

**ESTIMACIÓN DE LA VOLATILIDAD DEL PRECIO DE LA ONZA TROY DE ORO
PARA EL PERIODO 2001-2014**

**ANA MARÍA MERCHÁN FAJARDO
MILETH XIOMARA RAMÍREZ GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN
BUCARAMANGA**

2016

**ESTIMACIÓN DE LA VOLATILIDAD DEL PRECIO DE LA ONZA TROY DE ORO
PARA EL PERIODO 2001-2014**

**ANA MARÍA MERCHÁN FAJARDO
MILETH XIOMARA RAMÍREZ GÓMEZ**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de
Economista**

**Director:
HÉCTOR LUIS ROMERO VALBUENA
Economista**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fortaleza en todo momento para alcanzar cada meta que me propongo.

A mi madre, María Y. Fajardo por luchar día a día dándome lo mejor, amarme y cuidarme y ser mi apoyo incondicional.

A mi padre, Héctor Merchán por apoyarme en cada uno de mis proyectos, por brindarme su cariño e inspirarme a ser mejor cada día.

A mi hermosa hermana, María Victoria que con su amor a diario me llena de motivación y felicidad.

Y a mi novio, Joseph Páez por acompañarme en este proceso y bríndame su amor y comprensión desde el inicio de mi formación profesional.

Ana María Merchán Fajardo

A Dios quien me ha dado la fuerza para creer que los sueños son posibles, y son el resultado de nuestro esfuerzo.

A mis padres Ernesto Ramírez y Ángela Gómez, Quienes me dieron vida, educación apoyo y consejos.

A mi hermana Zulay Ramírez, por enseñarme a no rendirme, por todo lo que me brindas y lo que aportas a nuestra familia.

Mileth Xiomara Ramírez Gómez

AGRADECIMIENTOS

Gracias de todo corazón a nuestro Director Héctor Romero, por sus conocimientos, por orientarnos cada vez que debía, y dejarnos volar cuando lo necesitábamos, por su paciencia y perseverancia, y más que nada por inculcar en nosotras bases profesionales y personales, sin duda rompió con cada una de las expectativas que un alumno espera de su director, este trabajo se lo debemos en gran parte a él.

Xiomara y Ana María

A mis amigos, que estuvieron conmigo durante toda la carrera, a los cuales agradezco de todo corazón su amistad e incondicional apoyo, en especial a Allysson García, Cynthia Angulo, Catia Rincón y Sergio López.

Ana María Merchán Fajardo

A mis mejores amigos, Jeniffer Gamboa y Jose Caballero, por el acompañamiento, fuerza y motivación durante este proceso, por sus aportes invaluable que me servirán toda la vida.

Mileth Xiomara Ramírez Gómez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL.....	18
1.1 ANTECEDENTES.....	18
1.2. MARCO CONCEPTUAL	25
2. DATOS DEL ESTUDIO.....	30
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS DATOS	35
4.2 PRUEBA DE HETEROCEDASTICIDAD CONDICIONADA.....	48
4.3 ESTIMACIÓN DEL MODELO GARCH(P, Q).....	50
4.5 ESTIMACIÓN DE LA VOLATILIDAD A TRAVÉS DEL MODELO GARCH(1,1)	52
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA.....	60

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estadísticos descriptivos del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014	35
Tabla 2. Test de raíz unitaria del precio de la onza troy de oro	42
Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los retornos del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014.....	44
Tabla 4. Test de raíz unitaria de los retornos de la onza troy de oro	45
Tabla 5. Criterios de bondad de ajuste para la selección del modelo ARMA(p,q) .	49
Tabla 6. Test de Heterocedasticidad condicionada	49
Tabla 7. Criterios de bondad de ajuste para la selección del modelo ARMA(p,q) GARCH(p,q).....	50
Tabla 8. Estimación del modelo ARMA(1,0)-GARCH(1,1)	51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema para la construcción del modelo GARCH	33

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Evolución del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014	37
Gráfica 2. Promedio de la variación porcentual anual precio onza troy de oro 2001-2014.....	38
Gráfica 3. Histograma del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014	40
Gráfica 4. Correlograma del precio de la onza troy de oro.....	41
Gráfica 5. Transformación logarítmica del precio de la onza troy de oro	42
Gráfica 6. Evolución del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014	43
Gráfica 7. Retornos del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014	45
Gráfica 8. Correlograma de los retornos de la onza troy de oro.....	47
Gráfica 9. Histograma de los retornos del precio de la onza troy de oro.....	48
Gráfica 10. Volatilidad ajustada del modelo ARMA(1,0)-GARCH(1,1).....	52
Gráfica 11. Volatilidad de largo plazo y volatilidad estimada 2001-2014	54
Gráfica 12. Volatilidad de largo plazo y pronóstico de la volatilidad estimada al 31-03-2015.....	55

RESUMEN

TÍTULO: Estimación de la volatilidad del precio de la onza troy de oro para el periodo 2001-2014*.

AUTORES: Ana María Merchán Fajardo y Mileth Xiomara Ramírez Gómez**.

PALABRAS CLAVE: Volatilidad, Oro, Modelos GARCH.

DESCRIPCIÓN:

La elaboración del presente trabajo de grado tiene la finalidad de construir un modelo que permita estimar la volatilidad del rendimiento diario de la cotización de la onza troy de oro en los mercados internacionales para el periodo comprendido entre el 01-01-2001 al 31-12-2014. Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo un estudio de la literatura académica sobre el tema. Posteriormente se realizó un análisis gráfico y descriptivo de la serie en estudio. Seguidamente, se identificó un modelo ARMA(1,0) para llevar a cabo la prueba de heterocedasticidad condicionada a los residuos de ese modelo. Confirmada la presencia de heterocedasticidad condicionada, se estimó un modelo ARMA(1,0)-GARCH(1,1). La volatilidad de largo plazo para el periodo en estudio basado en los parámetros del modelo se ubicó en 1,6096% por día. Dado que la volatilidad estimada al final del 2014 a través del modelo es inferior a la volatilidad de largo plazo, se predice un incremento de la volatilidad hasta converger a su valor de largo plazo. Como recomendación, se sugiere que se implementen otras metodologías de la familia GARCH, para validar los resultados del estudio. Del mismo modo, se recomienda analizar los datos en sub-periodos tomando en consideración eventos económicos que pueden incidir sobre el comportamiento del precio de la onza troy de oro en el mercado mundial.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ciencias Humanas. Escuela de Economía. Director: Héctor Romero.

ABSTRACT

TITLE: Volatility estimation of the gold price for the period 2001-2014*.

AUTHORS: Ana María Merchán Fajardo y Mileth Xiomara Ramírez Gómez**.

KEYWORDS: Volatility, Gold, GARCH models.

DESCRIPTION:

The purpose of this study is to estimate the volatility of the daily performance of the price of gold in international markets for the period 01-01-2001 to 12-31-2014. To achieve this goal, we carried out a survey of the academic literature on the subject. Subsequently, a graphic and descriptive analysis was performed on the original series. Next, an ARMA(1,0) model was identified to carry out the test of conditional heteroscedasticity. Once the presence of conditional heteroscedasticity was confirmed, an ARMA(1,0)-GARCH(1,1) model was estimated. The long-term volatility for the period studied based on the model parameters was at 1.6096% per day. Since the value of the estimated volatility at the end of 2014 according to model is less than the long-term volatility, a rise in volatility is predicted. As a recommendation, it is suggested that other GARCH methodologies are implemented to validate the findings of this study. Similarly, it is recommended to analyze the data in sub-periods taking into account economic events that can affect the behavior of the price of gold in the world market.

* Undergraduate degree.

** Faculty of Human Sciences. School of Economics and Management. Director: Héctor Romero.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito financiero, uno de los conceptos más importantes es la volatilidad. La volatilidad es una medida de la velocidad del mercado, es decir, que tan rápido se ajustan los precios de los activos financieros ante determinados hechos. Los mercados que se mueven despacio son mercados de baja volatilidad, los mercados que se mueven rápido son de alta volatilidad. La volatilidad trata de cuantificar a la media de un activo financiero estable de uno que no lo es, entre más volátil sea un activo mayor riesgo tendrá.

Estudiar la volatilidad de los precios del oro es un elemento clave en la práctica, dado que la variación en la cotización de la onza troy de oro* puede tener un elevado impacto sobre los países con alta dependencia en la exportación del material aurífero, en comparación con el resto de las actividades económicas. En este sentido, estos países se ven enfrentados a cierto grado de inestabilidad que les puede afectar considerablemente la obtención de mayores niveles de vida para su población. Por otro lado, un porcentaje significativo de las reservas internacionales de los países en desarrollo están conformadas por las tenencias de oro monetario; que también están sujetas a la volatilidad del mercado aurífero internacional.

Asimismo, existen diversos instrumentos financieros que tienen como activo subyacente la cotización de la onza troy de oro en los mercados financieros internacionales (desde acciones de empresas mineras auríferas hasta los fondos cotizables** denominados en oro) lo que ha contribuido a que un mayor número de individuos sean afectados por la variabilidad de la cotización del metal aurífero. De

* Una onza troy es una unidad de medida del mercado aurífero internacional y equivale a 31,1035 gramos de oro.

** Es una combinación entre los fondos de inversión y las acciones, permiten el ingreso al mercado de valores a pequeños inversionistas, donde el activo se comercializa a tiempo real, permitiendo comprar y vender mientras el mercado está abierto.

igual manera, la demanda física de oro es significativa; en algunas sociedades como la asiática, la acumulación de piezas elaboradas en metal aurífero se encuentra asociada a la realización de eventos culturales, en donde el oro juega un rol importante.

Por su parte, se suele observar que los países donde persiste incertidumbre económica y con alta tensión social, el metal aurífero suele convertirse en un activo refugio. En este caso, el oro es un instrumento que permite acumular un capital y ayudar a mitigar el efecto adverso del incremento de los precios sobre el patrimonio de las familias¹. En resumen, tanto a los gobiernos, como a los inversionistas y a la población en general les interesa conocer el impacto, que la variabilidad en la cotización de la onza troy de oro tiene sobre las decisiones de política económica, inversión y atesoramiento de activos.

Dada la importancia del mineral aurífero para tan variados propósitos, se estimó un modelo para estudiar la volatilidad del rendimiento de la cotización diaria de la onza troy de oro en el mercado financiero internacional para el periodo 01-01-2001 al 31-12-2014. Para alcanzar este objetivo, el presente trabajo de grado se subdividió de la siguiente manera: En el Capítulo 1 se desarrollaron los antecedentes y el marco conceptual, para ello, se hizo uso de la información recopilada en los trabajos de grado, artículos en revistas especializadas, trabajos de investigación y documentos relacionados con el tema de la volatilidad del metal aurífero.

En el Capítulo 2 se presentó la base de datos para el periodo de estudio, se tomó como fuente de información la cotización de cierre del precio de la onza troy de oro suministrada por el World Gold Council² para un total de 3653 observaciones. Respecto a la metodología, se implementó un análisis de tipo descriptivo y

¹ LEE, Rex. The demand for physical gold, the impact of Asia. *The Alchemist*, 1997, vol. 7, p. 5-7.oro

² WORLD GOLD COUNCIL. Gold Price Events Timeline, 2015. [Citado 23, octubre, 2015]. Disponible en: <http://www.gold.org/investment/interactive-gold-price-chart/2015>.

econométrico, la cual se describió en el Capítulo 3 y se desarrolló en el Capítulo 4, de igual manera se llevó a cabo un examen analítico-descriptivo de la serie donde se determinó el comportamiento de los datos desde el punto de vista estadístico, así como la existencia de aglomeraciones o clúster de volatilidad en la serie estudiada. De forma seguida, se calcularon los retornos diarios de la onza troy de oro determinando que los retornos presentan estacionariedad mediante el análisis gráfico y la aplicación del test de raíz unitaria de Dickey-Fuller para la serie transformada en primera diferencias.

