0.297 |
| | | | | | | 16 | 0.002 | -0.001 | 11.831 | 0.376 |
| | | | | | | 17 | 0.011 | 0.013 | 11.974 | 0.448 |
| | | | | | | 18 | 0.021 | 0.017 | 12.515 | 0.486 |
| |\* | | | | | 19 | 0.074 | 0.071 | 19.557 | 0.145 |
| \*| | | \*| | | 20 | -0.079 | -0.083 | 27.637 | 0.024 |
| | | | | | | 21 | -0.009 | -0.006 | 27.739 | 0.034 |
| | | | | | | 22 | -0.014 | -0.018 | 27.990 | 0.045 |
| | | | | | | 23 | -0.014 | -0.024 | 28.233 | 0.059 |
| | | | | | | 24 | -0.038 | -0.035 | 30.130 | 0.050 |
| | | | | | | 25 | 0.001 | 0.003 | 30.132 | 0.068 |
| | | | | | | 26 | -0.017 | -0.013 | 30.487 | 0.083 |
| | | | | | | 27 | -0.002 | -0.002 | 30.495 | 0.107 |
| | | | | | | 28 | -0.018 | 0.001 | 30.915 | 0.125 |
| | | | | | | 29 | -0.001 | -0.005 | 30.916 | 0.156 |
| | | | | | | 30 | -0.058 | -0.061 | 35.239 | 0.084 |
| | | | | | | 31 | -0.033 | -0.035 | 36.671 | 0.080 |
| | | | | | | 32 | -0.004 | 0.005 | 36.688 | 0.101 |
| | | | | | | 33 | -0.005 | -0.014 | 36.724 | 0.125 |
| | | | | | | 34 | -0.040 | -0.039 | 38.764 | 0.106 |
| | | | | | | 35 | -0.052 | -0.044 | 42.334 | 0.067 |
| | | | | | | 36 | -0.048 | -0.044 | 45.332 | 0.047 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**Tabla 10.11** Prueba de homoscedasticidad de los residuos del Modelo GARCH (2,1) de los rendimientos de Coffee C.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Heteroskedasticity Test: ARCH | | |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| F-statistic | 0.425010 | Prob. F(1,1257) | | 0.5146 |
| Obs\*R-squared | 0.425542 | Prob. Chi-Square(1) | | 0.5142 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Test Equation: | |  |  |  |
| Dependent Variable: WGT\_RESID^2 | | | |  |
| Method: Least Squares | | |  |  |
| Date: 10/28/20 Time: 18:01 | | |  |  |
| Sample (adjusted): 10/02/2015 9/30/2020 | | | |  |
| Included observations: 1259 after adjustments | | | |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| C | 0.986255 | 0.062340 | 15.82050 | 0.0000 |
| WGT\_RESID^2(-1) | 0.018385 | 0.028202 | 0.651928 | 0.5146 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| R-squared | 0.000338 | Mean dependent var | | 1.004730 |
| Adjusted R-squared | -0.000457 | S.D. dependent var | | 1.969761 |
| S.E. of regression | 1.970211 | Akaike info criterion | | 4.195746 |
| Sum squared resid | 4879.338 | Schwarz criterion | | 4.203908 |
| Log likelihood | -2639.222 | Hannan-Quinn criter. | | 4.198813 |
| F-statistic | 0.425010 | Durbin-Watson stat | | 2.001210 |
| Prob(F-statistic) | 0.514567 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Figura 10.1** Distribución y estadística descriptiva de los residuos del modelo GARCH (2,1) de los rendimientos de Coffee C.



