



Determinantes de la Volatilidad del Precio Interno del Café
en el Mercado Colombiano entre los Años 2015 y 2022

Autores:

Lina María Pardo Calderón
Laura María Chávez Pinzón

Tesis de Grado para optar al título de Magister en
Administración Financiera

Asesora:

Vivian Cruz Castañeda, Ph. D.

Universidad EAFIT

Escuela de Finanzas, Economía y Gobierno

Maestría en Administración Financiera

Pereira, Colombia

2024

Contenido

Resumen.....	3
1. Introducción	5
2. El Mercado Internacional del Café.....	7
3. Mercado Cafetero en Colombia: Tendencias y Desafíos para los Pequeños Productores	8
4. Revisión de Literatura	10
4.1. Incertidumbre y Riesgo en los commodities. El caso del café.....	10
4.2. Volatilidad en el precio de los commodities	12
4.3. Determinantes de la Volatilidad en los Precios de los Commodities Agrícolas	14
5. Contexto mundial del café en el periodo 2015 a 2022	17
6. Metodología	20
6.1. Data.....	20
6.2. Metodología.....	20
7. Resultados	24
7.1. Modelación de la volatilidad de los precios del Contrato C y de la TRM.....	24
7.2. Modelo de regresión por cuantiles	30
7.3. Alternativas que mitiguen el riesgo de mercado al que se ven expuestos los caficultores colombianos por los movimientos en la TRM y los precios del contrato c	35
<i>Mecanismos de Protección del Ingreso del Caficultor, presentado por la Federación Nacional de Cafeteros</i>	35
<i>Diversificación de Cultivos de Café</i>	37
<i>Cafés de especialidad</i>	39
<i>Mayor Participación en la Cadena de Valor del Café</i>	40
8. Conclusiones y Recomendaciones	41
Bibliografía	42

Resumen

Colombia es un país reconocido mundialmente por sus productos agrícolas, en especial por su café. El 96 % de los productores de café son pequeños agricultores que se exponen a diario a la fluctuación de precios en el mercado internacional y, en muchas ocasiones, esta dependencia no cubre sus costos de producción, incentivando la salida o poca participación de los productores en la industria cafetera. Las principales variables que influyen en el comportamiento de los precios internos del café son: el precio del contrato C, la prima de calidad y la tasa de cambio. En este estudio se realizó una regresión por cuantiles de los retornos de los precios internos del café en función de la volatilidad condicional de los retornos del Contrato C y de la TRM, entre los años 2015 y 2022, utilizando modelos ARMA-GARCH. Los resultados de mayor impacto muestran que un incremento unitario de la volatilidad condicional de los retornos de la TRM en el cuantil 0.95 generan un incremento en los retornos internos del café en 0,97% y que un aumento unitario de la volatilidad condicional de los contratos C genera un incremento del 0.31% en los retornos de los precios internos de café. Este estudio ofrece perspectivas valiosas que pueden contribuir a mejorar la resiliencia y sostenibilidad de la industria cafetera en Colombia. Además, al identificar los factores que influyen en los precios internos del café, este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y políticas dirigidas a mitigar la volatilidad y promover condiciones más equitativas y estables para los productores de café en el país.

Palabras clave: Volatilidad, Precio del Café, Tasa de cambio, Riesgo de mercado, Riesgo cambiario, GARCH.

Abstract

Colombia is a country recognized worldwide for its agricultural products, especially for its coffee. Ninety-six percent of the coffee producers are small farmers that are exposed daily to the fluctuation of prices in the international market and, in many occasions, this dependence does not cover their production costs, encouraging the exit or little participation of the producers in the coffee industry. The main variables that influence the behavior of internal coffee prices are: the price of the C contract, the quality premium and the exchange rate. In this study a quantile regression of the returns of internal coffee prices as a function of the conditional volatility of the returns of the C Contract and the TRM, between the years 2015 and 2022, using ARMA-GARCH models, was carried out. The most impactful results show that a unit increase in the conditional volatility of the TRM returns at the 0.95 quantile generates an increase in domestic coffee returns by 0.97% and that a unit increase in the conditional volatility of C contracts generates an increase of 0.31% in the returns of domestic coffee prices. This study offers valuable insights that can contribute to improve the resilience and sustainability of the Colombian coffee industry. Furthermore, by identifying the factors that influence domestic coffee prices, this study lays the foundation for future research and policies aimed at mitigating volatility and promoting more equitable and stable conditions for coffee producers in the country.

Keywords: Volatility, Coffee Prices, Exchange Rate, Market risk, Exchange rate risk, GARCH.

1. Introducción

El café se ha caracterizado por ser uno de los productos más tradicionales y culturales para la economía y la agricultura colombiana. Su dinámica inicial fue la comercialización interna, y con el tiempo, por su calidad ha logrado expandirse a mercados internacionales, volviéndose así uno de los productos más comercializados. Desde 1931 se expide de ley 126, en la que el gobierno colombiano reglamenta la diferenciación del café a partir de la calidad para promover la competencia en el mercado internacional; y junto con la Federación Nacional de Cafeteros durante los siguientes años, crea estrategias tecnológicas y de investigación para promover esta diferenciación del café colombiano (Yoshida, Soto, 2020) y como lo indican los autores Arias, Ruiz y Londoño (2018) esta estrategia agresiva, logra generar confianza, reconocimiento y recordación del origen y calidad del producto en el mercado internacional.

Durante el año 2022 las exportaciones de este producto alcanzaron 11.4 millones de sacos, siendo los principales clientes, Norteamérica (Estados Unidos, Canadá y México), con una participación del 52,5% de estas exportaciones; Europa en segundo lugar con una participación del 26.6% y Asia con el 17,3% de participación. (Federación Nacional de Cafeteros, 2022). Dada la importancia del café para el mercado de commodities en Colombia y la manera cómo diferentes variables pueden influir en su comportamiento, es importante examinar cuál ha sido su dinámica dentro del mercado interno y determinar qué variables influyen en su comportamiento.

En la literatura económica y financiera, una de las características básicas de los productos agrícolas es la volatilidad, ya que permite dar razón a los efectos de la escasez (causando aumento en el precio) o sobreproducción (causando desplome en el precio). Pérez (2006) realizó un estudio del comportamiento de los precios internos y externos del café, donde expone la prolongada disminución de precios que ha experimentado este producto, así como el exceso de oferta, generando modificaciones drásticas en las condiciones del negocio cafetero nacional y mundial.

En Colombia, el precio interno del café es fijado diariamente por la Federación Nacional de Cafeteros, este se conforma por el precio de los futuros del café “Contrato C”, la tasa de cambio del día y la prima de calidad, variables que en conjunto son expuestas a las variaciones en el mercado internacional, volviendo el precio interno del café más volátil. Esta volatilidad y fluctuación afecta a los caficultores, apuntando directamente a la incertidumbre sobre sus ingresos por los cambios en el precio, lo que dificulta estrategias para incrementar su rentabilidad y optimización de costos (Lewin, Giovannucci & Varangis, 2004).

El objetivo general de este estudio es analizar los determinantes del precio interno del café colombiano, con un enfoque en la relación entre la volatilidad del precio del café internacional (contrato C) y la tasa de cambio (TRM) de Colombia. Para lograr este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos: modelar la volatilidad del precio del café "contrato C" entre los años 2015 y 2022 y su impacto en el precio interno del café en Colombia; modelar la volatilidad de la tasa de cambio entre los años 2015 y 2022 y su impacto en el precio interno del café en Colombia; y proponer alternativas que mitiguen el riesgo de mercado al que se ven expuestos los caficultores colombianos debido a los movimientos en la TRM y los precios del contrato C.

Este análisis resulta valioso porque la mayoría de los estudios y documentación encontrada limitan su atención al estudio meramente de la volatilidad de los precios, a través de los factores que afectan su movimiento; sin embargo, para el caso colombiano no se han encontrado estudios que relacionen los efectos de la volatilidad del precio del contrato C y de la volatilidad de la tasa de cambio en relación a los precios internos del café colombiano y el impacto que tiene éste en los ingresos que reciben los caficultores con la venta de su producto.

La metodología aplicada en este estudio para el análisis de los determinantes de la volatilidad de precio interno del café en el mercado colombiano sigue el método presentado por Schwert (1990) y Glosten & Runkle (1993), quienes utilizan varios modelos de la familia ARMA-GARCH, potenciados por capturar la volatilidad condicional de modelos de series de tiempo ARMA (0,0)-AVGARCH (1,1), ARMA (2,1)-GJRGARCH (1,1). Así mismo se estimó una regresión por cuantiles de los precios internos del café, en función de la volatilidad condicional de los retornos de los contratos C y de la TRM.

El contenido de este estudio está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 y 3 se contextualiza el mercado internacional del café, así como el mercado colombiano; en la sección 4 se exponen los conceptos básicos relacionados con la incertidumbre y riesgo en los commodities desde la perspectiva del café, la volatilidad y los determinantes de la volatilidad en los precios de los commodities agrícolas; la sección 5 describe los principales hechos ocurridos entre 2015 y 2022 que aportaron a la formación de los clústeres de volatilidad detectados; en la sección 6 se realiza una descripción de la metodología para el análisis de los determinantes de la volatilidad; la sección 7 muestra los resultados obtenidos, en la misma sección se plantean estrategias de mitigación del riesgo de mercado y se hace una revisión de los resultados obtenidos. Finalmente, las conclusiones de este estudio se presentan en la sección 8.

2. El Mercado Internacional del Café

En el mercado internacional de café, las variedades más valoradas para el comercio internacional son el arábica y la robusta. Por un lado, la primera es comercializada en la International Exchange U.S (Nueva York), siendo la más apetecida del mercado debido a su sabor suave y aromático; mientras que la segunda es comercializada en la International Exchange Europa LIFFE (Londres), reconocida por su sabor amargo.

En el intercambio mundial existen cuatro referentes sobre este grano; por un lado, están todas las variedades de café robusta en un solo conjunto y por otro los arábigos que se subdividen en tres: suaves colombianos, otros suaves y los naturales de Brasil. (Perfect Daily Grind, 2021). Esta subdivisión se debe al tipo de beneficio empleado, es decir, el proceso que se realizó para que el grano estuviera en condiciones para ser pergamino seco. El café suave colombiano es reconocido por su calidad y porque en su proceso de beneficio se utilizó agua, de allí el término “suave lavado”; los otros suaves, son parecidos a los primeros en tanto a su proceso de beneficio, pero no cumplen con la calidad del primero; y por último, los naturales de Brasil, que son reconocidos por no utilizar agua en su proceso de beneficio (International Coffee Organization, 2024). El café de ambas variedades presenta diferencias notorias en su sabor y aroma, incluso estas diferencias vienen desde la planta misma, en razón a su mantenimiento, resistencia al clima y a las plagas, siendo la variedad robusta la de mayor resistencia a clima y plagas y la de menor mantenimiento y cuidado.

Brasil es el mayor productor de café en el mundo, esto debido a su extensión en cultivos, terrenos llanos y su buen clima. Se caracteriza por la producción de ambas variedades, siendo más significativa la variedad arábica. Es seguido por Vietnam, reconocido por su producción de la variedad robusta y Colombia reconocido por su producción de la variedad arábica.

Según el informe anual de gestión 2022 de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), para el año cafetero¹ 2021/2022 la producción mundial de café fue de 159,78 millones de sacos de 60kg, de los cuales la producción cafetera brasilera fue de 53,5 millones de sacos (33%) y de 19,5 y 11,1 millones de sacos correspondientes a Vietnam y Colombia (12% y 6,9%). Es decir, más del 50% de la producción mundial cafetera fue provista por estos tres países. La participación de los cafés arábigos fue de 53.3% y del café robusta fue de 46.7%.

¹ Entiéndase año cafetero el 1ro de octubre al 30 de septiembre.

3. Mercado Cafetero en Colombia: Tendencias y Desafíos para los Pequeños Productores

Colombia es un país agrícola, reconocido por su variedad de cultivos y por sus tierras fértiles. A nivel mundial, el producto agrícola colombiano más conocido es el café, el cual para el año 2022 es la fuente de ingresos de 540.000 familias caficultoras según la Federación Nacional de Cafeteros (FNC)²; y que para este mismo año representó 11,4 millones de sacos exportados con una valoración de la cosecha de 14.5 billones de pesos, permitiéndole ser el tercer productor más grande a nivel mundial, justo detrás de Vietnam (29.5 millones de sacos) y Brasil (53.5 millones de sacos).

Según los informes mensuales de la FNC, desde el año 2010 al año 2022 han disminuido las áreas cultivadas de café de 914 mil hectáreas a 842 mil hectáreas, explicado en parte por la volatilidad de los precios internacionales y con ello, la inestabilidad que genera en los hogares cafeteros colombianos. Actualmente continúan disminuyendo las áreas cultivadas de café, siendo sustituidas por cultivos como banano, plátano, naranja, limón y aguacate, entre los principales. Según informes de la FNC, el área sembrada disminuyó un -7.8%, con el porcentaje más alto de disminución entre 2017 y 2019.

Tabla 1. Variación de área sembrada en cultivo de café por regiones entre 2010 y 2022.

Región	2011*	2012*	2013*	2014*	2015*	2016*	2017*	2018*	2019*
R. Amazónica	20,60%	7,20%	12,20%	-0,30%	2,50%	-1,50%	2,90%	-0,60%	-1,00%
R. Andina	-0,80%	1,10%	4,30%	-3,00%	-0,80%	-1,60%	-3,20%	-2,40%	-2,30%
R. Caribe	7,00%	7,20%	7,80%	-0,60%	-4,80%	0,50%	-2,70%	-6,30%	-8,80%
R. Orinoquía	10,70%	7,10%	10,50%	-1,60%	0,60%	0,70%	-6,90%	-10,90%	-2,50%
R. Pacífico	4,10%	-0,90%	4,50%	-2,00%	0,30%	0,80%	-2,50%	-3,80%	-2,20%
Total	0,70%	1,10%	4,60%	-2,60%	-0,80%	-1,00%	-3,00%	-3,00%	-2,70%

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Federación Nacional de Cafeteros.