De forma seguida, se construyó un modelo econométrico, siguiendo la metodología planteada por Box, Jenkins y Reinsel³. Sobre la base de los residuos de ese modelo, se verificó la presencia de heterocedasticidad condicional, mediante el test ARCH-LM y las pruebas de Ljung y Box. Para la identificación del modelo de volatilidad a emplear, se experimentó con varios modelos de orden bajo como GARCH(1,1), GARCH(1,2) GARCH(2,1) y GARCH(2,2), los cuáles suelen ser los más adecuados para series financieras. El modelo con el mejor ajuste para estimar la volatilidad de los retornos de la onza troy de oro se seleccionó en base a diferentes indicadores como los criterios de información de Akaike y Schwarz. Finalmente, el modelo seleccionado fue un ARMA(1,0)-GARCH(1,1). Luego de la identificación, estimación y evaluación del modelo, se estimó la volatilidad de largo plazo de la onza troy de oro. Por último se ofrecen las conclusiones y recomendaciones del estudio.

³ BOX, George; JENKINS, Greta y REINSEL, Gregory. Time Series Analysis. Forecasting and Control, 1994 3rd ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

1. ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL.

1.1 ANTECEDENTES

El oro es un elemento que ha fascinado a la humanidad desde la antigüedad y ha sido utilizado como un medio para atesorar valor a lo largo de la historia y servir como medio para saldar los intercambios comerciales entre los países. Para Bordo y Eichengreen el rol predominante del oro como patrón de pagos internacionales se cimentó cuando Alemania⁴, en 1871, se adhirió al patrón oro instaurado previamente en el Reino Unido. El hecho de que las principales naciones del mundo saldaran sus saldos de comercio internacional en oro obligó a naciones más pequeñas a imitar esta acción; ya que mantener el mismo arreglo monetario que otras naciones con las que se realizan los intercambios comerciales generaba externalidades de red, como la simplificación del comercio y mayor facilidad para obtener financiamiento externo. Para formar parte del patrón oro, un país sólo debía definir el valor de su moneda doméstica en términos del metal aurífero, comprar y vender oro de forma incondicional al tipo de cambio establecido y permitir la importación y exportación ilimitada de oro. Al hacer esto, cada país efectivamente anclaba su moneda en relación al precio del oro y, por tanto, se creó un sistema de tipos de cambio fijo.

El inconveniente del patrón oro radicó en su tendencia a generar recesión económica debido a la reducción en el nivel de precios que se requería para corregir los déficits en cuenta corriente. Dado que las tenencias de oro monetario de un país son limitadas, las salidas de oro producto de un déficit en cuenta corriente, reducían su oferta de dinero. La caída en los precios domésticos resultante, estimulaba las exportaciones y desalentaba las importaciones. Debido a que estos ajustes de

⁴ BORDO, Michael y EICHENGREEN, Barry. The rise and fall of a barbarous relic: The role of gold in the international monetary system, 1998, NBER Working paper No. x6436.

balanza de pagos no eran automáticos, la contracción en la economía doméstica podía ser prolongada y ser acompañada de elevadas tasas de desempleo.

A finales de la II Guerra Mundial, los representantes de las naciones victoriosas de este conflicto armado se dieron cita en Bretton Woods, New Hampshire para establecer el nuevo sistema monetario internacional. Bajo el nuevo esquema, los Estados Unidos mantenían fijo el precio del oro en USD 35 por onza troy. El resto de las naciones fijarían su tipo de cambio en términos del dólar americano y todas las transacciones internacionales se llevarían a cabo en esa moneda.

Bajo este esquema, de acuerdo con Salvatore⁵ las naciones con déficits en su balanza de pagos financiaban sus saldos deficitarios a partir de la liquidación de sus reservas internacionales o mediante préstamos en dólares otorgados por el Fondo Monetario Internacional (FMI). Sólo en casos excepcionales y bajo la aprobación del FMI se permitían ajustes en la cotización del tipo de cambio. Aunque este arreglo internacional funcionó de forma adecuada por más de dos décadas (crecimiento económico sostenido, bajo desempleo e inflación controlada en la mayoría de las naciones industrializadas) su colapso se hizo inminente ante los continuos déficits de balanza de pagos en los Estados Unidos producto de la Guerra de Vietnam. Esta situación hacía presagiar una devaluación del dólar. Esto conllevó a una salida de capitales de los Estados Unidos, lo que aconteció en la suspensión de la convertibilidad del dólar en oro.

A partir de ese momento, la cotización de la onza troy de oro en los mercados internacionales se estableció mediante el mecanismo de mercado y su relevancia dentro del concierto económico mundial se redujo considerablemente. No obstante, es necesario destacar que parte de las reservas internacionales de los países aún

⁵ SALVATORE, Dominick. Economía internacional (767). Sexta edición Editorial Prince Hall, 1999.

se mantiene en oro monetario y en épocas de crisis, los inversionistas recurren al oro como activo refugio.

Por otra parte, dada la importancia del precio del oro en el mercado internacional se encontraron diferentes estudios enfocados en mostrar que en periodos de incertidumbre económica el oro es considerado un activo refugio. De igual manera, existen diversas investigaciones en las cuales se utiliza el modelo GARCH para medir la volatilidad de precio del oro y de otros activos financieros, mostrando a su vez que existen clústers de volatilidad, tomando como referencia diferentes países, periodos de tiempo y otros modelos de la familia GARCH como los (AP-GARCH) entre otros. Algunos de estos trabajos se resumen a continuación:

Baur y Lucey⁶, explicaban que para que un instrumento sea considerado como activo refugio, es necesario que el activo se encuentre correlacionado negativamente con otro activo o cartera en periodos de crisis o tensión económica. Esta propiedad no obliga a la correlación a ser positiva o negativa en promedio, solo a ser cero o negativa en periodos específicos. En general, el mercado del oro tiene un papel fundamental y único en los mercados financieros como un refugio seguro que se utiliza con fines de cobertura y diversificación. Es por ello, que una serie de estudios previos han tratado de recoger el comportamiento de la variabilidad de la cotización de la onza troy de oro en los mercados internacionales.

Teniendo en cuenta esto, Baur y Lucey⁷ realizaron un estudio comparativo entre Estados Unidos, Reino Unido y Alemania a través de una modelización de un modelo autoregresivo generalizado de heterocedasticidad condicional, mejor conocido como GARCH, para analizar el comportamiento del oro en esos mercados. Si los inversores añaden un activo en sus carteras que específicamente reduzca las

⁶ BAUR, Dirk y LUCEY, Brian. Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, Bonds and Gold: The Financial Review, 2010, vol. 45, p. 217-229.

⁷ BAUR y LUCEY Op cit.

pérdidas en momentos de turbulencias en los mercados o crisis más que un activo de cobertura o diversificación, la severidad de los choques podría disminuir.

Por otro lado, Baur⁸ estudia la volatilidad de la cotización de la onza troy de oro y encuentra que existe una reacción asimétrica de la volatilidad ante choques positivos y negativos. Los choques positivos incrementan la volatilidad mucho más que los choques negativos, debido a la propiedad del oro como activo refugio. El autor plantea que los inversionistas interpretan cambios positivos en los precios del oro como una señal de condiciones futuras adversas del mercado, así como incertidumbre sobre los otros activos que existen en el mercado.

Por su parte, Mills⁹ investiga el comportamiento estadístico de los precios diarios de la onza troy de oro para el periodo 1971 – 2002. Entre los resultados del estudio se encuentra que los precios del oro están caracterizados por una alta persistencia (auto-correlación) en el corto plazo y con correlaciones de volatilidad en el largo plazo.

Miswan, Ping y Ahmad¹⁰ llevaron a cabo un estudio de la cotización del oro en el mercado aurífero de Malasia para el periodo julio 2001 a septiembre 2012. Emplean tanto la metodología Box-Jenkins (ARIMA) como la metodología de los modelos autoregresivos generalizados condicionales heterocedásticos (GARCH) antes descrita para verificar cuál modelo es más adecuado para hacer pronósticos sobre el precio del oro en el mercado doméstico. Concluyen que un modelo GARCH(1,1) es más robusto que un modelo ARIMA (1,1,1).

⁸ BAUR, Dirk. Asymmetric volatility in the gold market: The Journal of Alternative Investments, 2011, vol. 14, p. 26-38.

⁹ MILLS, Terence. Statistical analysis of daily gold price data. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2004, vol. 338, p. 559-566.

¹⁰ MISWAN, Nor; PING, Pung y AHMAD, Maizah; On parameter estimation for Malaysian gold prices modelling and forecasting: International Journal of Mathematical Analysis, 2013, vol. 22, p. 1059-1068.

De la misma manera, Baur y McDermott¹¹ analizaron los índices de mercado de Canadá, Francia, Alemania, Italia, Suiza, Reino Unido y Estados Unidos durante el periodo de 1979 al 2009 con un GARCH(1,1), demostraron que analizando específicamente periodos de crisis el oro actuaba como activo refugio y a su vez cuando se producía un incremento de incertidumbre global en cuanto al comportamiento de las bolsas de valores, pero no cuando la incertidumbre es extrema, ya que podría darse el caso de que todos los activos pueden moverse en la misma dirección.

Por otro lado, Tully y Lucey¹² examinan diversas influencias macroeconómicas en el oro, donde se utilizan modelos como el AP-GARCH para los precios actuales y a futuro durante un periodo de 20 años, prestando especial atención a los periodos de caídas de los mercados de valores. Los resultados muestran que el precio del oro está influenciado significativamente por el dólar, mientras que durante los periodos de crisis financiera un modelo AP-GARCH funciona respecto a la volatilidad.

Así mismo, Gómez¹³ desarrolló un portafolio compuesto por tres activos financieros de importancia a nivel internacional, (oro, petróleo y el par EUR/USD) y para conformar esas carteras se usan volatilidades estimadas con un modelo de la familia ARCH. El objetivo de dicho trabajo fue realizar un análisis especial a los retornos de los tres activos financieros mencionados anteriormente los cuales están enfocados en la interpretación de Curtosis*, asimetría, autocorrelación y “clúster” de la volatilidad, con el fin de demostrar algunos hechos estilizados que rigen el mundo financiero. En los resultados se puede observar que la alta o baja volatilidad no

¹¹BAUR, Dirk y MCDERMOTT, Thomas. Is gold a safe haven? International evidence: Journal of Banking & Finance, 2010, vol. 34 No. 8, p. 1886-1898.

¹² TULLY, Edel y LUCEY, Brian. A power GARCH examination of the gold market. Research in International Business and Finance, 2006, vol. 21, p. 316-325.

¹³ GÓMEZ, Fabio. Estimación y pronóstico de la volatilidad de un portafolio con un modelo de la familia ARCH. Universidad Pontificia Bolivariana, 2014, Medellín.

*Analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución.

tiende a dar saltos imprevistos sino que se forma de manera agrupada y sucesiva¹⁴. Asimismo, encontraron que los inversionistas opinan que el análisis de la volatilidad es bastante complejo y se realiza sin bases para optimizar el beneficio-riesgo existente, la subjetividad es irrelevante en este aspecto pues en muchas ocasiones el mercado se comporta de manera irracional y mucho más en momentos de alta volatilidad.

El estudio de Coudert y Raymond¹⁵ analizó el comportamiento del oro en relación a los índices del mercado en Francia, Alemania, Reino Unido, EE.UU entre 1978 - 2009; concluyen que el oro se clasifica como activo refugio, dado que para todos los índices bursátiles considerados, no presenta correlación con los rendimientos de las acciones, en promedio, ni durante las recesiones ni en los momentos de expansión del mercado. Por su parte, mencionan que la asimetría en la volatilidad del oro, se encuentra sobre el nivel de inventario y almacenamiento del mismo. Si los niveles de almacenamiento son bajos, el riesgo de agotamiento de los mismos es alto y su precio y su volatilidad mayor. Por el contrario, si los niveles de inventario son altos, el riesgo de agotamiento de inventarios es menor y la volatilidad y los precios mayores. También se muestra un comportamiento de aglomeración de volatilidad en el tiempo típico de series financieras.