**Tabla 10.12** Detalle del modelo del modelo GARCH (1,1) para los rendimientos de Sugar # 11.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Dependent Variable: RENDIMIENTOS | | | |  |
| Method: ML - ARCH | | |  |  |
| Date: 10/22/20 Time: 11:45 | | |  |  |
| Sample (adjusted): 10/01/2015 9/30/2020 | | | |  |
| Included observations: 1263 after adjustments | | | |  |
| Convergence achieved after 70 iterations | | | |  |
| Coefficient covariance computed using outer product of gradients | | | | |
| MA Backcast: 9/25/2015 9/30/2015 | | | |  |
| Presample variance: backcast (parameter = 0.7) | | | | |
| GARCH = C(9) + C(10)\*RESID(-1)^2 + C(11)\*GARCH(-1) | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Variable | Coefficient | Std. Error | z-Statistic | Prob. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| AR(1) | -0.845390 | 0.052156 | -16.20901 | 0.0000 |
| AR(2) | -0.903066 | 0.046050 | -19.61048 | 0.0000 |
| AR(3) | -0.778214 | 0.045967 | -16.92980 | 0.0000 |
| AR(4) | -0.616786 | 0.045850 | -13.45232 | 0.0000 |
| MA(1) | 0.554627 | 0.063297 | 8.762360 | 0.0000 |
| MA(2) | 0.493699 | 0.058602 | 8.424668 | 0.0000 |
| MA(3) | 0.377872 | 0.062239 | 6.071303 | 0.0000 |
| MA(4) | 0.238396 | 0.059867 | 3.982105 | 0.0001 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | Variance Equation | |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| C | 5.48E-05 | 1.71E-05 | 3.214449 | 0.0013 |
| RESID(-1)^2 | 0.081548 | 0.017119 | 4.763735 | 0.0000 |
| GARCH(-1) | 0.851737 | 0.033416 | 25.48863 | 0.0000 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| R-squared | 0.255376 | Mean dependent var | | 3.29E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.251223 | S.D. dependent var | | 0.033518 |
| S.E. of regression | 0.029004 | Akaike info criterion | | -4.303321 |
| Sum squared resid | 1.055748 | Schwarz criterion | | -4.258544 |
| Log likelihood | 2728.547 | Hannan-Quinn criter. | | -4.286497 |
| Durbin-Watson stat | 2.098046 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Inverted AR Roots | .25+.89i | .25-.89i | -.67+.52i | -.67-.52i |
| Inverted MA Roots | .24+.71i | .24-.71i | -.52-.40i | -.52+.40i |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

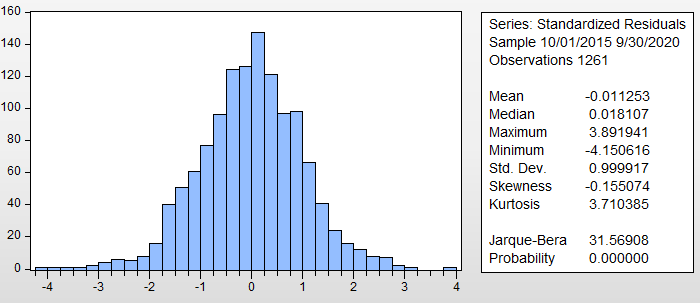
**Tabla 10.13** Autocorrelación de los residuos del modelo GARCH (1,1) de los rendimientos de Sugar # 11.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Date: 10/29/20 Time: 10:02 | | | |  |  |  |
| Sample: 10/01/2015 10/22/2020 | | | |  |  |  |
| Included observations: 1261 | | |  |  |  |  |
| Q-statistic probabilities adjusted for 8 ARMA terms | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Autocorrelation | Partial Correlation |  | AC | PAC | Q-Stat | Prob\* |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| | | | | | | 1 | -0.017 | -0.017 | 0.3868 |  |
| | | | | | | 2 | 0.002 | 0.001 | 0.3900 |  |
| | | | | | | 3 | -0.006 | -0.006 | 0.4302 |  |
| | | | | | | 4 | 0.006 | 0.006 | 0.4774 |  |
| | | | | | | 5 | -0.011 | -0.011 | 0.6324 |  |
| | | | | | | 6 | -0.003 | -0.003 | 0.6428 |  |
| | | | | | | 7 | 0.017 | 0.017 | 0.9891 |  |
| | | | | | | 8 | -0.017 | -0.017 | 1.3670 |  |
| | | | | | | 9 | -0.008 | -0.009 | 1.4564 | 0.227 |
| | | | | | | 10 | 0.002 | 0.002 | 1.4642 | 0.481 |
| | | | | | | 11 | -0.004 | -0.004 | 1.4840 | 0.686 |
| | | | | | | 12 | -0.026 | -0.026 | 2.3402 | 0.673 |
| | | | | | | 13 | -0.016 | -0.017 | 2.6833 | 0.749 |
| | | | | | | 14 | -0.023 | -0.024 | 3.3373 | 0.765 |
| | | | | | | 15 | 0.020 | 0.020 | 3.8591 | 0.796 |
| | | | | | | 16 | -0.035 | -0.035 | 5.4539 | 0.708 |