De acuerdo con Intercontinental Exchange (ICE, 2012, p 1), el café arábigo es negociado en el ICE (Intercontinental Exchange) de Nueva York y para la determinación del precio interno del café se tienen en cuenta los precios de los futuros de café “contrato C” cotizados en esta bolsa; la tasa de cambio del día y la prima de calidad. (FNC, s.f.)

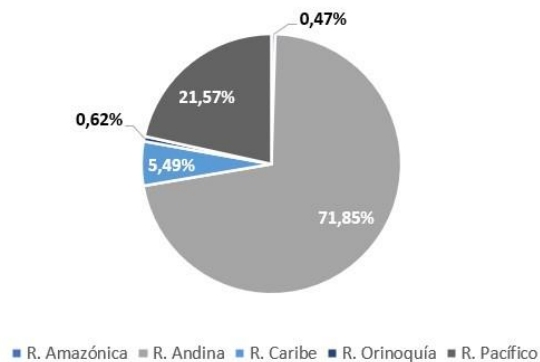
² <https://www.cafedecolombia.com/particulares/nuestros-caficultores/>

El sector cafetero colombiano está compuesto mayormente por pequeños caficultores quienes se ven afectados por la variabilidad en el precio internacional y la tasa de cambio, además que su producción no permite competir con grandes caficultores, de manera que, cuando el precio del café disminuye significativamente, no se logran cubrir los costos de producción de la cosecha, generando pérdidas y optando por erradicar importantes extensiones cultivadas en este producto, cambiando la actividad cafetera por otra menos volátil.

Los agricultores además de lidiar con riesgos inherentes al cultivo, tales como enfermedades, plagas, eventos por cambios climáticos y naturales, entre los principales, también tienen una fuerte exposición al riesgo de producción, riesgo de mercado y al riesgo de cambio de precios (Mohan, 2017).

La industria del café en Colombia ha estado representada por cultivos de la especie arábica, estos se encuentran distribuidos en las cinco regiones naturales del país: la región Andina, Caribe, Pacífico, Orinoquía y en una pequeña proporción en la región amazónica. La concentración de un mayor porcentaje de café sembrado desde sus orígenes se ha ubicado en la región Andina (Trujillo, Mitidieri et al., 2021).

Figura 1. Participación de área sembrada en cultivo de café por regiones en 2022.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Federación Nacional de Cafeteros.

Parte significativa del área sembrada está representada en variedades resistentes a plagas y enfermedades, elemento importante que sumado a las técnicas de producción y factores ambientales permiten obtener un café de calidad, posicionando a Colombia como un referente mundial de café de calidad. Adicionalmente, el país es el mayor productor de café arábigo suave lavado, obteniendo una prima de calidad (UGQ) de 600 puntos básicos.

La primera exportación de café de Colombia se realizó en el año 1835³ y desde entonces las exportaciones de este producto se han mantenido, a pesar de factores coyunturales y sistémicos que han sucedido a lo largo del tiempo, siendo el segundo producto más exportado después del petróleo hasta el año 2001; año en el cual fue superado por el carbón y desde la fecha ocupa el tercer lugar como el producto más exportado por el país⁴.

A principios del siglo XX fue creada la institución gremial, Federación Nacional de Cafeteros (FNC), con el fin de salvaguardar el bienestar de los caficultores, promover y posicionar el café colombiano en el mercado nacional e internacional. Su estructura funcional está basada en tres bases organizacionales: la primera consiste en un sistema de transferencia de tecnología para brindar soporte técnico y mejorar la calidad del grano; la segunda consiste en un sistema de comercialización nacional e internacional y la tercera en un esquema de marketing internacional que permite posicionar el producto colombiano a nivel global (Reina et al., 2007).

Desde el año 1958 la FNC creó la garantía de compra como un mecanismo para defender el ingreso del caficultor en la comercialización interna ante el poder de unos pocos compradores y el desconocimiento de los precios de mercado por parte de los productores (Yoshida y Soto, 2020). Es así como la entidad es la encargada de regular los precios internos del café a partir de las variables: precio internacional del café “Contrato C”; el diferencial por calidad y la tasa de cambio. En consecuencia, la FNC se encarga de publicar diariamente el precio interno de referencia para la compra de café.

4. Revisión de Literatura

4.1. Incertidumbre y Riesgo en los commodities. El caso del café

Los productores agrícolas se encuentran expuestos a los riesgos implícitos de los cultivos, ya sea por variaciones en el clima o por enfermedades y plagas que pueda tener la planta. En concordancia con lo anterior, los caficultores también están expuestos al riesgo de precios, al riesgo cambiario y al riesgo de producción; afectando directamente los ingresos de los productores de café (Mohan, 2007).

A pesar de que se realizan acciones como coberturas de precios, producción o clima, por lo general la retribución no es significativa debido a que, para el pequeño caficultor se dan pérdidas por cambios desfavorables en el precio. De esta manera,

³ El café, cultivo e historia. José Chalarca. Acción popular biblioteca del campesino.

⁴ Según estadísticas del DANE

prevalece en el tiempo la necesidad de analizar la volatilidad del precio del café y la tasa de cambio, tomando como referencia las crisis en la industria cafetera por disminución de precios, sobreproducción mundial y la brecha existente en la distribución de los beneficios.

En consecuencia, quienes están más expuestos y vulnerables a este tipo de riesgos son los pequeños caficultores, puesto que los ingresos generados por la venta de este grano son un aproximado de sus ingresos totales (Yoshida y Soto, 2020). De los cuales, según cifras de la FNC corresponden al 96% de las 540.000 familias caficultoras⁵ colombianas.

Por otro lado, los caficultores se ven afectados por el riesgo del precio, el cual se relaciona directamente con los movimientos del mercado (oferta y demanda), cuando existe sobreoferta de un producto, el precio de éste tiende a disminuir y por el contrario, cuando existe sobredemanda de un producto, el precio de éste tiende a aumentar. El mercado de commodities agrícolas es más susceptible a los shocks producidos por la oferta que por la demanda (Subervie, 2008). Para el caso del precio del café, este se ve más afectado por los movimientos de oferta de los países con mayor producción (Jácome, 2017). La mayoría de los productores de café en el mundo son pequeños caficultores que pertenecen a países en desarrollo, quienes están expuestos diariamente a la volatilidad de los precios del commodity, que a su vez carecen de poder de mercado y que por las condiciones del país tienen una limitada capacidad para cubrir su exposición a este riesgo (Mohan, 2007). De igual manera, dicho riesgo es capaz de generar graves consecuencias para los países productores, y puede variar de acuerdo con la estructura del mismo (Ssenkaaba, 2019).

En comparación a otros riesgos, el riesgo de precios es más importante para los productores porque, además de afectar sus ingresos, también afecta la inversión en materias primas utilizadas para garantizar la calidad de las próximas cosechas (Mohan, 2007). Además, para el caso de Colombia, “el costo de producción es bastante alto debido a los esfuerzos para mantener la calidad de la producción” (Ssenkaaba, 2019).

Debido al alto valor comercial del café en el mercado; el riesgo de precio es sustancialmente más alto en comparación a otros commodities agrícolas, y no solo es parte influyente sobre las decisiones de los productores, sino también de los exportadores (Worako et al., 2011).

⁵ Según Informe de Gestión Federación Nacional de Cafeteros. Página 66. De las 540.000 familias caficultoras, el 3% corresponde a medianos caficultores y el 1% corresponde a grandes caficultores.

De acuerdo con Varangis et al. (2003), los caficultores experimentan por lo menos dos tipos distintos de problemas asociados con los precios: el nivel de los precios y la volatilidad. También hacen hincapié en que el precio del café ha llegado a ser de todos los productos agrícolas, el más volátil, especialmente en los años noventa, desde entonces su volatilidad se ha intensificado con una marcada tendencia descendente del precio del commodity. (Echavarría, Esguerra, & Robayo, 2015) resaltan que el precio real del café arábigo ha descendido a un 2 % anual entre 1950 y 2015, debido a la mayor competencia en la producción de café mundial. En la investigación de los autores, se proyectó que la variación de los precios continuaría con la misma tendencia a la baja.

Los caficultores además se ven expuestos a riesgo cambiario cuando se opera en una moneda diferente a la moneda nacional y se expone al riesgo de la devaluación de la moneda en que se transa en comparación a otras, generando pérdidas en el momento de realizar el cambio. Para el caso del café, este commodity se transa en dólares estadounidenses (USD), una moneda revaluada en comparación al peso colombiano y como lo indican los autores (Worako et al., 2011), los productores tienen menos interés en el mercado cambiario porque es baja la probabilidad de que exista una apreciación de la moneda local frente al dólar estadounidense.

Sin embargo, el café también es comercializado en el mercado OTC y por ende no necesariamente todos los contratos son negociados en dólares, por lo anterior es necesario resaltar la importancia del riesgo cambiario cuando se opera con diferentes divisas del mundo.

4.2. Volatilidad en el precio de los commodities

Existe una amplia literatura sobre el análisis de la volatilidad de los precios spot y de futuros para productos agrícolas, la cual evidencia que el constante movimiento de los precios en este sector varía considerablemente a lo largo del tiempo en comparación con los precios de otros productos industriales. Como lo mencionan (Mora et al., 2021), la volatilidad no podría tomarse como algo atípico para el sector agrícola, sino que, al contrario, es una de sus características principales.

Uno de los puntos destacados en el estudio de Engle & Patton (2007) en el análisis de la volatilidad, es la presencia de grupos o concentraciones de volatilidad (existencia de clusters), es decir, con movimientos grandes o pequeños de los precios que son constantes y duraderos en el tiempo, se pueden ver variaciones marcadas en los precios cuando están bajando, y variaciones menores cuando se encuentran en una tendencia alcista; es decir, cuando surge nueva información relevante asociada a noticias, los mercados reaccionan aumentando o disminuyendo la variación de los precios.

Si se analiza el mercado de productos agrícolas a nivel histórico, los episodios de volatilidad extrema impulsada por factores como desastres naturales han sido poco frecuentes (OCDE, 2010). Sin embargo, desde la perspectiva económica y financiera la volatilidad en este sector ha sido mayor y ha tomado un nuevo curso estructural, (Roitbarg, 2021) explica esto como un efecto que se da a partir de los cambios que se presentan desde 1970 referentes a las crisis del petróleo y la reconfiguración de la forma de producción a nivel internacional.

Las últimas crisis en los precios de los commodities han generado un amplio debate sobre los factores determinantes de su volatilidad, encontrando en la literatura que no se puede atribuir a una sola causa o determinante principal, sino que esta se constituye por la conjunción de múltiples variables (Doporto & Michelena, 2011).

Un detalle importante sobre los precios del sector agrícola es que cuentan con propiedades de series temporales diferentes a la de otros activos del mercado que también son volátiles (Tomek, Kaiser, 2014). Dichas propiedades reflejan las complejidades inherentes a la producción agrícola y su relación con factores externos como el clima, la economía y las políticas, las cuales deben ser tenidas en cuenta al analizar y modelar datos agrícolas, en especial cuando se analiza el precio; Pérez (2006) menciona que entre los principales los factores que influyen en la formación de los precios del café, están: la producción, el consumo y los movimientos de existencias, los cuales son también determinantes para la modelación de predicción y volatilidad.

Por tanto, al analizar el precio de un producto agrícola se deben identificar factores que están asociados a coyunturas climáticas económicas y políticas en el corto plazo, que parten desde períodos de mala cosecha en un país de significativa producción, las necesidades del agricultor, hasta la variación del tipo de cambio y las expectativas en los mercados financieros. Los cambios en los tipos de cambio pueden afectar la competitividad de las exportaciones, lo que a su vez termina por tener un impacto directo en los precios domésticos.

De acuerdo con (Echavarría et al., 2014), aparte de que existen factores que en el corto plazo influyen en la volatilidad del precio del café, existe evidencia de que también ésta se afecta por factores más estructurales en el mediano y largo plazo, explicando que la oferta de productos como el café se adapta lentamente a los cambios en la demanda, lo cual ocasiona fluctuaciones importantes en los precios.

En efecto, y de acuerdo con la FAO:

la volatilidad involucra aspectos relacionados a la velocidad, magnitud y cambios de dirección en las tasas de variación de los precios. Desde el punto de vista estadístico, un precio es más volátil cuanto mayor sea la magnitud de su tasa de cambio, hacia arriba o hacia abajo, más rápido sea el cambio, y más cambios haya en direcciones opuestas (CEPAL/FAO/IICA, 2011).

Por tanto, una explicación de la volatilidad podría definirse como el resultado de una curva de demanda inelástica y su comportamiento de fluctuaciones marcadas en la oferta (elasticidad precio de la oferta), que como lo explican, (Varangis et al., 2004) esto se debe, por ejemplo, a variaciones en la producción en Brasil (en especial a causa de las heladas) o, ajustes en la producción en respuesta a las variaciones en los precios y cambios en las políticas (como la eliminación de las cláusulas económicas del Convenio Internacional del Café, (CEPAL, 1990).

Por tanto, el mínimo cambio en la oferta o la demanda puede afectar los precios del café. Es de detallar, que estos movimientos por lo general suelen reducir o anular los beneficios que puedan obtener los pequeños caficultores, ya que, por sus características como vulnerabilidad económica y poco conocimiento sobre el cubrimiento de precios del café, son los más afectados; de manera que, los movimientos de los precios cuando son a la baja, afectan de manera directa el establecimiento de los precios internos para los pequeños caficultores.