Además, en este trabajo se puede observar que existe un clustering de volatilidad* en el tiempo, donde existen periodos de alta y baja volatilidad en los valores de las compañías cotizadas; en su desarrollo se concluye que se presenta el fenómeno de clustering. Al final de la investigación se deduce que los rendimientos del oro se ven afectados en menor medida por la volatilidad del mercado, en comparación con el resto de series analizadas, es decir, el oro se está comportando como un activo

¹⁴ LJUNG, Greta y BOX, George. On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*, 1978, vol. 65(2), p. 297-303.

¹⁵ COUDERT, Virginie y RAYMOND, Helene. Gold and financial assets: are there any safe havens in bear markets? *Economics Bulletin*, 2011, vol. 31 No 2, p. 1613-1622.

* Periodos de alta y baja volatilidad. Si la volatilidad es alta en un periodo, tiende a seguir siéndolo; si es baja en un periodo tiende a seguir siendo baja en el periodo siguiente. (Mandelbrot, 1963).

refugio. No obstante, en periodos de estabilidad económica, los rendimientos obtenidos por el activo refugio no tienen por qué ser mayores que los obtenidos por cualquier otra clase de activos, al contrario, al presentar menor riesgo también puede obtener una menor rentabilidad. Por eso el oro es considerado la mejor opción para invertir en época de turbulencia financiera pero no tiene que serlo necesariamente en época de estabilidad económica.

Teniendo en cuenta los estudios mostrados anteriormente, vale la pena resaltar que este documento se encargó de estudiar la volatilidad del precio de la onza troy de oro en un periodo más reciente a los estudiados, de igual manera permite tener una perspectiva general de la estimación de la cotización de la onza troy de oro, y el comportamiento de los retornos de la misma. Para poder elegir el mejor modelo GARCH(p,q) que más se ajusta a la serie se consideraron las alzas y bajas presentadas a lo largo del periodo estudiado, utilizando datos altamente confiables, que proporcionan veracidad en cada uno de los hallazgos de este trabajo de grado.

1.2. MARCO CONCEPTUAL

Hacia finales del siglo XX y principios del XXI se han contado numerosos periodos de inestabilidad y crisis que se han visto reflejados en el incremento de la volatilidad en las cotizaciones de los principales activos financieros, los cuales se manifestaron con la intensidad de los riesgos del mercado y la debilidad de los sistemas de medición y control de estos riesgos. Los riesgos están asociados a la incertidumbre y tradicionalmente se ha medido como la desviación del precio respecto de la media esperada.

Hoy en día el estudio de la volatilidad es cada vez más importante para la valoración de instrumentos financieros y otros derivados, por la importancia que ha generado la diversificación financiera internacional, la cual es necesaria para la valoración de opciones en el futuro y para el desarrollo de estrategias de cobertura. A pesar de que para la mayoría la volatilidad es sinónimo de riesgo, para los operadores financieros este término adquiere diferentes significados según sea el rol que desempeñe en el mercado, se debe entender a la volatilidad no como un único parámetro sino como un conjunto de conceptos relacionados entre sí.

Ahora bien, según Orozco de la paz¹⁶, dado el nivel de importancia que presenta la volatilidad a través de la historia se han utilizado diversos métodos para su estimación, siendo el más sencillo de todos la desviación estándar, la cual presenta la gran dificultad que señala que la medida pondera de la misma forma todos los retornos durante el periodo de medición, lo cual es muy intuitivo; enseguida, comenzaron a utilizar las series de tiempo para obtener su valor, utilizando primero el ajuste por alisamiento exponencial 'the exponentially weighted moving average' (EWMA), el cual pondera de una mayor forma la información más reciente, lo que

¹⁶ OROZCO DE LA PAZ, Sebastián. Análisis comparativo y causal de modelos de volatilidad para activos financieros. Trabajo de Grado. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería industrial, 2014. 72 p.

predice que periodos que presenten grandes cambios, presentaran mayor volatilidad. La volatilidad juega un papel fundamental en los mercados financieros, dado que es uno de los indicadores más utilizados para evaluar el riesgo del mismo.

Alexander¹⁷ por su parte, postula que la volatilidad de un activo es una medida anual de la dispersión del proceso estocástico que es usado para modelar los retornos logarítmicos. Actualmente los mercados financieros padecen problemas de información asimétrica; es por ello que se genera la necesidad de contar con un mecanismo, capaz de analizar las variaciones de los factores de riesgo, dejando como consecuencia un margen de error mucho menor en futuras predicciones de resultados:

“Aún no existen teorías precisas sobre los movimientos de los tipos de cambio o de los precios de las acciones. Existen si, modelos interpretativos que ayudan a comprender ciertos episodios, pero el problema es la precisión que se requiere y que no lo proporciona la teoría económica. Estas carencias nos llevan a tener que resolver el problema en el terreno de los métodos estadísticos”¹⁸

En caso particular del precio de la onza troy oro, en palabras de Díaz¹⁹ los modelos ARCH y GARCH están diseñados para modelar y pronosticar la volatilidad variable en una serie de tiempo; con el análisis de estos modelos se puede llegar a fijar el precio de un activo, así como crear dinámicas de cobertura y de esta forma apoyar en los requerimientos de las situaciones de planificación y toma decisiones acordes,

¹⁷ ALEXANDER, Carol. Practical Financial Econometrics. England: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 430 p.

¹⁸ BAHÍ, Claudia. Modelos de medición de la volatilidad en los mercados de valores: Aplicación al mercado bursátil argentino. Trabajo de Grado. Ciudad de Mendoza: Universidad Nacional del Cuyo, Facultad de ciencias económicas, 2007. 40 p.

¹⁹ DÍAZ, Sandra. Aplicación del modelo ARCH y GARCH para el cálculo de la volatilidad en riesgo de mercado. Opciones Unab, 2009, vol. 3 No 5, p.1- 17.

logrando un cubrimiento seguro del riesgo e incrementando la confianza en los resultados obtenidos estimando el riesgo de mercado.

Por otra parte, se puede generalizar pensando en el modelo GARCH como un filtro, en donde se analizan los datos de una determinada serie de tiempo para producir una estimación de la volatilidad condicional. Los retornos al cuadrado de los modelos tipo GARCH sirven para calcular los cambios de la volatilidad, utilizando las variables observadas para estimar la volatilidad como una media móvil ponderada de comportamientos pasados. Según Nelson y Foster²⁰ si la volatilidad está cambiando gradualmente con el tiempo, los modelos GARCH son adecuados, ya que este tipo de modelo calcula la volatilidad como una media móvil ponderada de las últimas estimaciones.

Los análisis de series de tiempo financieras han sido posibles mediante el uso de modelos de predicción financiera, como los modelos autoregresivos condicionalmente heterocedásticos (conocidos como ARCH en la literatura) y los modelos autoregresivos generalizados condicionalmente heterocedásticos (GARCH).²¹ Estos modelos fueron desarrollados a partir de los trabajos de Engle y Bollerslev respectivamente. Estos autores analizan varios de los métodos empíricos relacionados a la volatilidad de los retornos de los activos financieros.²²

Así mismo, el análisis de las series de tiempo para el precio de la onza troy de oro, se determina a través de las características de las series para aplicar el modelo ARCH y GARCH con el objetivo de alcanzar los parámetros necesarios para el cálculo de la volatilidad por medio de este modelo. Específicamente, estos modelos apuntan a describir con mayor precisión el fenómeno de agrupamiento de la volatilidad y los efectos relacionados a ella, como la curtosis.

²⁰ NELSON, Daniel y FOSTER, Dean. Filtering and forecasting with misspecified ARCH models II: Making the right forecast with the wrong model, *Journal of Econometrics*, 1995, vol. 67 No 2, p. 303-335.

²¹ ENGLE, Robert. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation: *Econometrics*, 1982, vol. 50 No 4, p. 987-1008.

²² BOLLERSLEV, Tim. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity: *Journal of Econometrics*, 1986, vol. 1 No. 31, p. 307-327.

La principal idea detrás de estos modelos, usados de forma significativa en el campo financiero, es que la volatilidad depende de las realizaciones anteriores del proceso de generación de los datos. Generalmente, periodos de fluctuaciones grandes en los precios se alternan con periodos durante los cuales los precios cambian en menor cuantía. Esta característica se denomina como clúster de volatilidad. Según Mandelbrot "*grandes cambios tienden para ser seguidos por grandes cambios, de cualquier signo, y los pequeños cambios tienden a ser seguidos por pequeños cambios*"²³ (pág. 418).

Una manifestación cuantitativa de este hecho es analizada por Brooks de la siguiente manera:

$$y_t = \beta_1 + \beta_2 x_{2t} + \beta_3 x_{3t} + \beta_4 x_{4t} + u_t, \quad u_t \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2$$

La ecuación (1) es un modelo de regresión estimado a través de mínimos cuadrados ordinarios, en donde el término de error (u_t), se distribuye como una normal de media cero y varianza (σ^2). En este caso, la varianza condicional del error estimado depende del valor previo del error al cuadrado (u_{t-1}^2). Este modelo es conocido como ARCH(1), dado que la varianza condicional depende únicamente del error cuadrático rezagado en sólo un periodo.²⁴ Una generalización de los modelos ARCH(q), podría entonces expresarse de la siguiente forma:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \alpha_2 u_{t-2}^2 + \alpha_q u_{t-q}^2 \quad (2)$$

²³ MANDELNBROT, Benoit. La variación de ciertos precios especulativos. The Journal of Business, 1963, vol. 36 No 4, p. 394-419.

²⁴ BROOKS, Chris. Introductory Econometrics for Finance. 2. Cambridge: Cambridge University Press, 2008, p. 672.

Los modelos GARCH, por su parte, además de asumir que la varianza condicional depende del error cuadrático rezagado; también dependerá de la varianza condicional rezagada, es decir:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (3)$$

La ecuación (3) sería la expresión utilizada para describir un GARCH(1,1), la cual puede ser extendida a una formulación general del tipo GARCH(p,q) si se asume que la varianza condicional es estimada dependiendo de q rezagos para los errores al cuadrado y p rezagos para la varianza condicional. La estimación de la volatilidad de largo plazo, se realiza en base a los parámetros del modelo con la siguiente ecuación:

$$\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1-\beta} = V_l \quad (4)$$

Donde V_l represente la estimación de la volatilidad de largo plazo. En otras palabras, la ecuación (4), es conocida como la ecuación de la volatilidad implícita para un modelo GARCH estacionario.

2. DATOS DEL ESTUDIO

Como fuente de información se utilizó la cotización diaria de cierre del precio de la onza troy de oro suministrada por el World Gold Council para el periodo comprendido entre el 01 de enero de 2001 hasta el 31 de diciembre de 2014, con un total de 3653 observaciones, estos datos son representativos del mercado aurífero internacional y están denominados en dólares. El World Gold Council²⁵ es la organización de desarrollo del mercado para la industria del oro, la cual interviene creando nuevas posibilidades, estimulando y manteniendo la demanda de oro; cuenta con dieciocho (18) miembros a nivel mundial, los cuales se encargan de la extracción del oro. Esta organización se asegura que la extracción del oro se lleve a cabo de manera responsable, con beneficio económico cuantificable a los países en los que opera. La fuente original de los datos es la London Bullion Market Association (LBMA), asociación comercial internacional que representa el mercado de oro en Londres. Cuenta con una base de clientes globales, esto incluye inversores del sector privado, empresas mineras, productores, refinadores y productores de oro. En la industria de la refinación, la acreditación en la lista del LBMA *Good Delivery* es ampliamente reconocida como el estándar de referencia para la calidad de barras de oro y plata, debido a los estrictos criterios que se deben cumplir.

Ahora bien, el LBMA *Gold Price* es la metodología usada para fijar el precio mercador de la onza troy de oro, conocido como Gold Fixing²⁶. La subasta se ejecuta dos veces al día a las 10:30 am y a las 3:00 pm, hora Londres. Este proceso tiene un presidente independiente para determinar el precio de cada ronda y

²⁵WORLD GOLD COUNCIL, 2012. [en línea] [Citado 23, octubre, 2015]. Disponible en: <http://www.gold.org/about-us/who-we-are>.