| | | | | | | 17 | 0.009 | 0.007 | 5.5563 | 0.783 |
| | | | | | | 18 | 0.064 | 0.065 | 10.821 | 0.372 |
| | | | | | | 19 | -0.002 | -0.001 | 10.828 | 0.458 |
| | | | | | | 20 | -0.025 | -0.025 | 11.632 | 0.476 |
| | | | | | | 21 | 0.011 | 0.010 | 11.786 | 0.545 |
| | | | | | | 22 | -0.041 | -0.043 | 13.951 | 0.453 |
| | | | | | | 23 | 0.006 | 0.006 | 13.990 | 0.526 |
| | | | | | | 24 | 0.019 | 0.018 | 14.449 | 0.565 |
| | | | | | | 25 | 0.011 | 0.007 | 14.600 | 0.624 |
| | | | | | | 26 | -0.005 | -0.002 | 14.629 | 0.687 |
| | | | | | | 27 | -0.007 | -0.006 | 14.692 | 0.742 |
| | | | | | | 28 | -0.018 | -0.022 | 15.115 | 0.770 |
| | | | | | | 29 | 0.026 | 0.028 | 15.992 | 0.770 |
| | | | | | | 30 | -0.012 | -0.011 | 16.181 | 0.807 |
| | | | | | | 31 | 0.024 | 0.026 | 16.922 | 0.813 |
| | | | | | | 32 | -0.026 | -0.024 | 17.785 | 0.813 |
| | | | | | | 33 | -0.010 | -0.015 | 17.919 | 0.846 |
| | | | | | | 34 | -0.010 | -0.008 | 18.054 | 0.874 |
| | | | | | | 35 | -0.031 | -0.033 | 110.331 | 0.858 |
| | | | | | | 36 | -0.007 | -0.017 | 19.401 | 0.885 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**Tabla 10.14** Prueba de homoscedasticidad de los residuos del modelo GARCH (1,1) de los rendimientos de Sugar #11.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Heteroskedasticity Test: ARCH | | |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| F-statistic | 2.479452 | Prob. F(1,1258) | | 0.1156 |
| Obs\*R-squared | 2.478509 | Prob. Chi-Square(1) | | 0.1154 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Test Equation: | |  |  |  |
| Dependent Variable: WGT\_RESID^2 | | | |  |
| Method: Least Squares | | |  |  |
| Date: 10/29/20 Time: 10:04 | | |  |  |
| Sample (adjusted): 10/02/2015 9/30/2020 | | | |  |
| Included observations: 1260 after adjustments | | | |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| C | 0.954297 | 0.054260 | 17.58745 | 0.0000 |
| WGT\_RESID^2(-1) | 0.044358 | 0.028170 | 1.574628 | 0.1156 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| R-squared | 0.001967 | Mean dependent var | | 0.998575 |
| Adjusted R-squared | 0.001174 | S.D. dependent var | | 1.648192 |
| S.E. of regression | 1.647224 | Akaike info criterion | | 3.837646 |
| Sum squared resid | 3413.391 | Schwarz criterion | | 3.845803 |
| Log likelihood | -2415.717 | Hannan-Quinn criter. | | 3.840711 |
| F-statistic | 2.479452 | Durbin-Watson stat | | 1.996378 |
| Prob(F-statistic) | 0.115594 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Figura 9.2** Distribución y estadística descriptiva de los residuos del modelo GARCH (1,1) de los rendimientos de Sugar # 11.



**Tabla 10.15** Detalle del modelo del modelo TGARCH para los rendimientos de Sugar # 11.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Dependent Variable: RENDIMIENTOS | | | |  |
| Method: ML ARCH - Normal distribution (Marquardt / EViews legacy) | | | | |
| Date: 10/22/20 Time: 11:51 | | |  |  |
| Sample (adjusted): 10/01/2015 9/30/2020 | | | |  |
| Included observations: 1263 after adjustments | | | |  |
| Convergence achieved after 17 iterations | | | |  |
| MA Backcast: 9/25/2015 9/30/2015 | | | |  |
| Presample variance: backcast (parameter = 0.7) | | | | |
| GARCH = C(9) + C(10)\*RESID(-1)^2\*(RESID(-1)<0) + C(11)\*GARCH(-1) | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Variable | Coefficient | Std. Error | z-Statistic | Prob. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| AR(1) | -0.851494 | 0.049275 | -17.28048 | 0.0000 |
| AR(2) | -0.899046 | 0.046044 | -19.52570 | 0.0000 |
| AR(3) | -0.777009 | 0.044936 | -17.29163 | 0.0000 |