4.3. Determinantes de la Volatilidad en los Precios de los Commodities Agrícolas

Según Sheppard (2019), una característica de los retornos de los activos financieros es la volatilidad cambiante a través del tiempo. Esto se debe a la presencia de fenómenos como choques causados por nueva información, influencia de choques previos, cambios asimétricos en los retornos o la incertidumbre en los precios de los activos. El modelo ARCH, desarrollado por Engle en 1982, representó la primera aproximación al estudio de la volatilidad condicional. En este modelo, la volatilidad condicional está vinculada al valor de las perturbaciones o innovaciones observadas en periodos anteriores específicos.

En un estudio realizado por Doporto y Michelena (2011) sobre la volatilidad de los commodities seleccionados para el período 1965 a 2009, explican que las causas de la volatilidad de los precios a nivel mundial para productos como el trigo, el maíz, el arroz y el aceite de girasol se potencian a través de determinantes como la inflación, los inventarios, el tipo de cambio, la tasa de interés, el crecimiento del ingreso, el clima, la especulación y activos financieros alternativos. Además, resaltan que los anteriores determinantes no son variables que puedan ser controladas, a priori, por un país con escasa incidencia en la fijación de precios mundiales. Sin embargo, la

variable especulación ha sido motivo de amplios análisis para identificar si existe o no causalidad entre la especulación y la variación en el precio de los commodities.

En concordancia, al analizar la especulación existen posiciones diferentes acerca de si esta pudiera identificarse como un determinante importante de la volatilidad, como lo expresan Aliaga, Mora y Mulder (2021), quienes en su estudio aplican un modelo GARCH (1,1) y ponen en evidencia que existe una relación negativa entre la volatilidad y la especulación, demostrando que la relación de la especulación y volatilidad del precio del café es altamente significativa estadísticamente al nivel del 1% y que, al contrario, la especulación tiende a reducir su volatilidad.

Por otra parte, Pérez (2006) en su estudio sobre modelación de la volatilidad y el pronóstico del precio del café, incorpora modelos como el ARIMA-GARCH con los que predice la estimación del precio y la volatilidad esperada del café, utilizando una serie entre el año 2002 y 2006; allí se puede evidenciar que la volatilidad de dicha serie no permanece constante en el tiempo, además de presentarse asimetría en la incorporación de nueva información en los precios, información proveniente de malas noticias en el mercado, generando rendimientos negativos superiores a los que pueden llegar a presentar las noticias positivas.

Los investigadores Worako, Jordaan y Van Schalkwyk (2011) analizan la volatilidad de los precios del café interno etíope para productores, subastadores y exportadores de café. Utilizan los modelos autorregresivos heterocedásticos (ARCH /GARCH), donde identifican que los precios de los productores son los que tienen mayor volatilidad, por ende, son los que están más expuestos a las fluctuaciones de los precios, afectando directamente al sustento de un cuarto de la población etíope; mientras que el análisis derivado de los precios de los exportadores encuentra que no tienen efectos ARCH, deduciendo que la volatilidad de estos precios es constante en el tiempo. También hacen una comparación con los precios de Brasil, mayor productor de café en el mundo, encontrando mayor volatilidad en los precios del café etíope en comparación con Brasil.

El análisis de la volatilidad de los commodities, especialmente del precio del café, ha permitido diversas interpretaciones de los factores que pueden afectar a la misma, abriendo un largo camino sobre el comportamiento de la serie financiera que se obtiene después de aplicarse modelos del tipo ARCH-GARCH. Por lo anterior, uno de los determinantes que se ha identificado desde la perspectiva de incidencia en el precio interno del café, es la tasa de cambio representativa de mercado (TRM). El análisis de la TRM supone entender que se interrelaciona con el precio interno del café desde los movimientos por factores internos y externos que afectan los cambios que presenta esta tasa. Se entiende entonces que el precio interno del café está determinado por condiciones macroeconómicas como el precio internacional del grano y la TRM.

Por lo anterior, se hace necesario analizar también la TRM para entender de una forma más cercana la naturaleza de sus movimientos (los patrones y relaciones Inter temporales de su volatilidad), entendiendo que es una variable exógena. Al respecto, en el estudio de Castaño, Gómez & Gallón (2008), mencionan que varios estudios han descubierto evidencia de que la volatilidad de las tasas de cambio persiste a lo largo del tiempo al utilizar bases de datos diarias y modelando este proceso con diferentes modelos como IGARCH, FIGARCH e HYGARCH. Así mismo, los mismos autores desarrollan un análisis estadístico, en donde el objetivo es encontrar el mejor modelo que explique el comportamiento de los retornos de la tasa de cambio, concluyendo que el modelo que mejor se ajusta a los datos es el modelo IGARCH bajo una distribución GED.

Por otro parte, los autores Aliaga, Mora & Mulder (2021), realizan un análisis de las variables del precio del café arábico a partir de los datos encontrados en la Organización Internacional del Café y en la Federación Nacional de Cafeteros. Para Colombia utilizaron información mensual entre 1997 y 2020, y mediante un modelo creado por los autores y ajustado con mínimos cuadrados ordinarios, encontraron que existe influencia significativa de los precios internacionales, la tasa de cambio y el precio del WTI con los precios internos del café colombiano.

Adicionalmente, otro ejemplo que evidencia los diferentes métodos para modelar la volatilidad de los precios de un commodity, lo hace Abebe (2020), en su estudio compara dos modelos de volatilidad para los precios del café etíope: GARCH y GARCH-MIDAS. El autor concluye que el modelo GARCH-MIDAS ofrece una mejor explicación de la tendencia y los riesgos del mercado del café, en comparación con el modelo GARCH. El estudio concluye que diversos factores influyen en la volatilidad del precio del café en Etiopía, entre ellos la tasa de interés, el PIB, la oferta monetaria y la apertura comercial. Se destaca que la oferta monetaria y la apertura comercial tienen un mayor impacto en los precios internos del café. Un aumento en la oferta monetaria genera efectos negativos en la fluctuación de los precios, mientras que un mayor PIB reduce la volatilidad diaria del precio del café.

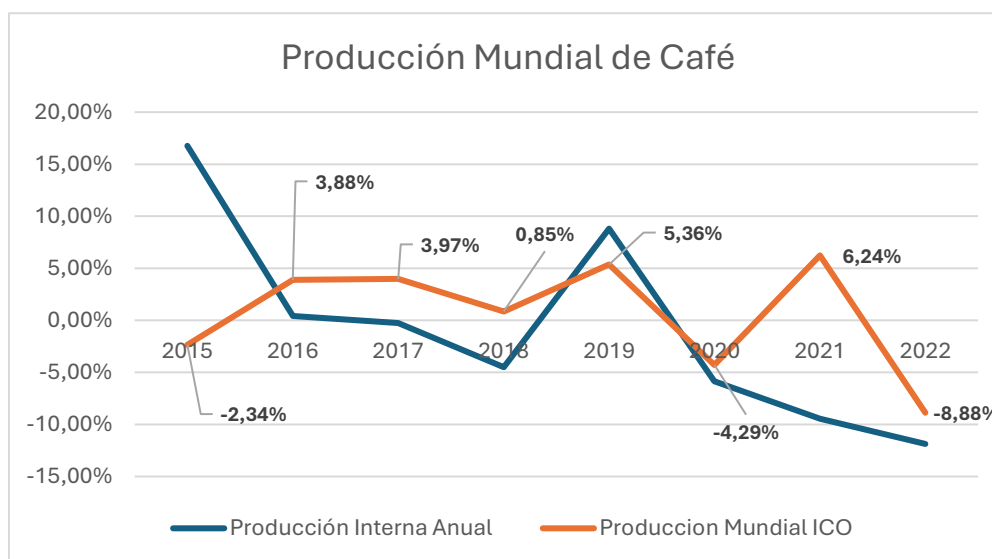
Por otro lado, Chaovanapoonphol et al. (2023) examinan la relación entre la demanda interna de café en Tailandia, las exportaciones de café de Indonesia y Brasil, y la volatilidad del precio del café tailandés. Su estudio, basado en modelos bayesianos GARCH-X, concluye que un aumento en la demanda de café por parte de las tostadoras tailandesas incrementa la volatilidad de los precios del café en el país y que, por el contrario, un mayor volumen de exportaciones de café de Brasil reduce la volatilidad de los precios internos del café en Tailandia. Los autores sugieren que las políticas cafeteras de Tailandia deberían considerar el impacto que generan las dinámicas de demanda y exportación en los precios internos del café, tomando en

cuenta las acciones de los grandes países exportadores como Brasil e Indonesia. Dada la anterior literatura se agrega esta tesis.

5. Contexto mundial del café en el periodo 2015 a 2022

A continuación, se presenta una revisión de los principales hechos económicos ocurridos en el horizonte de tiempo seleccionado para explicar los puntos en los cuales hay presencia de mayor volatilidad.

Figura 2. Producción Mundial del Café



Fuente: Elaboración propia de acuerdo con datos de la Federación Nacional de Cafeteros y La Organización Internacional de Café⁶.

Durante el año 2015 Colombia continuaba experimentando un importante crecimiento en sus producciones entre el 2014 y el 2015, a nivel mundial el porcentaje de decrecimiento fue del 2.34%. Para este año la producción de café en Colombia alcanzó los 14,2 millones de sacos, la más alta registrada desde 1992, año en el que la cosecha alcanzo 16 millones sacos según de FNC. Con este resultado se observó una disminución en las importaciones de café que en 2015 se ubicaron en 218 mil sacos, lo que representa una caída del 24% respecto a 2014. El valor de la cosecha cafetera llegó a los \$6,2 billones, 20% más que en 2014 (\$5,2 billones), incremento reflejado en un aumento del ingreso cafetero por el mayor volumen producido y a una recuperación del precio interno por la devaluación del peso (32%) FNC (2015).

⁶ Se toman como referencia 7 años de producción y sus variaciones para analizar los años con mayor y menor representación en producción de café.

La producción mundial de café del 2015 al 2016 aumentó 4% respecto al año anterior. Durante este año se pudo observar una tendencia de incremento en los precios, hasta el mes de diciembre en donde empiezan a caer significativamente, recibiendo el año 2017 con una tendencia a la baja durante casi todo este año. Para el 2016 el aumento en los niveles mundiales de producción obedeció principalmente al crecimiento en la producción de café arábico, soportada por la recuperación de países como Guatemala, Nicaragua y Costa Rica que habían sido afectados por la roya en 2014 y por el aumento del 23% en la producción de café arábico proveniente de Brasil. Del mismo modo, Colombia también registró un aumento en su producción superando nuevamente los 14 millones de sacos para este año, incremento explicado por la entrada en producción de cafetales renovados con variedades resistentes y mayor densidad de siembra.

Para el año 2017, a pesar de que Brasil durante este año tuvo pérdidas en los cultivos de café debido a las heladas, la producción mundial no dejó de crecer, aumentando con respecto al año anterior cerca del 4%, de acuerdo con datos de la ICO (International Coffee Organization). Lo anterior provocó una volatilidad en los precios mundiales del café, teniendo una tendencia decreciente de los precios.

Durante el año 2018 la producción mundial de café aumentó apenas cerca del 0.85%, en comparación con el año anterior, esto debido a las fuertes condiciones climáticas que tuvo Brasil durante los últimos años. Sin embargo, a lo largo de este año, el precio del café continuó con tendencia a la baja.

El año 2019 fue un año en que la producción anual mundial de café experimentó un incremento del 5%, alcanzando aproximadamente 172 millones de sacos. Este aumento se atribuye a Brasil, el principal productor de café a nivel global, que logró superar las condiciones climáticas adversas de años anteriores y recuperar su producción. Sin embargo, este aumento en la oferta tuvo un efecto negativo en los precios del café, que disminuyeron abruptamente, afectando a todos los países productores.

El año 2020 trajo consigo la pandemia de Covid-19 y las medidas de confinamiento asociadas que impactaron significativamente la cadena de suministro del café durante este año, generando un aumento en los costos de exportación y comercialización. Si bien, una disminución anual del 4.29% en la producción cafetera podría haber impulsado un alza en los precios, las restricciones de confinamiento también provocaron una reducción en la demanda mundial, lo que ejerció una presión bajista sobre los precios internacionales del café.

En 2021, al reanudarse las actividades económicas tras el confinamiento por la pandemia de Covid-19, la demanda de café se estabilizó y los patrones de consumo se normalizaron. Esta recuperación de la demanda, junto con el levantamiento de las restricciones y la reactivación de los canales de distribución, impulsó un aumento significativo en los precios del café a partir del segundo semestre del año.

Para el año 2022, la guerra en Ucrania generó un impacto considerable en los precios de los fertilizantes, encareciendo significativamente los costos de producción de café. Esta repercusión, a su vez, elevó los precios del grano a nivel global. Cabe destacar que la reducción del 8% en la producción mundial de café entre 2021 y 2022 también exacerbó la presión al alza sobre los precios, contribuyendo a la tendencia general de aumento.

Entre los años 2018 y 2019, los caficultores atravesaron uno de los períodos más difíciles de la última década. El precio del café internacional experimentó una caída abrupta durante este período, descendiendo cerca del 10,2%. Además, esta caída de los precios es de mayor impacto, ya que representa una disminución de los precios internacionales, cerca del 25,1% desde el año 2016. Sin embargo, el impacto en el precio interno del café colombiano representó apenas una disminución del 5,1% del año 2016 al 2019, dado que, como se mencionó con anterioridad, el precio interno es afectado por distintas variables, entre ellas la TRM, que durante el periodo 2016 al 2019, incrementó en un 7,5%, pasando de un promedio diario anual de \$3.052 pesos a \$3.282 pesos colombianos.