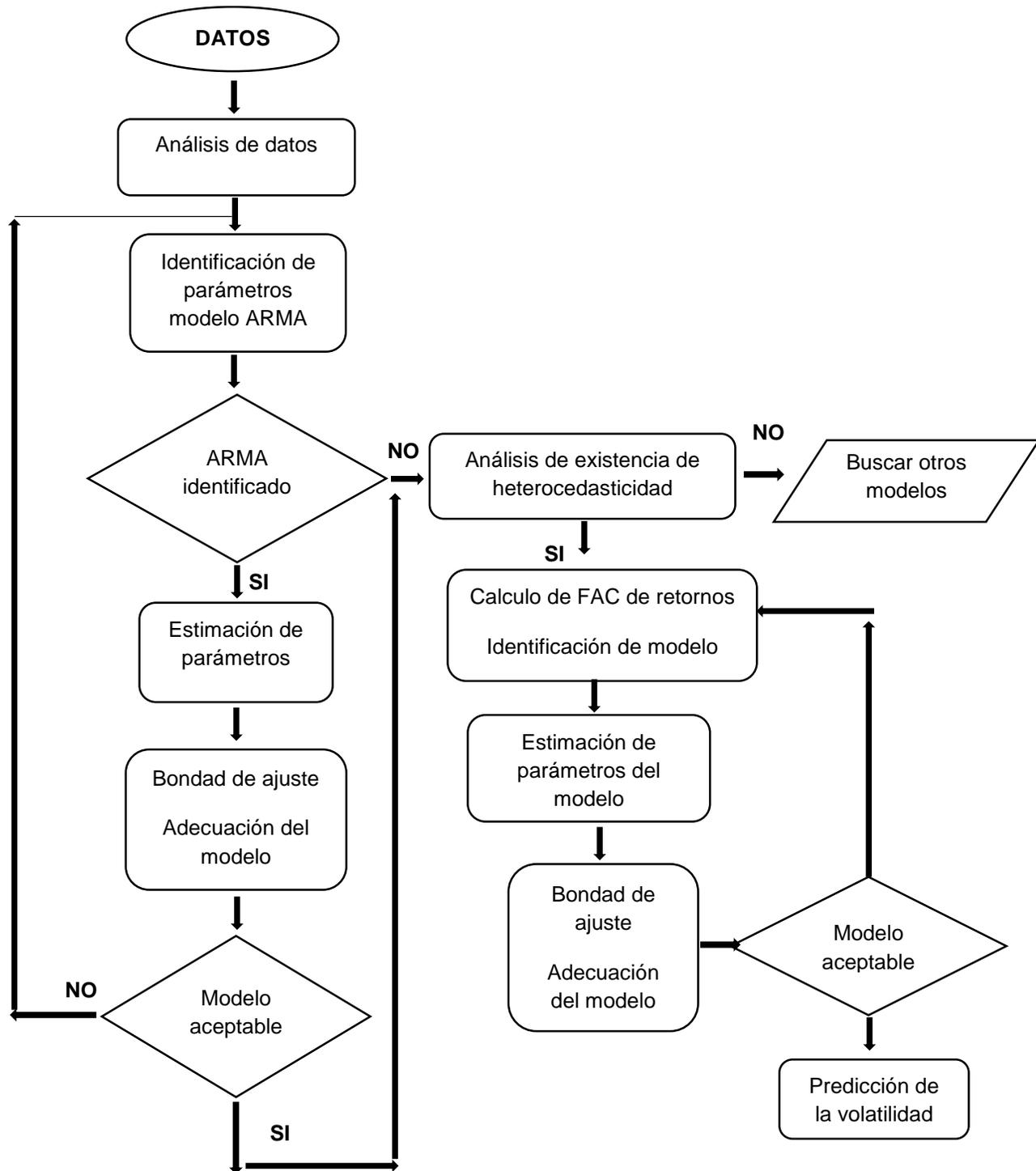
²⁶LBMA, ICE Benchmark Administration (IBA) operates the new LBMA Gold Price, 2014. [En línea]. [Citado 23, octubre, 2015]. Disponible en: http://www.lbma.org.uk/lbma-gold-price&usg=ALkJrhjOiHInx_2BAWrCYjttEyvVmUR5aQ%3E.

asegurar que el precio responda adecuadamente a las condiciones del mercado. Por su parte, esta subasta ofrece una plataforma basada en el mercado para los compradores y vendedores de comercio del oro físico y el precio final se publica en el mercado como punto de referencia LBMA como precio del oro.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo se realizó un análisis gráfico y descriptivo de la serie de datos, a continuación se identificaron los parámetros para el modelo ARMA(p,q) y posteriormente se ajusta un modelo GARCH(p,q) el cual permite la estimación de la volatilidad de los retornos del precio de la onza troy de oro para el periodo 2001-2014, es por ello que en esta sección se presenta la metodología implementada para el desarrollo del modelo GARCH. El mecanismo empleado para la estimación de un modelo GARCH es similar al de la metodología Box-Jenkins, dado que es necesario llevar a cabo los siguientes pasos: Identificación y selección del modelo, la estimación de los parámetros y posteriormente, comprobar si el modelo cumple con las especificaciones propias de un modelo estacionario. La figura 1 ofrece un esquema para la construcción de un modelo GARCH.

Figura 1. Esquema para la construcción del modelo GARCH



Fuente: Elescano y Agüero²⁷

Preliminarmente, para comprender el compartimiento de los datos, se llevó a cabo un análisis estadístico-descriptivo. Seguidamente, se estudió si la serie del precio de la onza troy de oro es estacionaria o no. Para ello, se analizó la función de autocorrelación simple (FAC) y parcial (FACP), así como una prueba de estacionariedad. En este estudio se empleó la prueba de estacionariedad de Dickey-Fuller. La estimación de la volatilidad se realizó sobre los retornos del precio de la onza troy de oro, los cuáles son estacionarios.

La formulación básica de un modelo GARCH, requiere la existencia de efectos ARCH. Para determinar la presencia de heterocedasticidad condicionada se estimó un modelo $ARMA(p,q)$ de los retornos de la serie. La prueba ARCH-LM consiste en realizar una regresión de los errores al cuadrado del modelo ARMA y sus rezagos con el fin de determinar si se puede aplicar esta clase de modelos a los datos, esta prueba posee una hipótesis nula conjunta que plantea que todos los coeficientes de los rezagos de los errores al cuadro (q) son cero. Si se rechaza la hipótesis nula, entonces existe presencia de heterocedasticidad condicionada. Adicionalmente, se observó la prueba Ljung-Box para corroborar los resultados sobre la heterocedasticidad condicionada. Por lo general, las series financieras se ajustan a un modelo GARCH bajo, no obstante, se estimó varios modelos GARCH para determinar si en el caso del mercado aurífero esto también se aplica.²⁸ Posteriormente, se evaluaron los supuestos del modelo, para finalmente realizar el pronóstico de volatilidad de la serie. Para la estimación del modelo $GARCH(p,q)$ de la volatilidad diaria del precio de la onza troy de oro se empleó el software estadístico Eviews 5.0 y el software libre estadístico R.2.2.

ELESCANO, Adolfo y AGÜERO, Ysela. Modelos ARCH: una aplicación en el pronóstico de la volatilidad de acciones cotizadas en la bolsa de valores de lima. *Pesquimat*, 2004, vol. 7, No 1, p. 64-79lee

²⁸ ZIVOT, Eric y WANG, Jiahui. *Modelling financial time series with S-PLUS*. Springer. New York, United States, 2013.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS DATOS

En este capítulo se analizó e interpreto la base de datos tomada del World Gold Council, utilizando la herramienta del software estadístico Eviews 5.0, y el software libre estadístico R.2.2. Inicialmente se realizó un análisis estadístico-descriptivo de los datos para el periodo de estudio, seguido por un análisis grafico de la evolución del oro, y la volatilidad que presentan los retornos del metal aurífero. La tabla 1, presenta los estadísticos descriptivos del precio diario de la onza troy de oro para el periodo 01-01-2001 al 31-12-2014.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014

Estadístico	Valor
Media	863,12
Mediana	790,00
Máximo	1895,00
Mínimo	256,00
Desviación estándar	479,04
Asimetría	0,37
Curtosis	1,77
Jarque-Bera	314,07

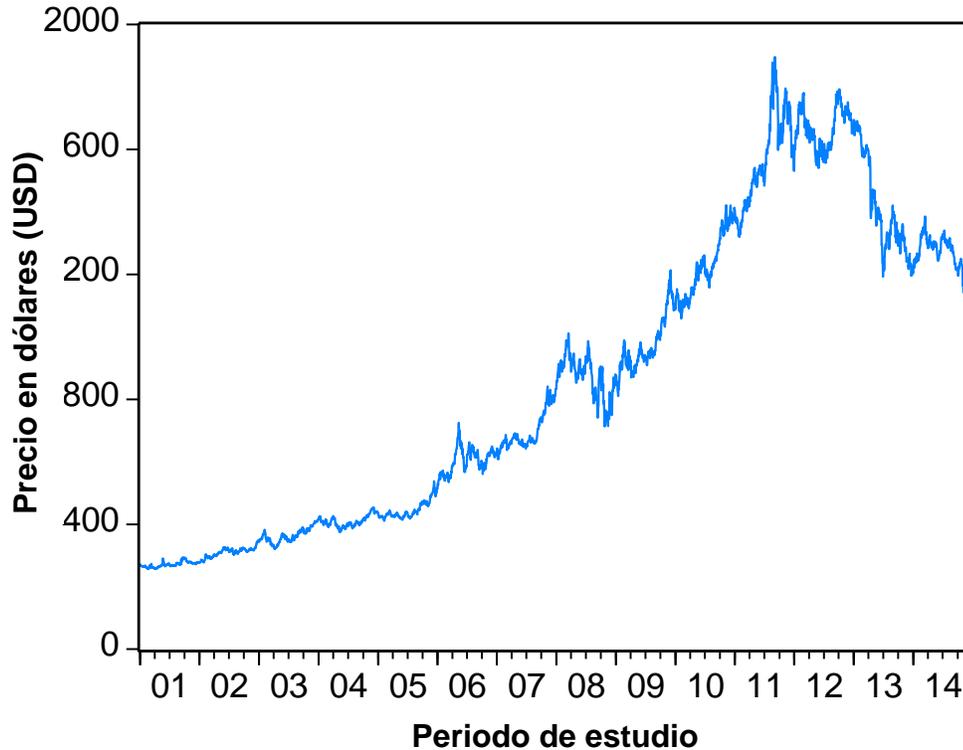
Fuente: Elaboración propia con base a los datos del World Gold Council (2015)

El promedio del precio de la onza troy del oro es de 863,12 con una variación de 479,04. La mitad de las variables presentan valores menores a 790,00, esto muestra la variabilidad de los datos y la diferencia estándar entre los elementos de la base

de datos y su mediana. Además, se observó que el máximo valor presentado es de 1895,00 y el mínimo es de 256,00 los cuales explican los valores límites de los datos en estudio. El test de Jarque-Bera presenta un valor de 314,07 el cual explica si la muestra de datos tiene la asimetría y la curtosis de una distribución normal, el comportamiento de la distribución del precio de la onza troy de oro presenta una asimetría de 0,37 y la curtosis es 1,77 es decir, su comportamiento explica una menor concentración de datos cerca de la media.

De la misma manera, en la gráfica 1 podemos observar que a partir del año 2001 el precio de la onza de oro troy mostro un incremento sustancial hasta el 2012. Durante el periodo del 2001 al 2006 se observó el notable ascenso y esto se presentó debido a que en el año 1999 los bancos centrales europeos decidieron limitar sus ventas de oro durante los siguientes cinco años, provocando una subida inmediata del precio. No obstante, fue hasta tres años después que este incremento se hizo notable, desde abril y mayo del año 2001 donde se produjo el despegue del oro; al principio fue un aumento insignificante, pero durante los siguientes años empezó a incrementar cada vez más; no fue un alza significativa sino progresiva y persistente a través de subidas y bajadas.