| AR(4) | -0.626352 | 0.041632 | -15.04500 | 0.0000 |
| MA(1) | 0.560998 | 0.059125 | 9.488289 | 0.0000 |
| MA(2) | 0.488857 | 0.056815 | 8.604343 | 0.0000 |
| MA(3) | 0.373460 | 0.059693 | 6.256361 | 0.0000 |
| MA(4) | 0.252029 | 0.054631 | 4.613306 | 0.0000 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | Variance Equation | |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| C | 5.10E-05 | 1.66E-05 | 3.068462 | 0.0022 |
| RESID(-1)^2\*(RESID(-1)<0) | 0.106915 | 0.022832 | 4.682660 | 0.0000 |
| GARCH(-1) | 0.882872 | 0.030196 | 29.23846 | 0.0000 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| R-squared | 0.255478 | Mean dependent var | | 3.29E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.251325 | S.D. dependent var | | 0.033518 |
| S.E. of regression | 0.029002 | Akaike info criterion | | -4.307706 |
| Sum squared resid | 1.055604 | Schwarz criterion | | -4.262929 |
| Log likelihood | 2731.316 | Hannan-Quinn criter. | | -4.290881 |
| Durbin-Watson stat | 2.097793 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Inverted AR Roots | .25+.89i | .25-.89i | -.68+.53i | -.68-.53i |
| Inverted MA Roots | .25+.71i | .25-.71i | -.53-.41i | -.53+.41i |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

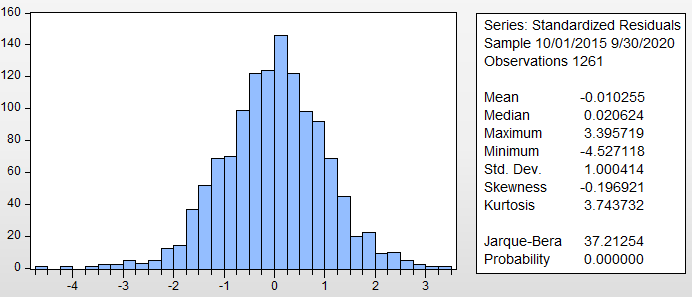
**Tabla 9.16** Autocorrelación de los residuos del modelo TGARCH de los rendimientos de Sugar # 11.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Date: 10/29/20 Time: 15:21 | | | |  |  |  |
| Sample: 10/01/2015 10/22/2020 | | | |  |  |  |
| Included observations: 1261 | | |  |  |  |  |
| Q-statistic probabilities adjusted for 8 ARMA terms | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Autocorrelation | Partial Correlation |  | AC | PAC | Q-Stat | Prob\* |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| | | | | | | 1 | -0.020 | -0.020 | 0.4939 |  |
| | | | | | | 2 | 0.001 | 0.001 | 0.4951 |  |
| | | | | | | 3 | -0.000 | -0.000 | 0.4951 |  |
| | | | | | | 4 | 0.003 | 0.003 | 0.5054 |  |
| | | | | | | 5 | -0.009 | -0.009 | 0.6162 |  |
| | | | | | | 6 | 0.002 | 0.002 | 0.6237 |  |
| | | | | | | 7 | 0.015 | 0.015 | 0.9115 |  |
| | | | | | | 8 | -0.022 | -0.021 | 1.5126 |  |
| | | | | | | 9 | -0.004 | -0.005 | 1.5338 | 0.216 |
| | | | | | | 10 | -0.001 | -0.001 | 1.5344 | 0.464 |
| | | | | | | 11 | -0.007 | -0.007 | 1.5941 | 0.661 |
| | | | | | | 12 | -0.027 | -0.027 | 2.5419 | 0.637 |
| | | | | | | 13 | -0.016 | -0.017 | 2.8613 | 0.721 |
| | | | | | | 14 | -0.019 | -0.020 | 3.3442 | 0.765 |
| | | | | | | 15 | 0.017 | 0.017 | 3.7295 | 0.810 |
| | | | | | | 16 | -0.040 | -0.039 | 5.7418 | 0.676 |
| | | | | | | 17 | 0.011 | 0.009 | 5.8872 | 0.751 |
| | | | | | | 18 | 0.067 | 0.068 | 11.640 | 0.310 |
| | | | | | | 19 | -0.002 | 0.001 | 11.644 | 0.391 |
| | | | | | | 20 | -0.030 | -0.030 | 12.764 | 0.386 |
| | | | | | | 21 | 0.001 | -0.001 | 12.766 | 0.466 |
| | | | | | | 22 | -0.038 | -0.040 | 14.636 | 0.403 |
| | | | | | | 23 | 0.011 | 0.012 | 14.785 | 0.467 |
| | | | | | | 24 | 0.021 | 0.019 | 15.353 | 0.499 |
| | | | | | | 25 | 0.014 | 0.011 | 15.607 | 0.552 |
| | | | | | | 26 | -0.008 | -0.005 | 15.687 | 0.614 |
| | | | | | | 27 | -0.013 | -0.013 | 15.893 | 0.664 |
| | | | | | | 28 | -0.014 | -0.017 | 16.137 | 0.708 |
| | | | | | | 29 | 0.021 | 0.023 | 16.729 | 0.727 |
| | | | | | | 30 | -0.006 | -0.005 | 16.782 | 0.775 |
| | | | | | | 31 | 0.024 | 0.027 | 17.520 | 0.783 |
| | | | | | | 32 | -0.027 | -0.027 | 18.487 | 0.779 |
| | | | | | | 33 | -0.006 | -0.010 | 18.537 | 0.819 |
| | | | | | | 34 | -0.007 | -0.005 | 18.606 | 0.853 |