Durante los años 2021 y 2022, con la activación económica dada por apertura tras el confinamiento de la pandemia Covid-19 y la normalización del consumo mundial de café, tuvo una influencia positiva en los precios del contrato C, pasando por su momento más bajo en el 2019, con una cotización promedio diaria de 104 cent/USD por libra a cotizar en el año 2022, 214 cent/USD por libra, esto corresponde a un aumento del 105% de los precios internacionales. Adicionalmente, al precio interno del café tampoco le fue mal durante estos años, su incremento del año 2019 al año 2022 corresponde al 173% aproximadamente, pasando de 787.816 pesos por carga a un promedio mensual durante el año 2022 de 2.152.724 pesos. Esta situación de tendencia positiva también fue influida por la desvalorización del peso colombiano frente al dólar, ya que representó una desvalorización del 29,7%. Es decir, en el año 2019 por un dólar se pagaban 3.282 pesos colombianos en promedio y en el año 2022, por un dólar, alcanzó a pagarse 4.256 pesos colombianos en promedio. Sin embargo, cabe destacar que, aunque corresponda a un periodo de precios alto, los costos de producción también aumentaron y en este caso la devaluación tiene efectos adversos sobre materias primas como el fertilizante, ya que son productos importados y, por ende, más costosos en el mercado.

6. Metodología

6.1. Data

El presente proyecto utiliza información diaria de los precios del café del contrato C; la tasa de cambio y los precios internos del café colombiano desde el año 2015 hasta el año 2022. Con respecto a la información de los precios del contrato C se utilizarán los precios de cierre disponibles en la plataforma Yahoo Finance; para la información de la tasa de cambio se utilizará la TRM oficial de Colombia, la cual se encuentra disponible en la página oficial del Banco de la República de Colombia y, por último, la información de los precios internos del café que se encuentra disponible en la página de la Federación Nacional de Cafeteros.

6.2. Metodología

Los datos de series temporales, como el precio del café, pueden mostrar no estacionariedad en niveles. Entonces, antes de modelarlos la media y la varianza condicionales, es imprescindible aplicar una transformación que las convierta en una serie estacionaria. Una vez que la serie es estacionaria, se comienzan a explorar modelos con diferentes rezagos en los componentes autorregresivos y de medias móviles, siguiendo el algoritmo propuesto por Box & Jenkins (1970).

Ahora bien: el modelo ARIMA(p, d, q) tiene la forma general:

$$\phi(L)(1 - L)^d x_t = \theta(L)\epsilon$$

Allí, L representa el operador de rezago, $L^k(x_t) = x_{t-k}$, $\phi(L)$ es el polinomio de rezago del componente autorregresivo $\phi(L) = 1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - \dots - \phi_p L^p$, $(1 - L)^d$ el componente que representa el número de diferencias a aplicar de acuerdo con el valor que tome d , $\theta(L)$ el polinomio de rezagos para el componente de medias móviles $\theta(L) = 1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2 + \dots + \theta_q L^q$

Construcción de los Retornos para los Precios Internos del Contrato C y la TRM

En principio, se construyen los retornos para los precios internos del contrato C del Café y para la tasa de cambio representativa del mercado (T) $r_t = 100 * \log\left(\frac{p_t}{p_{t-1}}\right)$, dado que constituyen un resumen libre de escala para oportunidades de inversión,

tienen propiedades estadísticas más atractivas⁷ que los precios (Cambell, Lo, & Mackinlay, 1997) y muestran cambios en el valor en los precios de un activo que es lo que les interesa a los inversionistas. Otra razón, consiste en que en general los precios de una serie financiera son considerados una caminata aleatoria, entonces su diferencia debería constituir una secuencia de diferencia de Martingalas (Franco & Zakoian, 2019, pág. 125).

Modelación de la Volatilidad

Una vez estimado el modelo ARIMA de los retornos de los precios del contrato C y de la TRM, se aplican las pruebas de hipótesis a los residuales estandarizados, y los residuales estandarizados al cuadrado para garantizar el cumplimiento de los supuestos del modelo, esto a través de las pruebas Ljung-Box y ARCH-LIM.

La prueba de Hipótesis Ljung-Box se aplica para detectar la existencia de autocorrelación en las perturbaciones en una serie temporal. La prueba de Hipótesis Ljung-Box se desarrolla bajo el supuesto de detectar si existe autocorrelación en las perturbaciones en una serie temporal a través de los residuos. Entonces, para aplicar el contraste se define de la siguiente manera: aplicándose mínimos cuadrados ordinarios (MCO) de acuerdo con $\gamma = \chi\beta + \mu$

$$H_0 = P_1 = P_2 = \dots = P_m = 0 \nexists \text{ Autocorrelacion} \quad (1)$$

$$H_a = \exists P_i \neq 0 \quad (2)$$

Hipótesis Alternativa = Al menos 1 P_i es distinto de 0

$$LB = n(n+2) \sum_{\kappa=1}^m \frac{\hat{\rho}_{\kappa}^2}{n-\kappa} \sim \lambda^2 \quad (1)$$

Pérez (2006) valida la posible existencia de heteroscedasticidad condicional en la varianza a través de la prueba ARCH-LM⁸ sobre los residuos al cuadrado de la regresión de la media que contiene el término constante. Esta prueba estadística, ampliamente utilizada para detectar heterocedasticidad condicional autorregresiva, se basa en una regresión auxiliar. La hipótesis nula de la prueba ARCH-LM

⁷ Suelen ser débilmente estacionarios.

⁸ La prueba estadística ARCH-LM de Engle (1982) sigue siendo la prueba estándar más comúnmente aplicada para detectar heterocedasticidad condicional autorregresiva (Sjölander, 2011).

establece que no existen efectos ARCH de orden q en los residuos. Esta hipótesis se contrasta con la alternativa de que sí existe heterocedasticidad ARCH de orden q .

$$e_t^2 = \hat{\delta}_0 + \sum_{s=1}^q \hat{\delta}_s e_{t-s}^2 + v_t$$

Por lo tanto, los residuos cuadrados se regresan sobre una constante y los residuos cuadrados rezagados hasta el orden q . (Sjölander, 2011)

Para modelar la volatilidad de las series se proponen modelos de la familia GARCH, las cuales son agrupados por Hentschel (1995) que van más allá de lo propuesto por Engle (1982) y Bollerslev (1986), de tal forma que se estima el modelo general (ecuación 1) y luego se detecta una forma funcional específica, que en el caso de este estudio fueron los modelos AVGARCH y GJRGARCH.

$$\sigma_t^\lambda = \omega + \sum_{j=1}^m \zeta_j v_{j,t} + \sum_{j=1}^q \alpha_j \sigma_{t-j}^\lambda \left(|z_{t-j} - \eta_{2j}| - \eta_{1j} (z_{t-j} - \eta_{2j}) \right)^\delta + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^\lambda \quad (1)$$

El modelo general está representado por la ecuación (1), que corresponde a una “transformación Box-Cox de la desviación estándar condicional, cuya forma⁹ está definida por λ y el parámetro δ transforma la función de valor absoluto, que está sujeta a rotaciones y desplazamientos de η_{1j} , η_{2j} ” (Ghalanos, 2015, p. 9). Es así como se puede modelar la asimetría de manera flexible. En el contexto de este estudio se aplicarán Absolute Value GARCH (AVGARCH) (Schwert, 1990) y GJRGARCH (Glosten & Runkle, 1993). Por otro lado, siguiendo a Ghalanos (2015), las restricciones paramétricas para los modelos mencionados anteriormente, son:

- Absolute Value GARCH (AVGARCH) $\lambda = \delta = 1$, $|\eta_{1j}| \leq 1$
- GJR GARCH (TGARCH) $\lambda = \delta = 2$, $\eta_{2j} = 0$.

Adicionalmente, se asume que las innovaciones del modelo GARCH (z_{t-j}) siguen una distribución *t-Student asimétricas* (Hansen, 1994), dado que en el contexto de finanzas es común que los retornos presenten colas pesadas y asimetría. Dicha distribución se describe a continuación:

⁹ Concavidad o convexidad de la transformación Box-Cox de la desviación estándar condicional *Hentschel (1995)*.

$$f(z_t; \nu, \eta) = \begin{cases} bc \left(1 + \frac{1}{\nu - 2} \left(\frac{bz_t + a}{1 - \eta} \right)^2 \right)^{-\frac{(\nu+1)}{2}} & z_t < -a/b \\ bc \left(1 + \frac{1}{\nu - 2} \left(\frac{bz_t + a}{1 + \eta} \right)^2 \right)^{-\frac{(\nu+1)}{2}} & z_t \geq -a/b \end{cases} \quad (2)$$

Donde, ν representa el parámetro de grados de libertad ($2 < \nu < \infty$), η el parámetro de asimetría ($-1 < \eta < 1$), a , b y c son constantes definidas por $a = 4\eta c \left(\frac{\nu-2}{\nu-1} \right)$, $b^2 = 1 + 3\eta^2 - a^2$ y $c = \Gamma \left(\frac{\nu+1}{2} \right) / \sqrt{\pi(\nu-2)} \Gamma \left(\frac{\nu}{2} \right)$ y Γ hace referencia a la función gamma. Si $\eta = 0$ y $\nu \rightarrow \infty$, entonces la distribución t-student asimétrica converge a una distribución normal.

En general, el algoritmo de estimación sigue la metodología de Box-Jenkins (Box, Jenkins, Reinsel & Ljung, 2015): en primer lugar, se identifican modelos potenciales en media condicional (ARIMA), posteriormente se aplican pruebas de hipótesis para el comportamiento de los errores, que usualmente arrojan presencia de agrupamientos de volatilidad para series financieras. Así pues, con los errores del modelo en media condicional se estiman los modelos en varianza condicional (GARCH).

Luego de modeladas la media y la varianza, se extraen las desviaciones estándar condicionales (medidas de volatilidad) de los modelos ARMA-GARCH de los retornos del contrato C y de la TRM para explicar el comportamiento de los precios internos del café, mediante la regresión por cuantiles. La técnica fue elegida debido a que al impacto del cuantil en que se encuentren las volatilidades de los retornos C y de la TRM, pueden tener efectos potencialmente diferentes sobre los precios del café.

En ese sentido, en lugar de explorar únicamente el comportamiento en media condicional, como ocurre en la estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), es conveniente explorar diferentes secciones de la distribución condicional conjunta, que puede hacerse mediante la regresión por cuantiles (QR). Además, la regresión por cuantiles no requiere asumir una forma funcional específica para la distribución sobre los errores, es robusta a datos atípicos y la heterocedasticidad en general (Davino, Furno, & Vistocco, 2014).

Particularmente, la regresión por cuantiles estima el efecto que tiene una serie de características o variables independientes (X) sobre la variable dependiente (Y), cuando la distribución condicional de la variable dependiente se encuentra en un cuantil particular (θ), se representa por la función (Q).

$$Q_{\theta}(Y|X) = F_Y^{-1}(\theta|X) = \inf \{y: F_Y(y|X) \geq \theta\} \quad (3)$$

Adicionalmente, en el caso de una regresión por cuantiles con varias variables exógenas, puede escribirse en forma matricial:

$$\widehat{Q}_{\theta}(Y|X) = X\beta(\theta) \quad (4)$$

O en forma lineal

$$\widehat{Y} = \beta_0(\theta) + \beta_1(\theta)x_1 + \beta_2(\theta)x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (5)$$

En ese sentido, las ecuaciones (4) y (5) muestran que para cada cuantil condicional θ ($0 < \theta < 1$), existe una curva de regresión que muestra la relación de un conjunto de variables independiente (X) sobre la variable Y , cuando la variable Y se encuentra en cuantil condicional específico.

Ahora bien, si se quiere examinar el impacto de una variable independiente x_i sobre la dependiente y , cuando la función de distribución condicional se encuentra en cuantil θ , manteniendo constantes las demás variables independientes, se tiene que:

$$\beta_i(\theta) = \frac{\partial Q_{\theta}(Y|X)}{\partial x_i}$$

7. Resultados

7.1. Modelación de la volatilidad de los precios del Contrato C y de la TRM

Al iniciar el estudio, se empezó a trabajar con los precios del contrato C de café, la tasa representativa del Mercado y los precios internos del café I; sin embargo, las series no eran débilmente estacionarias, por ende, se procedió a calcular los retornos de las series, además de las razones expuestas por Cambell, Lo, & Mackinlay (1997). En ese sentido, se aplicó la prueba aumentada de Dickey Fuller Aumentada (ver tabla 2) (Dickey & Fuller, 1981), que es una generalización de la propuesta en (Dickey & Fuller, 1979). En ese sentido, se rechaza la hipótesis nula de existencia de raíces unitarias, lo que quiere decir que los retornos son estacionarios y se pueden modelar las series a través de la metodología Box- Jenkins

Por otro lado, al examinar las estadísticas descriptivas de los retornos (ver tabla 3), los retornos del precio del contrato C presentan la mayor variabilidad, seguidos por los retornos de los precios internos del café y en tercer lugar los retornos de la tasa de cambio.

Tabla 2. Prueba de hipótesis aumentada de Dickey-Fuller para los retornos.