Gráfica 1. Evolución del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014

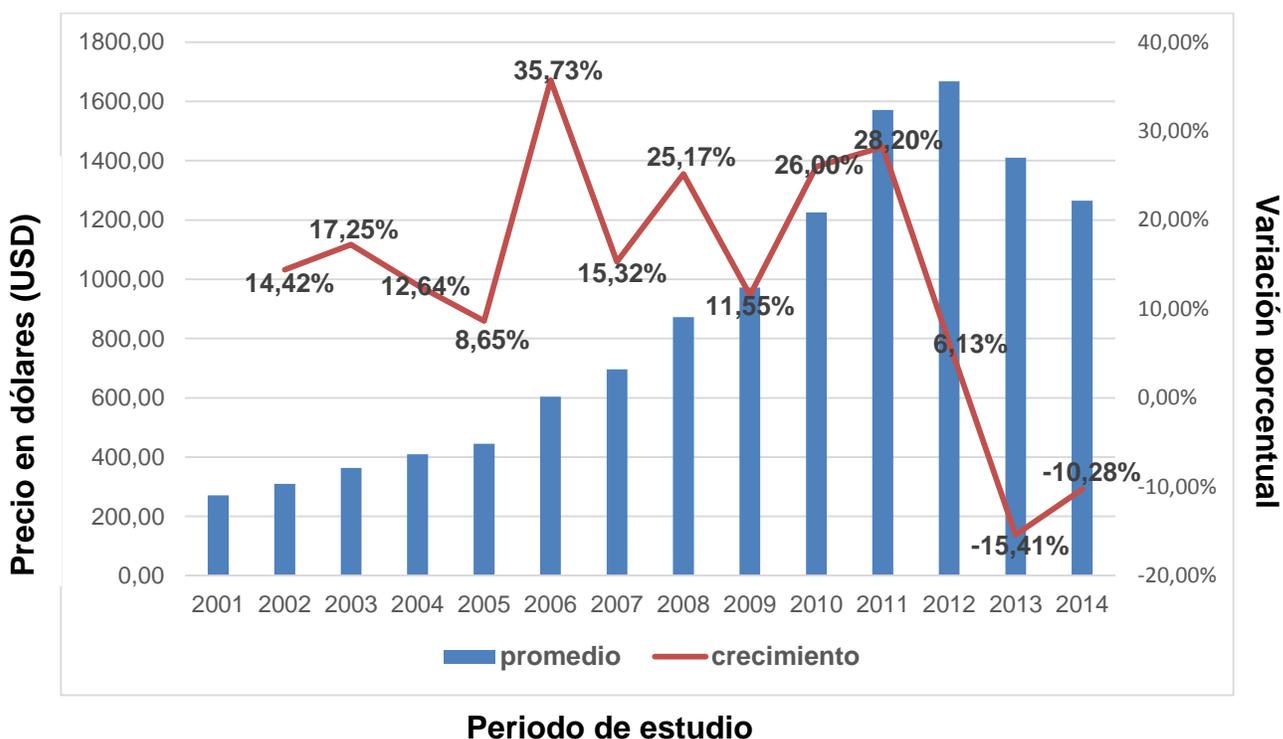


Fuente: Elaboración propia con base a los datos del World Gold Council (2015)

A partir del año 2003 el precio del oro empezó a cambiar, lo cual hizo que los inversionistas pusieran su atención en el comportamiento irregular que se estaba presentando. Sin embargo, esto no era motivo de preocupación, pues el mercado internacional del oro permanecía aparentemente “bajo control” gracias a las manipulaciones de los grandes bancos centrales que mantenían sus ventas dosificadas y eso les permitía intervenir cada vez que la demanda aumentara. Entre el 1 de enero del 2005 y el 31 de diciembre del 2006 el precio del oro aumento en promedio un 35,73 por ciento y produjo un aumento en la demanda de este activo. A su vez, era evidente que los bancos centrales no contaban con una cantidad de oro suficiente capaz de apaciguar los problemas que estaban por presentarse.

Por otra parte, durante la crisis del 2007 y 2008 se redujo la credibilidad en los mercados y el sistema financiero; en el año 2007 el precio del oro aumento en promedio un 15,32 por ciento (ver gráfica 2). A mediados del 2008 tuvo una baja notable, sin embargo, en la crisis del año 2008 el precio del oro tuvo un alza de un 25,17 por ciento respecto a la caída; esta inestabilidad y el temor a la recesión, aumento la cantidad de inversores en oro y esto provocó el aumento en la cotización del metal. Este comportamiento demuestra la confianza puesta en el oro como activo refugio, el oro es una materia prima que en tiempos de incertidumbre financiera actúa como una divisa.

Gráfica 2. Promedio de la variación porcentual anual precio onza troy de oro 2001-2014



Fuente: Elaboración propia con base a los datos del World Gold Council (2015)

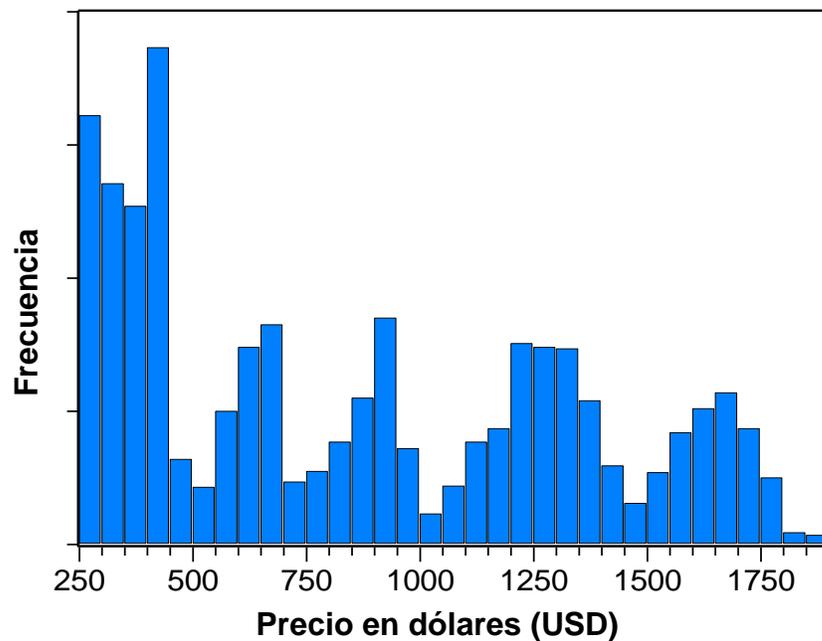
El precio del oro siguió teniendo un comportamiento a la alza, del 2001 hasta el 2007 aumento en promedio un 256,96 por ciento, paso de 271,06 a 696,52 dólares. Asimismo, la cotización del oro en el 2010 alcanzó un máximo de 1421,01 dólares la onza ante los temores sobre la crisis crediticia que afrontaba Europa y por la creciente demanda de inversión y la falta de confianza en la recuperación económica internacional. Aunque se pensaba que las cifras del 2010 eran altas, el 6 de septiembre del 2011 el oro marco su nuevo máximo hasta el momento de 1895 dólares la onza, el más alto de todos los tiempos. Provocando el continuo temor de las perspectivas económicas de Estados Unidos y de la Zona Euro que inducía aún más el oro como activo refugio, es decir, los inversores temían que el estímulo económico y rescate bancario de estos países debilitaran el dólar y causara inflación. El oro ganó un 28 por ciento en el año 2011, respecto al año inmediatamente anterior y en comparación con el precio del oro en el 2001, ha subido más del 579 por ciento.

De igual manera, después de las turbulencias vividas por la economía mundial en el año 2011, por la crisis fiscal europea y la desaceleración económica estadounidense, al inicio del año 2012 el precio se mantuvo en un rango de 1531,01 dólares y 1791,87 disminuyendo en promedio un 6,13 por ciento. Por su parte, la FED compro 2,3 billones de dólares en bonos del gobierno y deuda protegida por hipotecas en dos rondas de flexibilizaciones monetarias. Además, según la World Gold Council (2012), se estimó que la demanda de inversión alcanzó los 973 toneladas en el segundo semestre del 2012, frente a las 960 toneladas del mismo periodo en el año anterior. La demanda total de ese año fue de 1.700 toneladas aproximadamente.

Después de doce años de ganancias constantes, el oro cayó en promedio entre el 2011 y 2013 un 21,54 por ciento y eso lo convierte en la mayor caída del precio desde 1981, año en el que disminuyó un 39,45 por ciento tras haberse incrementado en un 81 por ciento entre 1978 y 1980, años de alta inflación en Estados Unidos y

Gran Bretaña. El año 2013 fue un mal año para quienes invirtieron en oro pensando que seguía el ritmo de los últimos años, dado que nadie esperaba una caída de casi 22 por ciento llegando a un precio de 1192,0 dólares la onza. Aun así, entre junio y julio del 2014 el precio promedio del oro se mantuvo por encima de 1295,8 dólares. El mineral mostró signos de estabilidad por esas fechas. No obstante, el precio del oro a finales del 2014 cae a 1142 dólares, una cifra tan baja no se veía hacia cuatro años.

Gráfica 3. Histograma del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014

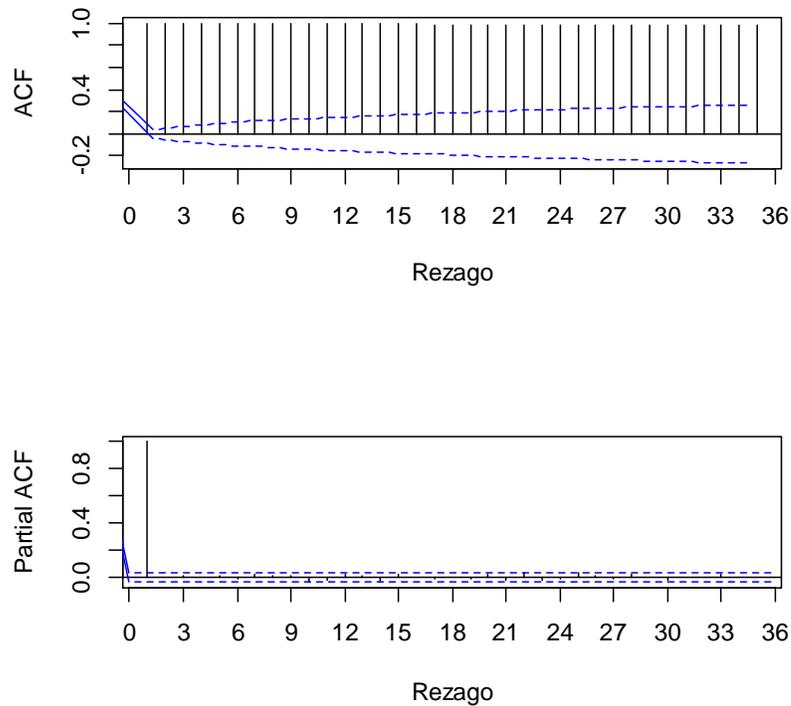


Fuente: Elaboración propia con base World Gold Council (2015)

Se puede observar que la serie de precios presentó un comportamiento asimétrico dado a los efectos de la volatilidad, se evidencia claramente que no presenta una distribución normal. El valor más repetido durante la serie estudiada es de 250 a 270 dólares, y los precios que menos se han repetido son 500 y de 1400 dólares en adelante hasta su precio máximo histórico de 1895 dólares.

Para profundizar más en el comportamiento del precio de la onza troy de oro desde el punto de vista estadístico, se realizó un análisis de la función de autocorrelación (gráfica 4).

Gráfica 4. Correlograma del precio de la onza troy de oro



Fuente: Elaboración propia.