| | | | | | | 35 | -0.028 | -0.030 | 19.627 | 0.846 |
| | | | | | | 36 | -0.013 | -0.022 | 19.838 | 0.870 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**Tabla 10.17** Prueba de homoscedasticidad de los residuos del modelo TGARCH de los rendimientos de Sugar #11.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Heteroskedasticity Test: ARCH | | |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| F-statistic | 3.031843 | Prob. F(1,1258) | | 0.0819 |
| Obs\*R-squared | 3.029362 | Prob. Chi-Square(1) | | 0.0818 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Test Equation: | |  |  |  |
| Dependent Variable: WGT\_RESID^2 | | | |  |
| Method: Least Squares | | |  |  |
| Date: 10/29/20 Time: 15:22 | | |  |  |
| Sample (adjusted): 10/02/2015 9/30/2020 | | | |  |
| Included observations: 1260 after adjustments | | | |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| C | 0.950466 | 0.054552 | 17.42298 | 0.0000 |
| WGT\_RESID^2(-1) | 0.049035 | 0.028162 | 1.741219 | 0.0819 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| R-squared | 0.002404 | Mean dependent var | | 0.999469 |
| Adjusted R-squared | 0.001611 | S.D. dependent var | | 1.660187 |
| S.E. of regression | 1.658849 | Akaike info criterion | | 3.851711 |
| Sum squared resid | 3461.739 | Schwarz criterion | | 3.859868 |
| Log likelihood | -2424.578 | Hannan-Quinn criter. | | 3.854776 |
| F-statistic | 3.031843 | Durbin-Watson stat | | 1.998426 |
| Prob(F-statistic) | 0.081890 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Figura 10.3** Distribución y estadística descriptiva de los residuos del modelo TGARCH de los rendimientos de Sugar # 11.



1. Rendimiento: cambio de valor que registra un activo en un tiempo determinado respecto a un valor inicial, este puede ser simple o continuo. [↑](#footnote-ref-1)
2. Riesgo resultante del cambio climático y que deriva en pérdida de bienestar social. [↑](#footnote-ref-2)
3. Comportamiento de manada: Tendencia a aceptar como válidos los razonamientos o ideas de la mayoría sin analizar si son correctas desde un punto de vista lógico. [↑](#footnote-ref-3)
4. Proceso cuyo valor en t está guiado por su valor en t-1. [↑](#footnote-ref-4)
5. Las transformaciones Box-Cox se usan principalmente para corregir problemas de distribución de errores, corregir varianza y corregir no linealidades de relación entre variables. [↑](#footnote-ref-5)
6. Se supone existen n ecuaciones a estimar, uno de los supuestos principales del modelo es que no se permite la existencia de autocorrelación serial, aunque es posible que los errores de cada modelo estén correlacionados de forma contemporánea entre sí.

   El proceso se realiza por dos etapas, primero se realiza la estimación de las n ecuaciones y se obtienen las series de residuos, en la segunda etapa se construye la matriz de varianzas y covarianzas ampliada. Con dicha matriz, se obtiene el segundo estimador, que es más eficiente para cuando las ecuaciones solo están relacionadas a través de los términos de error. [↑](#footnote-ref-6)
7. Shock: Diferencia entre el valor ajustado por el modelo y el valor observado, la media de estos es 0. [↑](#footnote-ref-7)
8. Proceso estacionario es una condición de equilibrio estadístico en el que se asegura la convergencia a un número por parte del modelo. [↑](#footnote-ref-8)
9. El cuarto momento de una distribución es la curtosis, un valor mayor a 3 es considerado exceso de curtosis. [↑](#footnote-ref-9)
10. El riesgo de contraparte es el que se refiere a que el otro agente con quien se adquirió un compromiso no cumpla con el acuerdo asumido. [↑](#footnote-ref-10)