	Estadístico de Prueba	P-valor
C	-8.833	< 0.01
TRM	-1.232	< 0.01
I	0.000	< 0.01

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Estadísticas descriptivas de los retornos de las series

	C	TRM	I
Min.	-8.833	-3.533	-8.426
1st Qu.	-1.232	-0.441	-1.070
Median	0.000	0.000	0.000
Mean	0.000	0.034	0.047
3rd Qu.	1.185	0.488	1.169
Max.	9.434	5.930	10.919
Std.Dev	1.990	0.838	1.897
Kurtosis	1.232	3.060	1.77
Skewness	0.1780	0.309	0.184
Corr(I)	0.661	0.050	1

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Estadísticas descriptivas los precios del contrato C, la TRM y interno del café (I)¹⁰

	C	TRM	I
Min.	88.16	2361	606375
1st Qu.	116.3	2938	752094
Median	128.5	3193	831063
Mean	140.5	3336	1077560
3rd Qu.	151.6	3741	1144500
Max.	258.4	5061	2530000
Std.Dev	38.50	528.527	498228.23
Kurtosis	0.673	0.3577	0.638
Skewness	1.266	0.7534	1.435

Fuente: elaboración propia

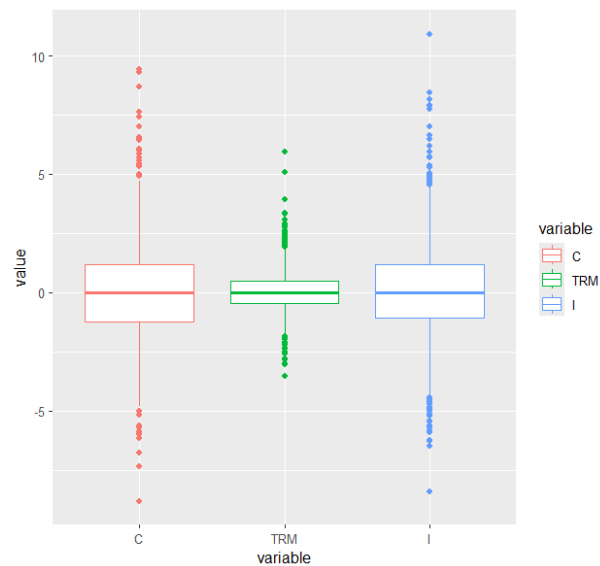
¹⁰ C= Unidad de medida Centavos de dólar/Libra.

TRM= Unidad de medida pesos colombianos.

I= Unidad de medida pesos colombianos.

De hecho, la figura 3. muestra además que los retornos de todas las series poseen datos atípicos; sin embargo, son más notorios para los retornos de los precios internos del café y del contrato C.

Figura 3. Diagramas de caja para los retornos de las series.



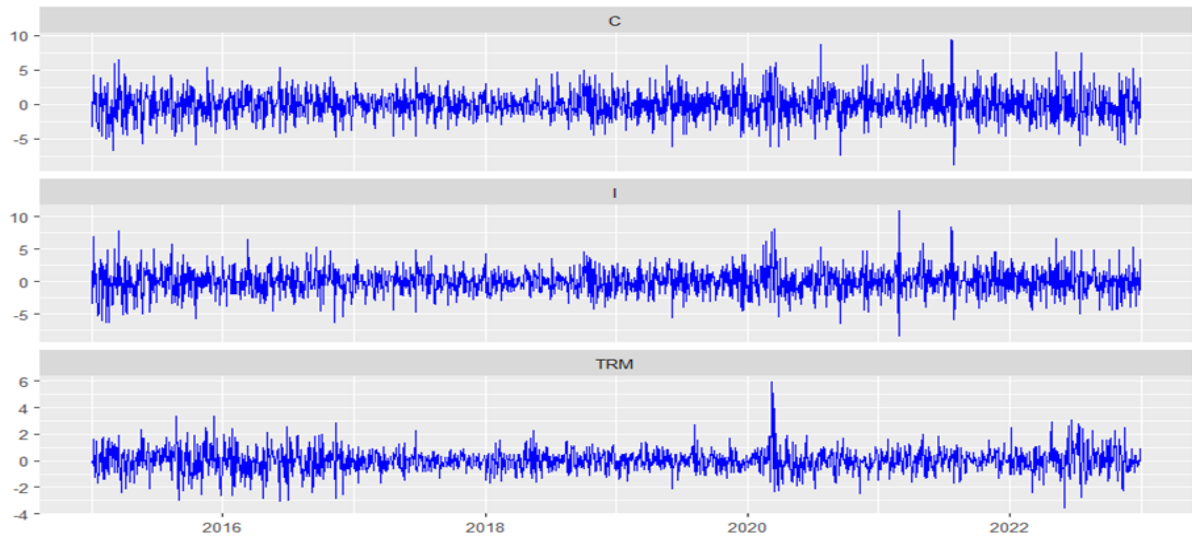
En cuanto a la asimetría positiva mostrada por las series de los retornos, señalan que el periodo 2015-2022 fueron más frecuentes con los retornos positivos que negativos¹¹, lo que significa que los pequeños aumentos en los precios ocurrieron en las series. En cuanto a la curtosis, la TRM mostró un comportamiento muy cercano a la distribución normal ($k = 3.060$) con pocos valores externos. Mientras tanto los retornos C y del precio interno I, los valores de la curtosis muestran que las densidades de los retornos poseen menos valores datos en las colas que la distribución normal.

Adicionalmente, en la tabla 3 se muestran las correlaciones de Spearman entre los retornos del contrato c del café y de la TRM con los retornos de los precios internos del café. A diferencia del coeficiente de correlación de Pearson, el coeficiente de correlación de Spearman no requiere que las funciones de distribución conjunta sean normales y permite determinar si la relación entre las variables es monótona creciente o monótona decreciente (Sprent & Smeeton, 2021). En este sentido, los retornos C y los retornos del precio interno I, presentan una relación positiva y fuerte (0.66). En el caso de los retornos de la TRM y de los precios internos, la relación es positiva, pero débil (0.05).

¹¹ De hecho, si se grafica la serie de precios de precios se observa una tendencia alcista para todas las series.

Por otro lado, La figura 4, muestra comportamiento de los retornos entre enero de 2015 y diciembre de 2022, allí se observan clústers de volatilidad, lo que da una primera impresión positiva para modelar la varianza condicional a través de un modelo GARCH.

Figura 4. Retornos de las series período 2015 - 2022



Fuente: Elaboración propia¹².

De acuerdo con la figura 4, se puede evidenciar el agrupamiento de los clusters de volatilidad, en donde se detectaron factores que influyen en la formación de los precios del café.

Posteriormente, y de acuerdo con criterio de información de Akaike (AIC), se estimaron diferentes modelos ARMA-GARCH, partiendo de la forma funcional general descrita por Hentschel (1995), para llegar a un modelo $ARMA(0,0) - AVGARCH(1,1)$ en el caso los retornos de los precios del contrato C de café y un $ARMA(2,1) - GJRGARCH(1,1)$ para el caso de la TRM, como se evidencia en la tabla 5.

¹² C: retornos de los precios del contrato C.

I: retornos del precio interno del café.

TRM: retornos de la tasa de referencia de mercado.

Tabla 5. Reporte de Estimación de modelos GARCH

Parámetro/ Empresa	C	TRM
submodelo	AVGARCH	GJRGARCH
μ	0.008 (0.034)	0.029 (0.018)
AR1	.	0.915*** (0.202)
AR2		-0.160*** (0.032)
MA12		-0.733*** (0.175)
ω	0.047 *** (0.010)	0.010* (0.005)
α_1	0.063 *** (0.009)	0.061*** (0.021)
β_1	0.923 *** (0.016)	0.919*** (0.028)
η_{11}	0.007 (0.112)	-0.242*** (0.082)
η_{21}	-0.352 *** (0.039)	NA NA
asimetría	1.052 *** (0.029)	1.030*** (0.031)
forma	10.62 *** (2.236)	7.801*** (1.220)
persistencia	0.975	0.985

Fuente: elaboración propia

En la tabla 5 se reportan los coeficientes y sus errores estándar robustos de acuerdo con (White, 1982), siendo la mayoría de los parámetros estadísticamente significativos. Por otro lado, la estimación de los modelos GARCH muestra en primer lugar efectos asimétricos en la curva de impacto de las noticias. Adicionalmente, las especificaciones del número de rezagos en las ecuaciones de media y varianza condicionales son correctas (ver tabla 6), como lo muestran los p-valores de la Prueba de Ljung-Box para los residuales estandarizados y los residuales estandarizados al cuadrado, y la prueba ARCH-LM (Fisher & Gallagher, 2012).

Tabla 6. P-Valores para las pruebas de hipótesis de diagnóstico de los errores

P-valores Prueba de Ljung-Box para el cuadrado de los Residuos Estandarizados		
Lag[1]	0.242	0.908
Lag[5]	0.055	0.775
Lag[9]	0.052	0.778

P-valores Prueba ARCH-LM para el cuadrado de los Residuos Estandarizados		
ARCH Lag[3]	0.124	0.898
ARCH Lag[5]	0.065	0.992
ARCH Lag[7]	0.088	0.823

Fuente: elaboración propia

Sumado a ello, ni el modelo, ni sus parámetros son inestables, puesto que en las pruebas de hipótesis de Nyblom (1989), no hay evidencia de inestabilidad (ver tabla 7). De acuerdo con la prueba de bondad de ajuste para la distribución de los errores del modelo, no hay evidencia empírica para rechazar la hipótesis de que las innovaciones siguen una distribución *t-Student asimétrica*.

Tabla 7. Prueba de estabilidad de Nyblom para los parámetros del modelo GARCH

Parámetro	C	TRM
μ	0.060	0.026
$ar1$.	0.052
$Ar1$.	0.126
$AR(2)$.	0.126
$Ma1$.	0.039
ω	0.580	0.122
α_1	0.509	0.300
β_1	0.523	0.391
η_{11}	0.245	0.096
η_{21}	0.217	0.489
asimetría	0.797	0.489
forma	0.157	0.259
Conjunto	2.1232	2.526

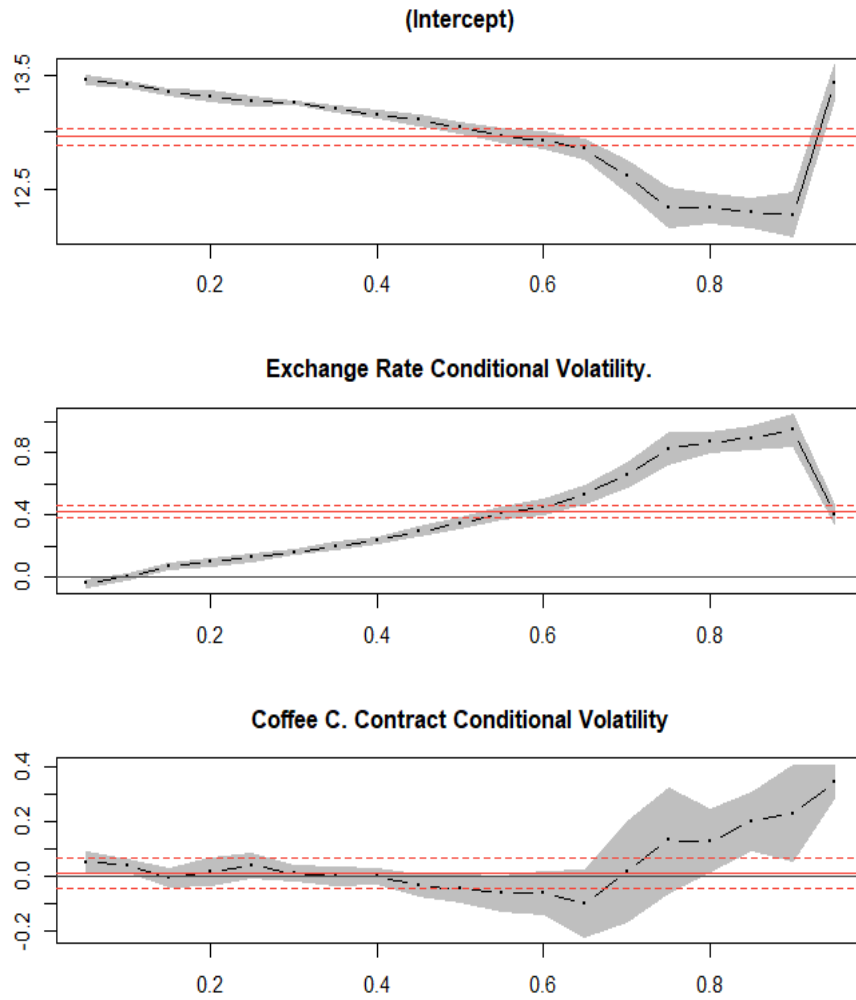
Fuente: elaboración propia.

El valor crítico para el estadístico individual, a un nivel de confianza del 99 % corresponde a 0.75, para el estadístico conjunto el valor corresponde a 3.05 para el modelo C y 2.6 para el modelo TRM.

7.2. Modelo de regresión por cuantiles

Al estar correctamente estimados los modelos ARMA-GARCH, se procede a extraer la desviación estándar condicional como medida de la volatilidad de los retornos de los precios de los contratos C del café y de la TRM, para determinar su impacto en el logaritmo de los precios internos del café. En ese sentido, se realizó una regresión por cuantiles de los precios internos del café en función de la volatilidad condicional de los retornos de los contratos C y de la TRM, los cuantiles escogidos van del 0.05 hasta el 0.95 cada 0.05. De acuerdo con la gráfica 2, la línea continua roja representa el parámetro estimado por mínimos cuadrados ordinarios y las líneas punteadas del mismo color sus intervalos de confianza. Los puntos negros representan el valor de los parámetros (eje y) de acuerdo con un cuantil condicional específico (eje x) y las áreas grises son los intervalos de confianza generados por bootstrapping para los estimadores de la regresión por cuantiles.

Figura 5. Parámetros estimados para el efecto de la volatilidad de los retornos de los contratos C y TRM en logaritmo de los precios internos del café para los cuantiles 0.05



Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Regresión por cuantiles entre el logaritmo de los precios del café en función de las volatilidades condicionales de los retornos del contrato C y de la TRM.