Se puede concluir que realizado el análisis de la función de autocorrelación parcial (FAP) y función de autocorrelación simple (FACP) los resultados muestran un comportamiento no estacionario. En el primer valor de la función de autocorrelación parcial se observa un valor de 0,99 significativamente diferente de cero. Al realizarse la prueba de Dickey-Fuller, existe un p-valor de 0,724 para un nivel de significancia de 0.05 lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula, y existe raíz unitaria para la variable (Ver tabla 2).

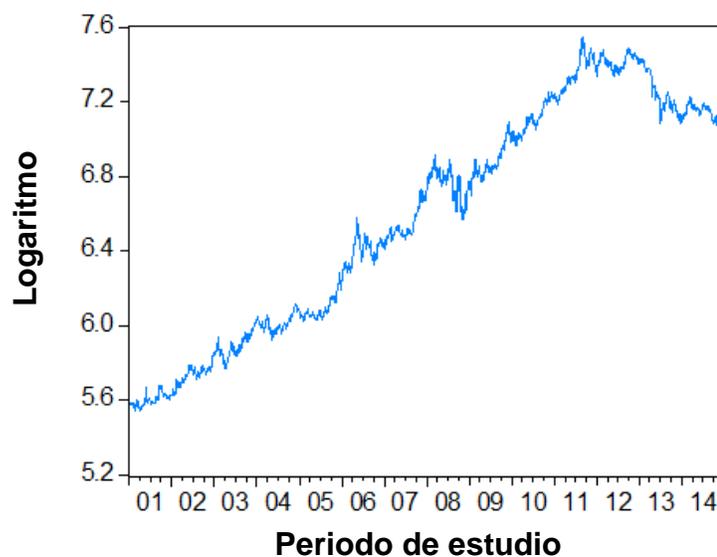
Tabla 2. Test de raíz unitaria del precio de la onza troy de oro

	t-estadístico	Prob.*
Estadístico de prueba Dickey-Fuller	-1,083	0,7243
5% nivel	-2,862	

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente gráfica se encuentra evidencia de que la serie transformada a logaritmo presentó un crecimiento hasta el segundo semestre del 2011, donde alcanza su máximo valor de 7,5. Disminuyendo proporcionalmente hasta el 2014, por ende, no presentó media constante y la serie no muestra una conducta estacionaria, para lograr la estacionariedad y eliminar la tendencia que presenta la serie, se realizó una transformación por primeras diferencias. De esta forma, se obtienen los retornos del precio de la onza troy de oro, datos que se emplearon para la estimación del modelo de volatilidad de heterocedasticidad condicionada. (Ver gráfica 5)

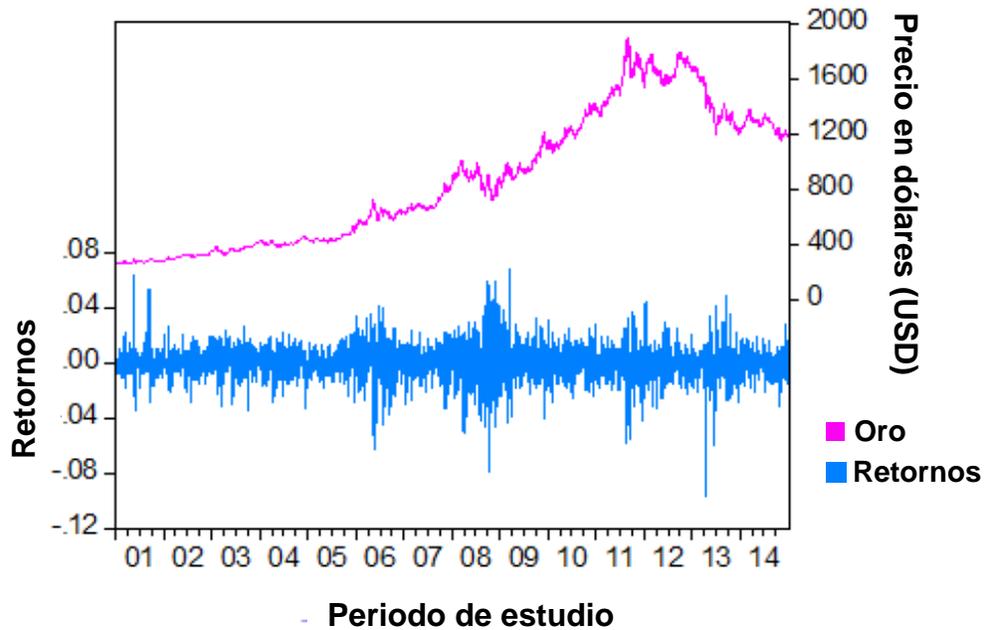
Gráfica 5. Transformación logarítmica del precio de la onza troy de oro



Fuente: Elaboración propia con base World Gold Council (2015)

Por otra parte, se observó rotundamente los puntos máximos donde hubo mayor variabilidad (de los retornos de los precios del oro), el primer cambio brusco se dio en el año 2006 y de ahí en adelante, se apreció una volatilidad bastante alta con mayores fluctuaciones entre los años 2008 y 2013, el cambio en los niveles de precios en esos años fue mucho mayor. (Ver gráfica 6)

Gráfica 6. Evolución del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014



Fuente: Elaboración propia con base World Gold Council (2015)

La tabla 3 evidencia los estadísticos descriptivos de la serie transformada en primera diferencia, eliminando la tendencia de la serie, con media cero, concluyendo que la serie finalmente es estacionaria y presenta una distribución normal.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los retornos del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014

Estadístico	Valor
Media	0,00
Mediana	0,00
Máximo	0,07
Mínimo	-0,10
Desviación estándar	0,01
Asimetría	-0,35
Curtosis	8,31
Jarque-Bera	4.371,42

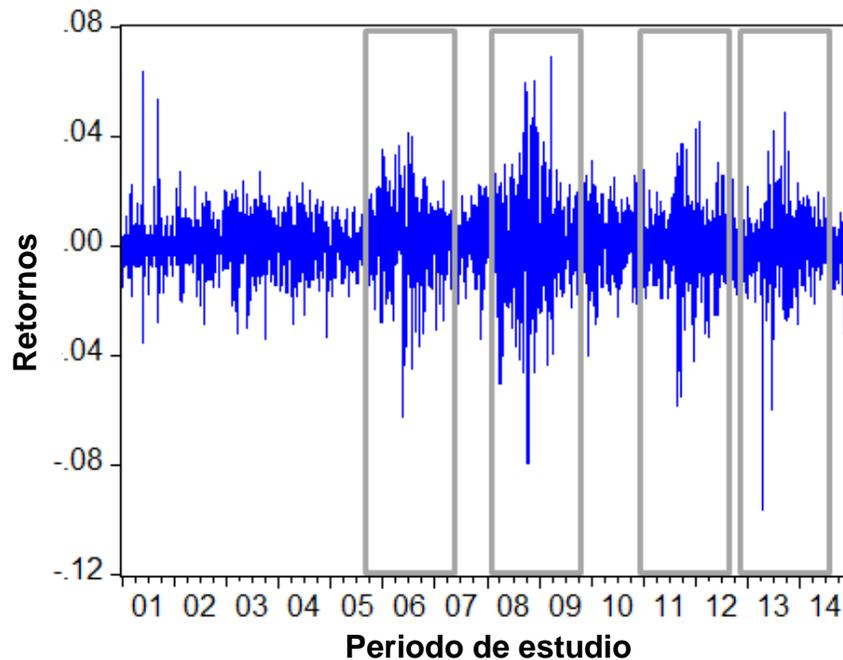
Fuente: Elaboración propia con base World Gold Council (2015)

En la gráfica 7 se observa que las mayores subidas de los retornos de la onza troy de oro están entre los periodos de finales del 2005 principios del 2007; principios del 2008 finales del 2009 y finales del 2010 mediados del 2014, lo cual deja en evidencia que en esos ciclos se presentaron clústers o aglomeraciones de volatilidad, es decir, tiende a seguir un patrón de comportamiento. No obstante, en general fue un periodo de constantes y repentinos cambios en el precio de este mineral. A su vez, la gráfica 7 muestra que los cambios en el precio de la onza troy de oro tienden a ser seguidos por otros de similar tamaño, ya sean negativos o positivos, mientras que los pequeños cambios tienden a ser seguidos por otros del mismo tamaño, por eso se les conoce como agrupamiento de volatilidad. En palabras de Mandelbrot: “*grandes cambios tienden para ser seguidos por grandes cambios, de cualquier signo, y los pequeños cambios tienden a ser seguidos por pequeños cambios*”²⁹. Los clústers o aglomeraciones de volatilidad se deben al

²⁹ MANDELBROT, Benoit. La variación de ciertos precios especulativos. The Journal of Business, 1963, Vol. (36), n° 4, p. 394-419.

hecho de que las perturbaciones tienden a influir en el valor esperado de la volatilidad de los períodos en el futuro.

Gráfica 7. Retornos del precio diario de la onza troy de oro 2001-2014



Fuente: Elaboración propia con base World Gold Council (2015)

Con el fin de analizar la estacionariedad de la serie transformada en primeras diferencias, es decir, los retornos del precio de la onza troy de oro, se realizó nuevamente el test de Dickey-Fuller, los resultados aparecen en la tabla 4.

Tabla 4. Test de raíz unitaria de los retornos de la onza troy de oro

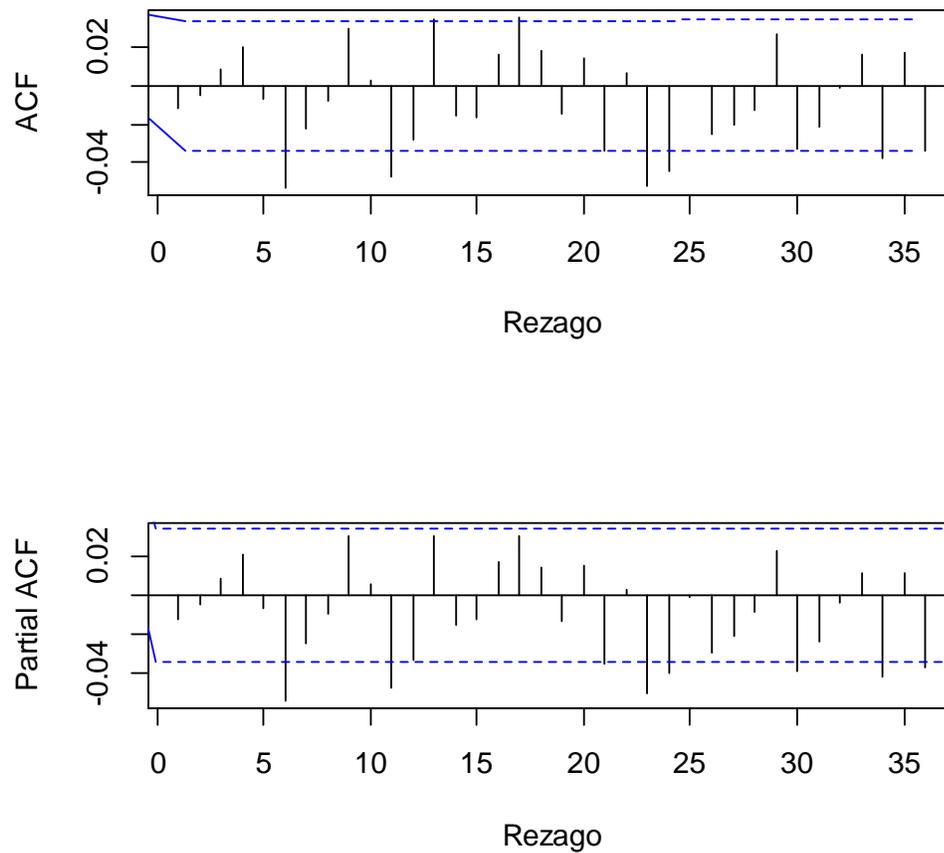
	t-Estadístico	Prob.*
Estadístico de prueba Dickey-Fuller	-60,436	0.0001
5% nivel	-2,862	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se puede observar la serie transformada en primera diferencia, donde se muestra un valor crítico de -2,862 para un nivel de significancia de 0,05 en este sentido se estima un p-valor de 0,0001. Con lo anterior se evidencia que la serie diferenciada no presenta raíz unitaria, y el comportamiento de la variable es estacionario, por ende se acepta la hipótesis nula.

Al realizar la transformación en primera diferencia de la variable original se puede observar que los rezagos caen rápidamente, concluyendo que la serie presenta estacionariedad, los resultados se evidencian en la gráfica 8.

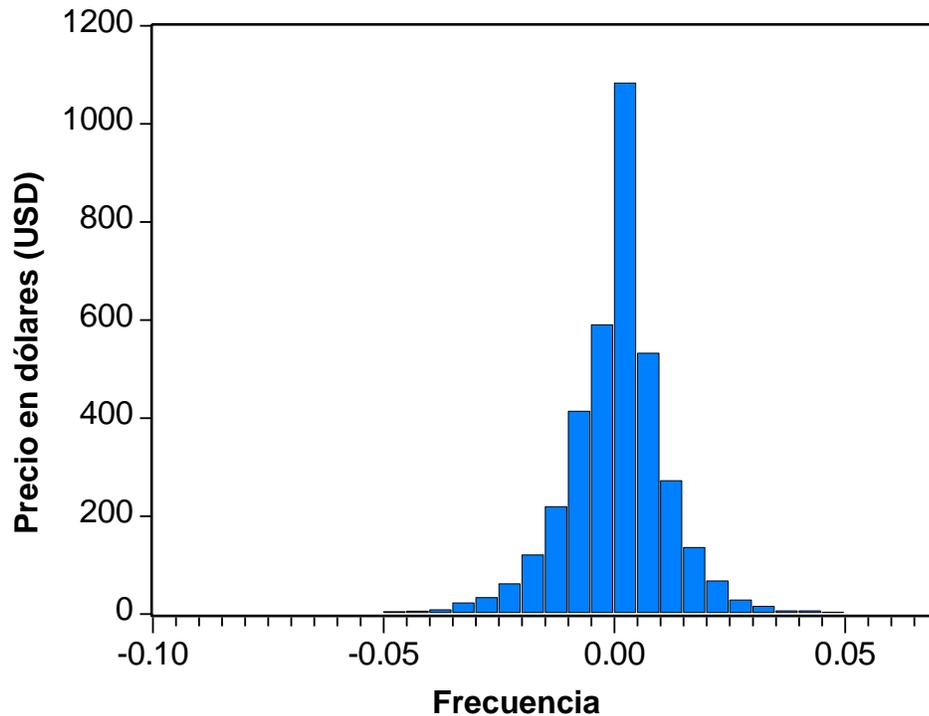
Gráfica 8. Correlograma de los retornos de la onza troy de oro



Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la gráfica 9 se evidencia que las frecuencias se encuentran distribuidas equitativamente y sus valores oscilan entre -0,05 y 0,05, así mismo los valores son simétricos alrededor de la media que se encuentra cerca a cero, por ende se concluye que el histograma muestra claramente una distribución normal.

Gráfica 9. Histograma de los retornos del precio de la onza troy de oro



Fuente: Elaboración propia con base World Gold Council (2015)

4.2 PRUEBA DE HETEROCEDASTICIDAD CONDICIONADA

Para comprobar si la serie de los retornos del precio de la onza troy de oro presenta el efecto de heterocedasticidad condicionada se realizó el test ARCH-LM, el cual se efectúa sobre los cuadrados de los residuos del modelo ajustado y plantea como hipótesis nula la no existencia de efecto ARCH.

Siguiendo la metodología expuesta en el capítulo 3, se construye el modelo $ARMA(p,q)$ que mejor se ajusta al retorno de los precios de la onza troy de oro. Sobre los residuos de este modelo, se llevó a cabo la prueba ARCH-LM y el test de Ljung-Box, para determinar la presencia de heterocedasticidad condicionada. La media condicionada de los rendimientos de las variables financieras, suelen

presentar un pequeño componente predecible (tal como lo arroja el correlograma de los retornos) que por lo general se ajusta a un proceso MA(1) o AR(1). En este sentido, la tabla 5 presenta los modelos identificados y se escogió aquel que cumple con las pruebas de validación y el principio de parsimonia. El modelo se especificó con base en las funciones de autocorrelación (FAC) y autocorrelación parcial (FACP), los cuales permitieron encontrar el orden de los procesos autoregresivos y de medias móviles. Entre los modelos ARMA, el de menor valor de AIC y BIC es el ARMA(1,0). Sin embargo, estos valores son muy similares.

Tabla 5. Criterios de bondad de ajuste para la selección del modelo ARMA(p,q)

Modelo estimado	AIC	BIC	Log-verosimilitud
ARMA(1,0)	-6,068	-6,065	11.077,34
ARMA(0,1)	-6,065	-6,064	11.077,27
ARMA(1,1)	-6,067	-6,063	11.077,31

AIC = Criterio de información de Akaike

BIC = Criterio de información Bayesiana

Fuente: Elaboración propia

Al llevar a cabo la prueba de heterocedasticidad condicionada, se pudo concluir que la hipótesis nula se rechaza dado que el $p < 0,05$ (p -Valor = 0,00). Esto quiere decir que los errores al cuadrado están relacionados, los coeficientes de la regresión estimada son diferentes de cero y existe presencia de heterocedasticidad condicionada. Estos resultados están en línea con test de Ljung-Box.

Tabla 6. Test de Heterocedasticidad condicionada

Variable	Coefficiente	Error Std.	Estadístico-t	p-valor
C	0,000122	6,38E-06	19,19626	0,0000
RESID^2(-1)	0,088341	0,016492	5,356520	0,0000

Fuente: Elaboración propia.

4.3 ESTIMACIÓN DEL MODELO GARCH(P,Q)

De acuerdo con Zivot y Wang³⁰ las series financieras se ajustan a un modelo GARCH(p,q) bajo. Para evitar depender exclusivamente de las funciones de autocorrelación simple y parcial estimadas por los residuos al cuadrado del modelo ARMA(1,0) se experimentó con varios modelos GARCH de orden bajo y se eligió aquel con la mejor bondad del ajuste. La tabla 7 presenta los distintos modelos estimados y sus correspondientes valores para los criterios de bondad de ajuste AIC, BIC y Log-verosimilitud.

Tabla 7. Criterios de bondad de ajuste para la selección del modelo ARMA(p,q) GARCH(p,q).

Modelo estimado	AIC	BIC	Log-verosimilitud
ARMA(1,0)-GARCH(1,1)	-6,2453	-6,2375	11.409,01
ARMA(1,0)-GARCH(2,1)	-6,2451	-6,366	11.405,43
ARMA(1,0)-GARCH(2,2)	-6,2445	-6,043	11.405,50

AIC = Criterio de información de Akaike

BIC = Criterio de información Bayesiana

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con este procedimiento y luego de evaluar estadísticamente los modelos, se eligió el modelo ARMA(1,0)-GARCH(1,1) para comprender la dinámica de la volatilidad de los retornos de la onza troy de oro. El modelo GARCH(1,1) fue escogido empleando los residuos al cuadrado de un modelo ARMA(1,0).

En la tabla 8 se muestran los valores de t-estadístico asociado a la significancia de los parámetros, en ella se observa que todos los parámetros son significativos. Además la FAC y la FACP mostraron que efectivamente este modelo es adecuado para la serie aurífera. Para comprobar si los errores cumplen el supuesto de

³⁰ WANG, Jiahui. ZIVOT, Eric. Modeling financial time series with S-PLUS. Springer. New York, United States, 2013.

normalidad, se realizó el Test de Jarque-Bera. Debido que el p-valor (0,00) fue menor de 0.05 se pudo concluir que los residuos cumplen con este supuesto. Por lo tanto, el modelo estimado es adecuado para determinar la heterocedasticidad condicionada de los retornos del precio de la onza troy de oro en los mercados internacionales.

Tabla 8. Estimación del modelo ARMA(1,0)-GARCH(1,1)

	Coefficiente	Error Est.	Estadístico Z	Significancia
Constante	0,0005	0.000156	2,9804	0,0029
AR(1)	0,9590	0,1800	5,3100	0,0095
Constante	0,00000584	0,0000022	12,5579	0,0000
ARCH(1)	0,0717	0,0035	20,3479	0.0000
GARCH(1)	0,9090	0,0040	225,3922	0,0000

AIC = Criterio de información de Akaike

BIC = Criterio de información Bayesiana

Fuente: Elaboración propia

De forma explícita, la estimación conjunta del modelo ARMA(1,0)-GARCH(1,1) sería como se plantea en la ecuación (5) y (6) respectivamente:

$$r_t = 0,0005 + 0,9590r_{t-1} + u_t, \quad (5)$$

$$\sigma_t^2 = 0,000005 + 0,0717u_{t-1}^2 + 0,9090\sigma_{t-1}^2 \quad (6)$$

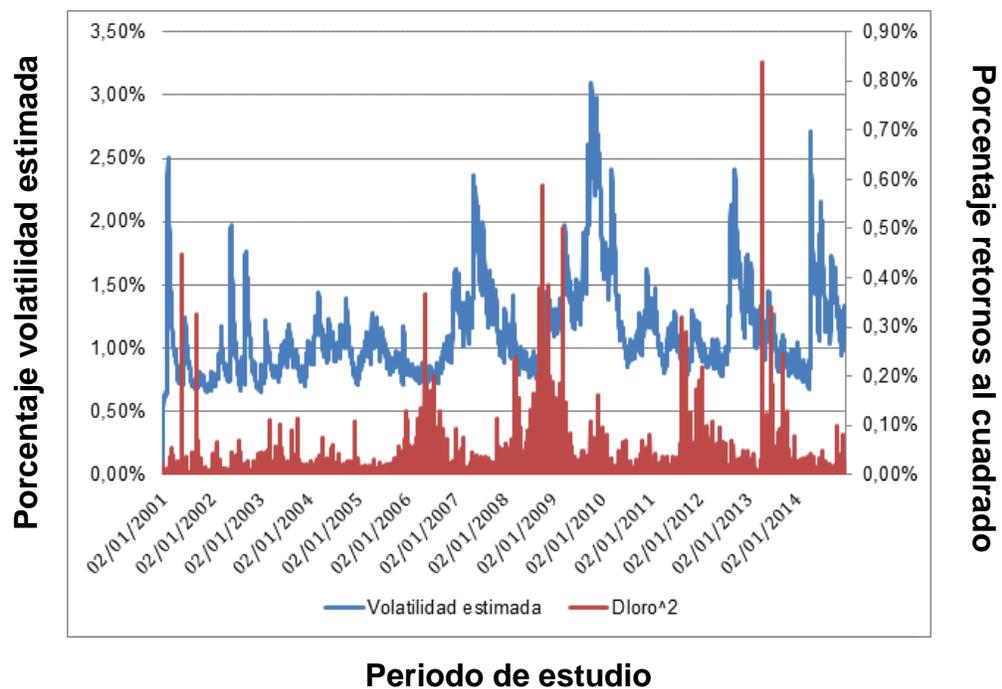
Se puede concluir, en base a la superación de las pruebas de normalidad, residuos y heterocedasticidad condicionada, que el modelo puede capturar de forma adecuada la dependencia lineal en los retornos y la volatilidad de la serie de los retornos del precio de la onza troy de oro en los mercados internacionales, estando listo para la prueba de predicción. La suma de los coeficientes del error cuadrático

rezagado (u_{t-1}^2) y la varianza condicional rezagada (σ_{t-1}^2) es muy cercano a uno (0,9807). Este fenómeno es común en los modelos GARCH(1,1).

4.5 ESTIMACIÓN DE LA VOLATILIDAD A TRAVÉS DEL MODELO GARCH(1,1)

Una vez seleccionado el modelo ajustado ARMA(1,0) -GARCH(1,1), fue posible hacer algunas consideraciones en torno a la volatilidad de la onza troy de oro en el futuro.