Quantile Regression Results (0.05 to 0.95)												
Dependent variable:												
logprice I												
Cuantil	$\theta=0.05$	$\theta=0.1$	$\theta=0.2$	$\theta=0.3$	$\theta=0.4$	$\theta=0.5$	$\theta=0.6$	$\theta=0.7$	$\theta=0.8$	$\theta=0.85$	$\theta=0.9$	$\theta=0.95$
IsigmaT	-0.04*** (0.01)	0.004 (0.01)	0.10*** (0.02)	0.16*** (0.01)	0.24*** (0.01)	0.35*** (0.01)	0.45*** (0.02)	0.64*** (0.04)	0.87*** (0.04)	0.90*** (0.04)	0.95*** (0.06)	0.42*** (0.04)
IsigmaC	0.06*** (0.02)	0.04** (0.02)	0.02 (0.02)	0.01 (0.01)	0.003 (0.02)	-0.05** (0.02)	-0.06** (0.03)	0.03 (0.05)	0.15*** (0.05)	0.19*** (0.05)	0.28*** (0.09)	0.32*** (0.06)
Constant	13.46*** (0.02)	13.43*** (0.02)	13.32*** (0.03)	13.26*** (0.02)	13.16*** (0.02)	13.05*** (0.03)	12.94*** (0.03)	12.64*** (0.07)	12.32*** (0.07)	12.29*** (0.07)	12.24*** (0.12)	13.44*** (0.08)
Observations	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013
Note:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01											

Fuente: Elaboración propia

Los efectos de la volatilidad condicional de los retornos del contrato C, en el logaritmo interno del café no son estadísticamente significativos para la mayor parte de la distribución del logaritmo de los precios internos del café. Únicamente para los cuantiles $\theta = \{0.8, 0.85, 0.9, 0.95\}$, es decir, los efectos de la volatilidad de los contratos C son más notorios cuando los precios internos del café se encuentran altos.

Ahora bien: los parámetros de pendiente $\beta_2(\theta)$ que muestran el impacto de un incremento de una unidad de la volatilidad condicional de los retornos del contrato C en los precios internos del café en la mayoría de los cuantiles $\theta = \{0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.75, 0.85, 0.9, 0.95\}$. Sin embargo, se enfatizará en dos casos extremos (cuantil 0.05 y 0.95) y uno medio (cuantil 0.5) son de $\beta_2(\theta)^{13} = \{0.06, -0.05, 0.32\}$, es decir, al ser un modelo Log-Nivel muestra que los precios internos del café aumentan 6.18 %, -4.88 %, % y 37.71 % ante un incremento unitario de la volatilidad condicional de los contratos C, cuando la distribución condicional de los retornos del precio interno del café se encuentra en los cuantiles 0.05, 0.5 y 0.95, respectivamente.

En contraste, el impacto de la volatilidad de los retornos de la TRM sobre el logaritmo de los precios internos del café es estadísticamente significativo para todos los cuantiles, a excepción del 0.10. Muestra además una dinámica no lineal. Particularmente, y para resumir los efectos a situaciones extremas (cuantil 0.05 y

¹³ Es importante señalar que, si bien una primera aproximación a la interpretación de un coeficiente de pendiente en un modelo log-nivel, se puede operar así $\Delta y\% = 100 * \beta_i * \Delta x_i$, si el estimador de pendiente es mayor a 0.15 es más preciso realizar $\Delta y\% = 100 * (e^{\beta_i} - 1) \Delta x_i$. En este trabajo, se sigue la segunda aproximación y se toma $\Delta x_i = 1$

0.95) y en un caso medio (cuantil 0.5) se interpretan los únicamente los estimadores de pendiente que relacionan la TRM y el logaritmo de los precios internos del café para los cuantiles mencionados $\beta_1(\theta) = \{-0.004, 0.35, 0.42\}$.

Por lo que si la distribución condicional de los precios del café se encuentra en el percentil 0.05, los precios internos del café se reducen en 0.399% cuando la volatilidad de la TRM aumenta en una unidad. Por otro lado, si la distribución condicional de los precios del café se encuentra en la mediana, un aumento unitario de la volatilidad de la TRM genera un aumento de del 41.9% en los precios internos del café y; finalmente, si la distribución condicional de los precios internos del café se encuentra en el cuantil 0.95, un incremento unitario de la volatilidad de la TRM genera un incremento del 52.2 % en el precio interno del café.

Figura 6. Parámetros estimados para el efecto de la volatilidad de los retornos de los contratos C y TRM en los retornos del precio internos del café para los cuantiles 0.05

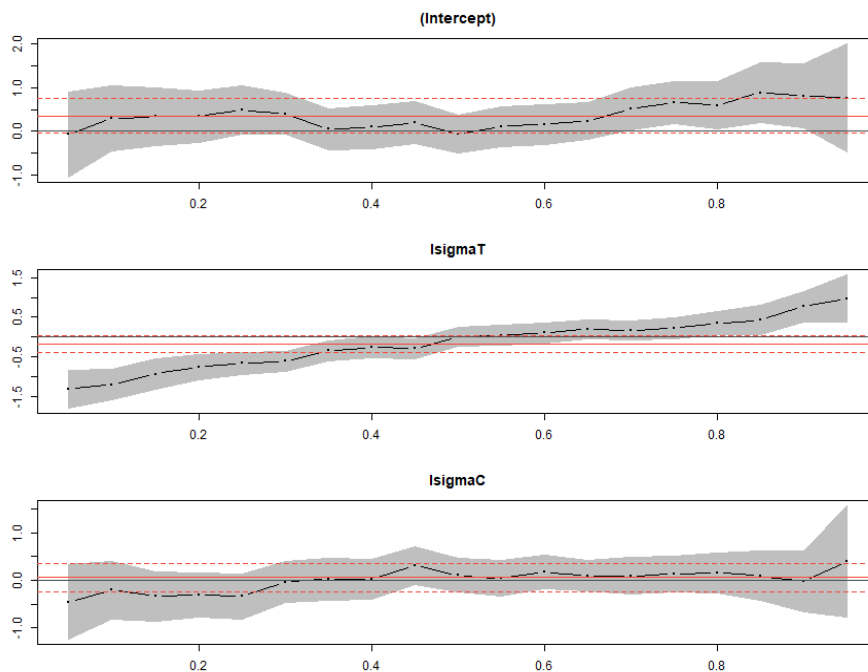


Tabla 9. Regresión por cuantiles de los retornos del precio interno del café en función de las volatilidades condicionales de los retornos del contrato C y de la TRM.

Quantile Regression Results (0.05 to 0.95)												
Dependent variable:												
I												
Cuantil	$\theta=0.05$	$\theta=0.1$	$\theta=0.2$	$\theta=0.3$	$\theta=0.4$	$\theta=0.5$	$\theta=0.6$	$\theta=0.7$	$\theta=0.8$	$\theta=0.85$	$\theta=0.9$	$\theta=0.95$
lsigmaT	-1.32***	-1.21***	-0.76***	-0.62***	-0.26	-0.002	0.11	0.16	0.34***	0.43**	0.76***	0.97**
	(0.34)	(0.20)	(0.18)	(0.12)	(0.17)	(0.11)	(0.15)	(0.14)	(0.12)	(0.19)	(0.22)	(0.41)
lsigmaC	-0.45	-0.21	-0.31	-0.03	0.02	0.11	0.17	0.09	0.17	0.09	-0.02	0.40
	(0.48)	(0.29)	(0.26)	(0.17)	(0.24)	(0.15)	(0.20)	(0.20)	(0.17)	(0.27)	(0.31)	(0.58)
Constant	-0.07	0.30	0.34	0.40*	0.10	-0.07	0.16	0.51*	0.60***	0.89**	0.82**	0.77
	(0.64)	(0.38)	(0.34)	(0.23)	(0.32)	(0.20)	(0.27)	(0.27)	(0.23)	(0.36)	(0.41)	(0.77)
Observations	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013	2,013

Note:

* $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$

Fuente: Elaboracion propia

Una pregunta que puede surgir de manera natural es: ¿cómo afecta la volatilidad condicional de los retornos de los contratos C y la TRM a los retornos de los precios internos del café? Al realizar una regresión por cuantiles (ver figura 6), se observa el efecto de la volatilidad condicional de los retornos del contrato C, no es estadísticamente para los cuantiles examinados del cuantil 0.45 donde $\beta(0.45) = 0.31$, es decir¹⁴, cuando la distribución condicional de los retornos del precio interno del café se encuentra en el percentil 0.45, un aumento unitario de la volatilidad condicional de los contratos C genera un incremento del 0.31%.

En cuanto al efecto de la volatilidad condicional de la TRM sobre los retornos del precio interno, es estadísticamente significativo para todos los cuantiles examinados en este estudio. Aquí, nuevamente se examinan dos situaciones extremas (cuantil 0.05 y 0.95) y en un caso medio (cuantil 0.5), lo que nos genera los estimadores $\beta_1(\theta) = \{-1.32, -0.002, 0.97\}$. En ese sentido, un aumento unitario de la volatilidad condicional de la TRM genera un aumento de -1.32%, -0.002% y de 0.97%, cuando la distribución condicional de los retornos se encuentra en los cuantiles 0.05, 0.5 y 0.95.

¹⁴ En la Segunda regresión, los retornos están (variable dependiente están expresados como variación porcentual de los precios internos del café) y las explicativas como las volatilidades condicionales de los retornos del contrato C y de la TRM. En consecuencia, no se le aplica ninguna transformación a los estimadores de pendiente para su interpretación.

7.3. Alternativas que mitiguen el riesgo de mercado al que se ven expuestos los caficultores colombianos por los movimientos en la TRM y los precios del contrato c

En esta sección se presentan las alternativas que se consideraron como las más representativas para mitigar el riesgo de mercado al que se ven expuestos los caficultores colombianos. Se presentan 4 alternativas, las cuales son:

- Mecanismos de Protección del Ingreso del Caficultor, presentado por la Federación Nacional de Cafeteros.
- Diversificación de Cultivos.
- Cafés de Especialidad.
- Mayor Participación en la Cadena de Valor del Café.

Mecanismos de Protección del Ingreso del Caficultor, presentado por la Federación Nacional de Cafeteros

En el 2015 la Federación Nacional de Cafeteros desarrolló unos mecanismos financieros de protección al ingreso del caficultor para salvaguardarse ante futuras caídas del precio interno o, por el contrario, tomar ventaja sobre sus expectativas de tendencia al alza. Este mecanismo, como su nombre lo indica, busca proteger el ingreso del caficultor. Adicionalmente es el caficultor quien decide qué tipo de contrato utilizar y a qué nivel cubrirse (FNC, 2015).

Los mecanismos se presentan a continuación:

Contrato de protección de precio: es un mecanismo que permite escoger un precio mínimo por carga de café aún no cosechado. Se utiliza para cubrir el riesgo de exposición ante posibles caídas del mercado.

Características:

- Se debe pagar una prima por protección, la cual no es reembolsable.
- Protección mínima de una carga de café y máximo 50 cargas de café por mes.
- Se negocia para proteger el precio de venta de café entre dos y 5 meses.
- Se hace efectivo cuando el precio real de venta es inferior al precio de protección escogido por el caficultor. Cuando ocurre lo contrario no hay lugar a compensación ni reembolsos por la protección pagada.
- Se determina entre la diferencia del PPE y el máximo entre el precio índice y precio real de venta.

Precio Protección Escogido (PPE): el valor que el caficultor escoge para cubrir el precio de la carga de café.

Precio Índice (PI): el valor promedio que tiene la carga de café durante el mes que el caficultor escogió cubrir.

Precio Real de Venta (PRV): el precio que se paga por la carga de café el día que se negocia el contrato.

Precio determinable: a través de este mecanismo el productor puede fijar el precio del café vendido hasta 30 días después de la negociación.

Características:

- No tiene pagos de prima.
- El caficultor tiene hasta 10 días después de la negociación del contrato para entregar su café.
- El día de entrega de café, el caficultor recibirá el 50% del precio publicado en esa fecha.
- El productor tiene 30 días para fijar el precio del café entregado. Si el productor no lo fija, se fijará automáticamente el precio del día 30.
- Este mecanismo se utiliza cuando existe una expectativa de incremento en el precio internacional.
- Disminuye el riesgo por pérdida de almacenamiento.

Venta con Participación: a través de este mecanismo el caficultor vende su café y permite que participe en los posibles incrementos en el precio internacional de café. Se utiliza cuando los precios tienden al alza.

Características:

- Se debe pagar una prima. Tiene 3 días hábiles después de la firma del contrato para realizar el pago de esta.
- El caficultor negocia su café como lo hace normalmente. En el momento del contrato decide a qué tiempo quiere negociar su participación (dos meses máximos) y a qué nivel de precio internacional quiere participar con su venta con participación.
- Se liquida en la fecha que haya escogido el productor o la última fecha hábil del segundo mes.
- Se determina cuando el precio internacional supera el nivel escogido en la participación.

Entregas Futuras: Este mecanismo permite fijar el precio de las cargas del café hasta por 12 meses en el futuro, es decir que en este contrato se fija el precio de las entregas futuras de café.

Características:

- No tiene costo de prima.
- Se utiliza cuando la expectativa de precio tiene tendencia a la baja.
- Se negocia hasta máximo 12 meses.

Los anteriores mecanismos se presentan como alternativa para mitigar los riesgos asociados a la producción y comercialización del café, brindando estabilidad y previsibilidad a los ingresos de los caficultores. Cabe mencionar que la capacitación al pequeño caficultor sigue siendo uno de los retos más significativos para estos planes estratégicos presentados por la FNC, ya que cada vez hay una población más reducida de caficultores de edad avanzada, que en su mayoría desconocen las oportunidades de estos planes de protección.

Al empoderar a los productores con conocimiento y herramientas para gestionar el riesgo de precios, se contribuye a la estabilidad económica y social de las comunidades caficultoras y se promueve la sostenibilidad de la caficultura en el país.

Diversificación de Cultivos de Café

La Asociación Nacional Del Café (ANACAFE) para Guatemala, menciona en una de sus presentaciones sobre diversificación de ingresos y generación de valor agregado, que “en la producción de café, la diversificación comprende la introducción de nuevos productos en la finca o empresa para que el café no sea la única fuente económica para el productor” (ANACAFE, s.f.). Se entiende entonces que el escenario de la caficultura toma rumbos constantes de incertidumbre, en donde las fluctuaciones de precios altos, costos de producción, políticas públicas, cambio climático y repunte de plagas y enfermedades, entre otros, son factores alerta para adentrarse a alternativas que permitan mitigar el riesgo de pérdida económica moderada o total en una cosecha de café para un pequeño caficultor. De este modo, es menester mencionar que se puede optar por la diversificación relacionada (dentro de la actividad cafetera) o diversificación no relacionada (fuera de la actividad cafetera), para el desarrollo del presente apartado se trabajará bajo el supuesto de diversificación relacionada, intercalando otros cultivos con el cultivo de café.

En el mercado mundial de alimentos, el café tiene gran relevancia por la cantidad de transacciones que alcanza año a año, así como por el número de agricultores que lo producen (Ramírez & Juárez, 2008). Al respecto, las plantaciones de café de los países en vía de desarrollo como Colombia, en su mayoría son explotadas por pequeños propietarios, lo cual se relaciona con lo mencionado por Bungereoth, “El 70% del café que se produce a escala mundial se cultiva en superficies menores de 10 hectáreas; y de estas, la gran mayoría se cultiva en terrenos de 1 a 5 hectáreas” (Bungereoth, 2004). En un estudio realizado por Lozano (2007) para La Federación Nacional de Cafeteros se expone que los pequeños caficultores en promedio poseen predios menores a 2,1 hectáreas, los medianos presentan tamaños entre 2,11 y 6,89 hectáreas, los grandes tienen extensiones mayores a 7 hectáreas.

Se entiende entonces que la participación del pequeño caficultor en la producción nacional y a escala internacional es significativa, lo cual supone debe ser para el mismo una ventaja en los beneficios obtenidos; sin embargo, la realidad que prevalece es otra, ya que, como la mayoría de los productos agrícolas, el café tiene ciclos de caídas en sus precios, temporadas de recuperación y bonanzas, generalmente muy cortas, cuyos

beneficios no llegan de manera equitativa a todos los caficultores. En efecto la situación del pequeño caficultor decanta en tener pocas alternativas económicas al no obtener los beneficios esperados de su cosecha, optando por la migración o venta de tierra entre otros (Ramírez & Juárez, 2008).

De acuerdo con lo anterior, la diversificación de cultivos se presenta como una de las alternativas que pueden evitar que los pequeños caficultores abandonen el sector cafetero, así como lograr mitigar el riesgo al que están expuestos ante una pérdida económica en el cultivo de café. Poncet et al. (2024) corroboran lo anterior, mencionando que la diversificación de cultivos mediante la inserción de cultivos intercalados y prácticas agroforestales promueve una mayor resiliencia ecológica y la conservación de la biodiversidad, lo que hace frente al cambio climático y a la resiliencia de las condiciones de vida de los pequeños agricultores a través de una mayor seguridad alimentaria y una menor sensibilidad a la volatilidad del mercado.

La diversificación de cultivos debe entenderse desde la perspectiva técnica agronómica, para no afectar de manera negativa el suelo ni el cultivo de café. Por lo anterior se tomaron como referencia estudios de CENICAFE, los cuales dan instrucción técnica de manera precisa sobre cómo intercalar los cultivos transitorios con el cultivo de café.

Una importante parte de la caficultura colombiana se encuentra establecida en suelos derivados de cenizas volcánicas, de fertilidad media pero bastante frágiles, lo cual exige un manejo técnico adecuado para su explotación sostenible (Moreno & Rivera, 2003). El cultivo de café al diversificarse con otros cultivos, comúnmente con cultivos transitorios como el frijol, maíz, tomate y yuca, entre otros, puede provocar la erosión del suelo; pero esta afectación no es por culpa del cultivo en sí, sino por el tratamiento que se le da al suelo en las diferentes etapas de la siembra, como plantación, desarrollo y cosecha.

“La producción continua de maíz, frijol y tomate de mesa intercalados con café; tanto en siembras nuevas como en cafetales renovados por zoqueo, permite reducir los costos de producción de café y generar otros ingresos sin afectar la producción de éste” CENICAFE (2003). Es importante destacar que los cultivos transitorios normalmente se siembran en el inicio o etapa desarrollo del café, por lo general hasta la primera cosecha. Esta es una práctica muy común en los pequeños caficultores. El plátano y el banano se siembran con el café en barreras, lo que significa que se puede sembrar desde cualquier edad del cultivo (desde desarrollo hasta todo el ciclo productivo), esta práctica la mantienen desde los grandes, medianos y pequeños caficultores.

Poncet et al.(2024), en su artículo, hacen un análisis de la producción de café vietnamita, resaltando que se lleva a cabo predominantemente en pequeñas fincas cafetaleras, quienes enfrentan diversos desafíos como cafetos envejecidos, producción fragmentada y los efectos del cambio climático en los monocultivos de café generalizados; haciendo frente a esto, algunos agricultores ya están convirtiendo sus granjas convencionales en granjas orgánicas, donde ya se están implementado técnicas agrícolas regenerativas por razones tanto ambientales como económicas, esto permite la transición de monocultivos

a sistemas de policultivos con la introducción de árboles frutales rentables como el durián.

Otro caso en el que el caficultor considera otras opciones para mejorar sus condiciones de vida es el presentado por Ramírez & Juárez (2008), concluyendo que los caficultores optan por diversificar las plantaciones incorporando nuevos cultivos como vainilla, bambú y árboles maderables (Nogal, Guayacán rosado o roble). Sobre este último se debe prestar especial atención por los efectos sombra que generan las especies forestales para ser aprovechadas como madera, pues si se produce demasiado sombrío al cafetal se disminuye la producción; por tanto, la recomendación a la hora de sembrar árboles maderables es que el sombrío no supere el 40%.

Cafés de especialidad

La asociación de cafés especiales, SCA, por sus siglas en inglés, define que “el café de especialidad es un café, o una experiencia alrededor del café, reconocido por sus atributos distintivos, y debido a estos atributos distintivos es que tiene un valor adicional significativo en el mercado” (p. 10. 2021) y según FNC estos cafés se “diferencian por sus características de origen, preparación o sostenibilidad en su producción” (FNC, s.f).

Los pequeños caficultores presentan una tendencia al desconocimiento sobre el desarrollo de su cultivo, esto también es explicado por la falta de información sobre las metodologías y requisitos para alcanzar un café de calidad o especial con su respectiva certificación. Según la Federación Nacional de Cafeteros, Colombia es el tercer productor más grande mundialmente con 11.4 millones de sacos de 60 kg exportados, generando ingresos para 540 mil familias (alrededor de 658 mil fincas), donde se estima hay cultivadas más de 842 mil hectáreas, la mayoría sembradas con la variedad arábica, siendo esta de las más afectadas por la fluctuación de los precios, explicado por su gran participación en el mercado nacional e internacional (60%).

De acuerdo con lo anterior, los cafés de especialidad juegan un papel crucial en la reducción del riesgo que enfrentan los caficultores ante las fluctuaciones del precio en los mercados internacionales. A diferencia del café comercializado en grandes volúmenes y basado en commodities, los cafés de especialidad se caracterizan por su alta calidad; por su origen; por características únicas y diferenciadas. Sin embargo, lograr un café de calidad supone adentrarse en procesos rigurosos y de alto costo, ya que se debe contar con ciertas características que van desde tener los cuidados que requiere un cultivo (fertilización, control de plagas y malezas), infraestructura adecuada para su beneficio y acceso a herramientas tecnológicas apropiadas para la producción y procesamiento de este tipo de cafés. En otras palabras, se requiere de inversión para el mejoramiento del proceso de producción del café, pero los pequeños productores apenas tienen acceso a opciones de crédito. Como lo indica el banco mundial, los pequeños agricultores tienen poco o ningún acceso al crédito formal, limitando su capacidad para invertir en tecnologías e insumos que necesitan para aumentar sus ingresos (Banco Mundial, 2014).

La incorporación de cafés especiales por parte de los pequeños caficultores permite diferentes beneficios, entre los más importantes está lograr una organización y el control de los actores que participan de la cadena de valor, todo desde un enfoque de sostenibilidad y rentabilidad; además, por sus características en taza, el café colombiano es uno de los más demandados en países desarrollados que están dispuestos a pagar un mayor precio por una mejor experiencia sensorial. Según los estudios realizados por Peñuela, Duque y Dussán (2007) se identificó que los ingresos de los caficultores en Riosucio, Caldas, incrementaron entre el 8% y 39% debido a la venta de café de especialidad “La vereda”, permitiendo mejorar el nivel de escolaridad de los hijos de los caficultores y la calidad de sus viviendas.

Mayor Participación en la Cadena de Valor del Café.

Según Jiménez y Tabares (2018), en la cadena de valor del café intervienen varios agentes del mercado. El primero es el caficultor, quién garantiza una producción de café según su capacidad. El segundo agente son las exportadoras, quienes se encargan de la comercialización del café en el extranjero. El tercero son las empresas torrefactoras, encargadas de la adecuación del grano (descascarado, tueste y molienda). Por último, está el consumidor final.

Según varias fuentes el caficultor solo recibe entre 0,92USD y 1.5USD por libra vendida en el exterior, siendo apenas el 6% del producto final, sin contar que en Estados Unidos cada taza de café vendida oscila entre 6USD y 7USD. En un artículo presentado por Narváez & Vargas, 2007 se confirma este hecho, pues se expone que,

pese a los bajos precios del grano, el precio de la libra de café en las estanterías de los supermercados del mundo baja muy poco o en efecto no baja; lo anterior se explica porque esa gran diferencia entre el precio que se le pagaba al productor antes de la crisis y el actual -cerca de un 40% menos- se está quedando en manos de los comercializadores y principalmente en las de las tostadoras (Narváez & Vargas, 2007).

De acuerdo con lo anterior, se requiere mayor transparencia en las transacciones de café para garantizar que los caficultores reciban un precio justo por su producto y según Mohan (2007), las políticas de los países deben estar dirigidas para que los productores se integren verticalmente en la cadena de valor para disminuir los riesgos asociados a la venta del café.

Es necesario entonces que el caficultor se integre mayormente a la cadena de valor, buscando estrategias para llegar a los consumidores finales, ya sea vendiendo su café directamente a las tiendas de cafés especializados o a los consumidores finales, para esto es necesario fortalecer sus redes de contacto, mejorar la participación en las asociaciones e integrarse en los procesos de adecuación del grano para su consumo final.

8. Conclusiones y Recomendaciones

En este estudio se aplicaron modelos de la familia ARMA-GARCH, siguiendo la metodología establecida por Schwert (1990) y Glosten & Runkle (1993) para analizar los determinantes de la volatilidad del precio interno del café. Los modelos utilizados demostraron ser efectivos para capturar la dinámica compleja de la volatilidad, incorporando el efecto de apalancamiento y la asimetría en el proceso de modelización.

La regresión por cuantiles mostró que los efectos de la volatilidad condicional de los retornos del contrato C no son estadísticamente significativos en la mayor parte de la distribución de los precios internos del café, excepto en los cuantiles más altos ($\theta = \{0.8, 0.85, 0.9, 0.95\}$), donde se observa un impacto positivo. Por otro lado, la volatilidad de la TRM tiene un impacto estadísticamente significativo en los precios internos del café para todos los cuantiles, excepto en el $\theta = 0.1$. Además, se observa una relación no lineal entre la TRM y los precios internos del café. Esto sugiere que los cambios en la TRM pueden tener un efecto más pronunciado en los precios internos del café, que los cambios en la volatilidad de los contratos C.

La tesis ofrece una contribución significativa al campo de estudio al abordar la volatilidad de precios en activos agrícolas, particularmente en el contexto del café, y su impacto en los pequeños caficultores. Ante esta realidad, se proponen cuatro alternativas para mitigar el impacto de la volatilidad: los "Mecanismos de Protección del Ingreso del Caficultor" propuestos por la Federación Nacional de Cafeteros, la diversificación de cultivos como estrategia de sostenibilidad económica y ambiental, los desafíos para acceder al mercado de café de especialidad debido a limitaciones económicas y de capacitación, y la necesidad de mayor transparencia en la cadena de valor del café para garantizar precios justos para los caficultores.

Basándonos en los resultados y análisis presentados en la tesis, se pueden formular diversas recomendaciones para futuras investigaciones y acciones orientadas a abordar el impacto de la volatilidad de precios en el café y su efecto en los pequeños caficultores. En primer lugar, se sugiere continuar utilizando y refinando modelos como ARMA-GARCH, que han demostrado ser efectivos para capturar la compleja dinámica de la volatilidad del precio interno del café. Además, se recomienda ampliar el alcance de la regresión por cuantiles para explorar más a fondo los efectos de la volatilidad en diferentes puntos de la distribución de precios. En cuanto a las alternativas propuestas para mitigar el impacto de la volatilidad, se insta a validar y fortalecer estas propuestas mediante estudios adicionales y la colaboración con organizaciones relevantes del sector cafetalero. Al mismo tiempo, se alienta a explorar nuevas estrategias de mitigación, como programas de seguros agrícolas adaptados y proyectos de desarrollo de capacidades. Finalmente, se destaca la importancia de fomentar la colaboración interdisciplinaria para abordar de manera integral este desafío, involucrando a expertos en economía agrícola, desarrollo rural y políticas públicas, entre otros. Estas recomendaciones proporcionan una guía valiosa para futuras investigaciones y acciones destinadas a mejorar la resiliencia y el bienestar de los pequeños caficultores frente a la volatilidad de precios en el mercado del café.

La importancia de modelar la volatilidad del precio interno del café radica en que es una fuente de información que permite al gremio tener una guía del rango en el que se puede mover el precio y tomar decisiones bajo riesgo o posiblemente reducir ese riesgo de dichas variaciones. En esta última parte se plantean estrategias de mitigación del riesgo de mercado, que, aunque ya están direccionadas, su ejecución y aplicación es muy reducida, al ser alcanzadas mayormente por los grandes productores, y en menor medida por los pequeños caficultores; esto se explica por factores como la edad avanzada, el desconocimiento y la falta de capacitación.

Bibliografía

- Abebe, T. H. (2020). Modeling time-varying coffee price volatility in Ethiopia. *Journal of Applied Economics*, 23(1), 497–518. <https://doi.org/10.1080/15140326.2020.1804304>
- Aliaga, J., Mora-García, C. & Mulder, N. (2021). Speculation and price volatility in the coffee market. www.cepal.org/apps
- ANACAFE. (s.f). Diversificación de ingresos y generación de valor agregado.
- Arias, F., Ruiz, A., Londoño, J. (2018). Análisis del mercado de cafés especiales y el posicionamiento colombiano en las nuevas tendencias mundiales. *Journal of Research, Education and Society*, 1(1). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27561.90727>
- Banco Mundial. (2014). *Access to Finance for Smallholder Farmers*. www.ifc.org
- Bungeroth, Annie (2004). *la crisis del café*. Oxfam.
- Cambell, J. Y., Lo, A. W., & Mackinlay, A. C. (1997). *The Econometrics of Financial Markets*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Castaño, E., Gómez, K. & Gallón, S. (2008). Pronóstico y estructuras de volatilidad multiperiodo de la tasa de cambio del peso colombiano. *Cuadernos de Economía*, vol. 27, núm. 48.
- CEPAL. (1990). Análisis de la situación del mercado del café ante la eliminación de las cláusulas económicas del Convenio Internacional del café y sus repercusiones en Centroamérica. CEPAL.
- CEPAL/FAO/IICA. (2011). Volatilidad de precios en los mercados agrícolas (2000-2010): implicaciones para América Latina y opciones de políticas. *Perspectivas de La Agricultura y Del Desarrollo Rural En Las Américas: Una Mirada Hacia América Latina y El Caribe*.
- Chalarca, J. (1976). *El café, cultivo e industria*. Bogotá: Acción Cultural Popular; Editora Dosmil.
- Chaovanapoonphol, Y., Singvejsakul, J. & Wiboonpongse, A. (2023). Analysis of Exogenous Factors to Thailand Coffee Price Volatility: Using Multiple Exogenous Bayesian GARCH-X Model. *Agriculture (Switzerland)*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/agriculture13101973>

- Crespo Cuaresma, J., Hlouskova, J. & Obersteiner, M. (2018). Fundamentals, speculation or macroeconomic conditions? Modelling and forecasting Arabica coffee prices. *European Review of Agricultural Economics*, 45(4). <https://doi.org/10.1093/erae/jby010>
- Davino, C., Furno, M. & Vistocco, D. (2014). *Quantile regression theory and applications*. London: John Wiley & Sons, Ltd.
- De Fontenay, P. & Leung, S. (2002). International and Development Economics analyzing Commodity Price Fluctuations in Vietnam's Coffee Industry Managing Commodity Price Fluctuations in Vietnam's Coffee Industry. <http://apseg.anu.edu.au>
- Díaz Restrepo, C. A. & Redondo Ramírez, M. I. (2019). Eficiencia del forward como instrumento de cobertura del riesgo cambiario en las empresas que realizan operaciones de comercio exterior, 2011-2017. *Semestre Económico*, 22(51), 45–62. <https://doi.org/10.22395/seec.v22n51a3>
- Dickey, D. & Fuller, W. (1979). Distribution of the estimators of autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*.
- Dickey, D. & Fuller, W. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*.
- Dopporto Miguez, I., & Michelena, G. (2011). La volatilidad de los precios de los commodities: el caso de los productos agrícolas. *Revista Del CEI*, 19.
- Echavarría, J. J., Esguerra, P., McAllister, D. & Robayo, C. F. (2015). Informe de la misión de estudios para la competitividad de la caficultura en Colombia. Resumen ejecutivo. Documento.
- Engle, R. F., & Patton, A. J. (2007). What good is a volatility model? <http://www.tandf.co.uk/journals>
- Federación Nacional de Cafeteros. (s.f.). ¿Cuáles son las variables que conforman el precio del café? <https://federaciondefcafeteros.org/wp/servicios-al-caficultor/aprenda-a-vender-su-cafe/>
- Federación Nacional de Cafeteros. (2015). El cafetero exitoso le pone precio a su cosecha. Mecanismos de protección al ingreso. <https://federaciondefcafeteros.org/static/files/MecanismosProteccionSept2015.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros. (2022). Informe de Gestión 2022. <https://doi.org/10.38141/10793/2022>
- Fisher, T. J., & Gallagher, C. M. (2012). New weighted portmanteau statistics for time series goodness of fit testing. *Journal of the American Statistical Association*, 777-787.
- Forero Álvarez, J. (2010). Colombian family farmers adaptations to new conditions in the world coffee market. *Latin American Perspectives*, 37(2), 93–110. <https://doi.org/10.1177/0094582X09356960>
- Foroni, B., Morelli, G. & Petrella, L. (2022). The network of commodity risk. *Energy Systems*. <https://doi.org/10.1007/s12667-022-00530-7>

- Franco, C. & Zakoian, J.-M. (2019). GARCH models structure, statistical inference and financial applications (Second ed.). Jhon Wiley & Sons.
- Ghalanos, A. (2015). Rugarch: Univariate GARCH models. *Journal of Statistical Software*.
- Higgins & Bera. (1992). A class of non-linear ARCH models. *International Economic Review*.
- Glosten, L., & Runkle, D. (1993). On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. *Journal of Finance*, 1779-1801.
- Intercontinental Exchange ICE Futures US. (2012). *Coffe "C."*. ICE. Intercontinental Exchange.
- International Coffee Organization. (2024). *Procesamiento de Campo*. Recuperado April 15, 2024, de https://www.ico.org/ES/field_processingc.asp
- International Coffee Organization. (2023). Informe del mercado del café. Diciembre 2023. International Coffee Organization.
- Jácome, A. (2017). Coffee prices volatility and transmission: Developing risk management instruments for coffee growers in Ecuador. https://oa.upm.es/48156/1/ANDRES_RENATO_JACOME_GAGNAY.pdf
- Jaramillo, C. (s.f.). El mercado de futuros y el manejo de riesgos en el sector cafetero colombiano. Recuperado Febrero 6, 2024, de <https://federaciondefcafeteros.org/static/files/Jaramillo%20-%20Mercado%20de%20futuros%20y%20manejo%20de%20riesgos%20en%20el%20sector%20cafetero%20colombiano.pdf>
- Jiménez, C., & Tabares, R. (2018). Dinámica no lineal del mercado del café en Colombia. *Revista Mutis*, 8(2), 73–83. <https://doi.org/10.21789/22561498.1405>
- Larson, D. F., Varangis, P. & Yabuki, N. (1998). Commodity risk management and development.
- Lewin, B., Giovannucci, D. & Varangis, P. (2004). Coffee Markets New Paradigms in Global Supply and Demand. <http://ssrn.com/abstract=996111><http://www.worldbank.org/rural>
- Lordemann, J. A., Mora-García, C., & Mulder, N. (s.f.-a). Speculation and price volatility in the coffee market project documents. www.cepal.org/apps
- Lordemann, J. A., Mora-García, C., & Mulder, N. (s.f.-b). *The main drivers of arabica coffee prices in Latin America*. www.cepal.org/apps
- Lozano, A. (2007). Relaciones de tamaño, producción y trabajo en las fincas cafeteras colombianas. [Trabajo de Grado, Universidad de los Andes].
- Mohan, S. (2007). Market-based Price-risk Management for Coffee Producers. *Development Policy Review* (Vol. 25, Issue 3).
- Mora, J., Zamudio, A. & Fuentes, H. (2014). Volatilidad e interdependencia en los precios agrícolas a partir de un modelo GARCH multivariado. *Revista Análisis Económico*, XXIX. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41337767003>

- Moreno, A., & Rivera, J. (2003). Rotación de cultivos intercalados de café, con manejo integrado de arvenses. *Avances Técnicos. CENICAFE*. <https://doi.org/10.38141/10779/0307>
- Murcia, S. A. & Piragauta, A. (2014). Diseño de un derivado sobre el precio del café.
- Narváez, D., & Vargas, B. (2007). Racionalidad campesina y estrategias sociales de los caficultores caldenses. *Revista de Antropología y Sociología: Virajes*, 9.
- Nyblom, J. (1989). Testing for the Constancy of Parameters Over Time. *Journal of the American Statistical Association*, 84(405). <https://doi.org/10.2307/2289867>
- OCDE. (2010). La volatilidad de los precios en los mercados agrícolas. <http://www.fao.org/economic/es-policybriefs/es>.
- Palm, F. (1996). Garch models of volatility. *Handbook of Statistics*, 209–240.
- Parente-Laverde, A. M. (2020). Value chain and economic development: The case of the Colombian coffee industry. *Organizations and Markets in Emerging Economies*, 11(1). <https://doi.org/10.15388/omee.2020.11.29>
- Peña, J. (2022). La prima por calidad del café colombiano aumentó 600%. *Portafolio*.
- Peñuela, A., Duque, H. & Dussán, C. (2007). Impacto económico del proyecto de café especial “la vereda”, en el municipio de Riosucio, Caldas. *Cenicafé*.
- Pérez Ramírez, F. O. (2006). Modelación de la volatilidad y pronóstico del precio del café. *Revistas Ingeniería Universidad de Medellín*, 5 (9). <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/233/220>
- Perfect Daily Grind. (2021). Entendiendo la clasificación del café en el Mercado Internacional. Recuperado April 15, 2024, de <https://perfectdailygrind.com/es/2021/09/22/entendiendo-la-clasificacion-del-cafe-en-el-mercado-internacional/>
- Poncet, V., Asten, P., Millet, C., Vaast, P., & Allinne, C. (2024). Which diversification trajectories make coffee farming more sustainable? *In Current Opinion in Environmental Sustainability (Vol. 68)*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2024.101432>
- Rahayu, M. F., Chang, W.-I. & Anindita, R. (2015). Volatility Analysis and Volatility Spillover Analysis of Indonesia’s Coffee Price Using Arch/Garch, and Egarch Model. *Journal of Agricultural Studies*, 3(2). <https://doi.org/10.5296/jas.v3i2.7185>
- Ramírez, B., & Juárez, J. (2008). Opciones económicas y productivas de reestructuración de las unidades indígenas de producción de café ante la crisis agrícola: estudio en la Sierra Nororiental de Puebla, Mexico.
- Reina, M., Silva, G., Samper, L. F. & Fernandez, M. del P. (2007). Juan Valdez, la estrategia detrás de la marca. *Innovar. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 27(66).
- Riaño, J. (1996). El mercado de futuros y la volatilidad del precio internacional del café. https://federaciondefaeteros.org/static/files/El_mercado_de_futuros_y_la_volatilidad_del_precio_internacional_del_cafe-Juanita_Riano.pdf

- Roitbarg, H. A. (2021). Factores detrás del aumento de precios en el sector agrícola a inicios del siglo XXI: rentas, salarios, petróleo y productividad. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 88. <https://doi.org/10.13043/dys.88.5>
- Said, E. & Dickey, D. A. (1984). Testing for unit roots in autoregressive-moving average models of unknown order. *Biometrika*, 71(3). <https://doi.org/10.1093/biomet/71.3.599>
- Schwert, G. W. (1990). Stock Volatility and the Crash of '87. *Review of Financial Studies*, 3(1). <https://doi.org/10.1093/rfs/3.1.77>
- Sheppard, Kevin (2019). Financial Econometrics Notes. <https://www.kevinsheppard.com/teaching/mfe/notes/>.
- Specialty Coffee Association. (2021). *Hacia una definición de café de especialidad: Construyendo una comprensión basada en atributos*.
- Sprent, P. & Smeeton, N. C. (2021). Applied Nonparametric Statistical Methods, Third Edition. In *Applied Nonparametric Statistical Methods*, 3 ed. <https://doi.org/10.1201/9781420057713>
- Ssenkaaba, J. (2019). Price Determination in Coffee Market: The Impact of Supply and Demand shifts. <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/17572/thesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Subervie, J. (2008). The variable response of agricultural supply to world price instability in developing countries. *Journal of Agricultural Economics*, 59(1). <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2007.00136.x>
- Tomek, W. & Kaiser, H. (2014). *Agricultural Product Prices*. Cornell University Press.
- Trujillo, H. A., Mitidieri, F. J. & Hashimoto, E. M. (2021). Denomination of origin 'café del huila' and dynamics of coffee growing in Colombia. *Coffee Science*, 16. <https://doi.org/10.25186/v16i.1827>
- Varangis, P., Siegel, P., Lewin, B., & Giovannucci, D. (2003). La crisis cafetalera: Efectos y estrategias para hacerle frente. Región Centroamericana.
- White, H. (1982). Maximum Likelihood Estimation of Misspecified Models. *Econometrica*, 50(1). <https://doi.org/10.2307/1912526>
- Worako, T. K., Jordaan, H. & Van Schalkwyk, H. D. (2011). Investigating volatility in coffee prices along the ethiopian coffee value chain. *Agrekon*, 50(3), 90–108. <https://doi.org/10.1080/03031853.2011.617865>
- Yoshida, M. P. & Soto, Y. (2020). Política de calidad del café en Colombia: cambios y consecuencias. https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/51365/Tesis%20Maria%20Paula%20Yoshida%20Yair%20Soto_VF.pdf?sequence=1&isAllowed=y