Gráfica 10. Volatilidad ajustada del modelo ARMA(1,0)-GARCH(1,1)



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 10 se observa la serie transformada en primera diferencia al cuadrado (retornos del oro al cuadrado) y el comportamiento que presenta la varianza condicionada estimada por el modelo ajustado. Si la media condicional es cero, los rendimientos al cuadrado proporcionan un estimador insesgado del verdadero

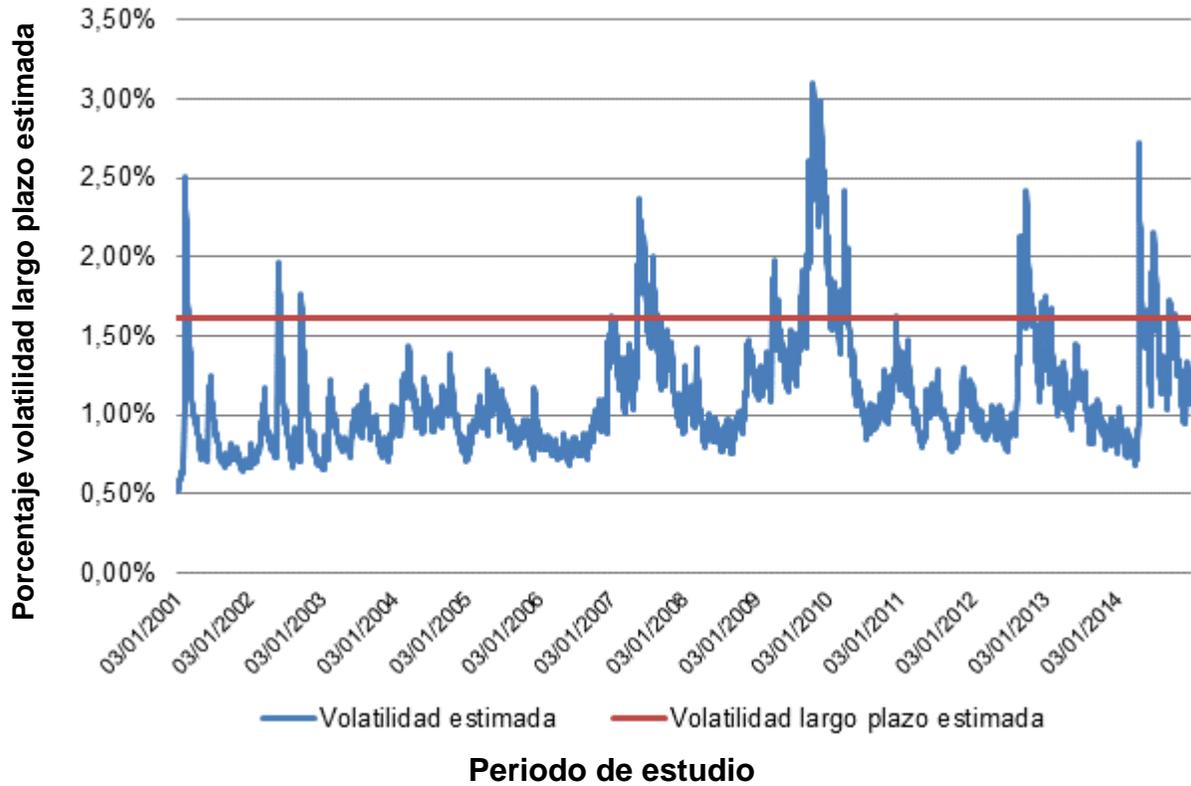
proceso subyacente que sigue la volatilidad. Para el caso en estudio, la varianza condicionada obtenida del modelo se ajusta con los retornos al cuadrado, un claro ejemplo se presenta en el año 2006 donde se evidencia por primera vez una alza notable en los precios del metal aurífero, enseguida en el año 2008 debido a la crisis financiera, la inestabilidad y desconfianza en los mercados financieros también aumento significativamente. Sin embargo, en el año 2011 se presentó el mayor incremento en el precio de la onza troy de oro alcanzando un máximo de 1895 aumentando el ambiente de incertidumbre inflacionaria y devaluación del dólar. Por último, en el año 2013 se presentó una caída inesperada del precio en los mercados financieros, lo cual evidencio un mal año para los inversores en oro.

Por su parte, sobre la base de los parámetros del modelo GARCH(1,1), fue posible estimar la volatilidad de largo plazo de los retornos del precio de la onza troy de oro en los mercados internacionales para el periodo 2001-2014 con periodicidad diaria. La varianza implícita viene expresada en la ecuación (7):

$$\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1-\beta} = \frac{0,000005}{1-0,0717-0,9090} = 0,000259067 \quad (7)$$

La volatilidad de largo plazo es de $\sqrt{0,000259067}$, lo que es equivalente a 1,6096% por día. Al observar la gráfica 11 se puede concluir que los periodos en los que indiscutiblemente la volatilidad estimada está por encima de la volatilidad de largo plazo se presenta para los años 2001-2003, 2008, 2010-2014.

Gráfica 11. Volatilidad de largo plazo y volatilidad estimada 2001-2014



Fuente: Elaboración propia

En los años 2004-2007, y el 2009 (años de relativa calma en el mercado aurífero mundial) esta se encuentra por debajo de la volatilidad de largo plazo. Dado que la volatilidad del 2014 finaliza por debajo del 1,6096%, la tendencia sería de aumentar y estabilizarse alrededor de la volatilidad a largo plazo.

Gráfica 12. Volatilidad de largo plazo y pronóstico de la volatilidad estimada al 31-03-2015



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 12 se visualiza el comportamiento previamente mencionado de la gráfica 11, adicionalmente se incluye el primer trimestre del 2015, donde la volatilidad estimada muestra la tendencia de converger a la volatilidad de largo plazo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Comprender la volatilidad del precio del oro ha sido de gran interés para diferentes campos de la investigación y particularmente para los inversionistas, quienes ven al metal aurífero como un 'activo refugio' al cual recurren en momentos de crisis. Este hecho es particularmente cierto, debido a que el oro no presenta correlación con los rendimientos de las acciones, en promedio, ni durante las recesiones ni en los momentos de expansión de los mercados.³¹

Teniendo en cuenta la gran importancia que genera el oro en la sociedad, y los diferentes estudios que se han realizado; este trabajo de grado tuvo como finalidad construir un modelo que estimara el rendimiento de la cotización de la onza troy de oro en el mercado financiero internacional para el periodo 2001-2014. Para llegar a este fin, se realizó una revisión de la literatura académica existente sobre este tema, citando a los autores más relevantes a lo largo del trabajo, donde sus aportes fueron de gran ayuda para profundizar los conocimientos existentes.

Enseguida se realizó un análisis de la evolución y tendencia de la cotización de la onza troy de oro en el mercado aurífero internacional, tomando como referencia la cotización diaria de cierre del precio de la onza troy de oro del World Gold Council. Se usó Eviews 5.0 y R.2.2 para realizar el respectivo análisis y de esta manera poder sustentar lo teóricamente existente a la luz de esos datos. El análisis de la serie del oro se realizó mediante la identificación de parámetros del modelo, estableciendo un ARMA(1,0), y aceptando la prueba de heterocedasticidad, dicho lo anterior se estimaron los parámetros del modelo, para finalmente realizar las

³¹ COUDERT, Virginie y RAYMOND, Helene. Gold and financial assets: are there any safe havens in bear markets?: Economics Bulletin, 2011, Vol. (31) n° 2, p. 1613-1622.

pruebas pertinentes de bondad de ajuste, adecuarlas al modelo y concluir con el GARCH(1,1).

Los pasos mencionados previamente mostraron que el comportamiento del precio de la onza troy de oro fue al alza y así mismo mostro periodos de elevada volatilidad durante el 2001 y 2014. Lo cual concluye en primera medida que si existen clústers de volatilidad, dado que podemos ver que las fluctuaciones de la misma no tienden a dar saltos imprevistos sino que se representa de manera agrupada y sucesiva.

Además, en este trabajo se utilizaron las regresiones de los modelos de la familia GARCH en el contexto de la predicción de la volatilidad, los resultados que se desprenden de la aplicación del enfoque GARCH al cálculo de la volatilidad de la onza troy del precio de oro para el periodo 2001-2014 son los siguientes:

- a) Existe evidencia de volatilidad financiera en el periodo muestral 2001-2014.
- b) Existe evidencia de asimetría.
- c) Se identificó un ARMA(1,0).
- d) El análisis sugiere que se rechaza la hipótesis nula del test ARCH-LM el cual indica existencia de heterocedasticidad condicionada.

El resultado de los análisis y procedimientos presentados en el Capítulo 4 nos lleva a la conclusión que el modelo más ajustado para la estimación y predicción de la volatilidad del precio del metal aurífero es el GARCH(1,1). En línea con los estudios que analizan las series financieras, se encontró que la volatilidad de los retornos del metal aurífero para el periodo examinado puede ser ajustada mediante el proceso de modelos GARCH, en el cual se observa , a través de los criterios AIC y BIC, el modelo que más se ajusta es un GARCH(1,1). Los modelos GARCH, cuya característica principal es mejorar la especificación original de los modelos ARCH añadiendo varianza condicional rezagada, la cual actúa como un término suavizador, por lo que evita inconvenientes al permitir que las volatilidades pasadas

impacten en la volatilidad actual. En el trabajo se presentaron las gráficas que exponen como las crisis financieras impactan con mayor fuerza en la expectativa de volatilidad. De igual manera, la volatilidad pasada también impacta en la volatilidad esperada dando lugar a una correlación. El modelo puede capturar de forma adecuada la dependencia lineal en los retornos y la volatilidad de la serie de los retornos del precio de la onza troy de oro en los mercados internacionales

Los resultados del análisis predictivo del modelo se concluyen de la siguiente manera:

- a) La volatilidad de largo plazo es de $\sqrt{0,000259067}$, lo que es equivalente a 1,6096% por día.
- b) Se predice un incremento de la volatilidad hasta converger a su valor de largo plazo.

En cuanto a las recomendaciones, teniendo en cuenta que este trabajo se enfocó en realizar un estudio continuo de lo ocurrido durante los años 2001 al 2014, sería interesante que en una futura investigación se realizara en diferentes periodos divididos en lapsos mucho más cortos, es decir, como fue el comportamiento del precio de la onza troy de oro, antes, durante y después de la crisis financiera mundial del 2008 y comparar los resultados obtenidos con este trabajo.

A su vez, se sugiere utilizar otros modelos de la familia GARCH para estimar la volatilidad del precio de la onza troy de oro. Un modelo recomendado para complementar el uso del GARCH es el modelo GARCH exponencial (E-GARCH) De esta manera, se podría lograr capturar el efecto más fuerte que tienen los rendimientos negativos en la volatilidad, se puede realizar una comparación entre el resultado de ambos modelos para obtener mejores resultados.

Del mismo modo, para poder llevar a cabo predicciones sobre esta variable, se recomienda emplear otros modelos de series de tiempo financieras que permitan validar los hallazgos del presente estudio, tales como los modelos de volatilidad estocástica.

BIBLIOGRAFÍA

ALEXANDER, Carol. Practical Financial Econometrics. England: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 430 p.

BAHI, Claudia. Modelos de medición de la volatilidad en los mercados de valores: Aplicación al mercado bursátil argentino. Trabajo de Grado. Ciudad de Mendoza: Universidad Nacional del Cuyo, Facultad de ciencias económicas, 2007. 40 p.

BAUR, Dirk. Asymmetric volatility in the gold market: The Journal of Alternative Investments, 2011, vol. 14, p. 26-38.

BAUR, Dirk y LUCEY, Brian. Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, Bonds and Gold: The Financial Review, 2010, vol. 45, p. 217-229.

BAUR, Dirk y MCDERMOTT, Thomas. Is gold a safe haven? International evidence: Journal of Banking & Finance, 2010, vol. 34 No. 8, p. 1886-1898.

BOLLERSLEV, Tim. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity: Journal of Econometrics, 1986, vol. 1 No. 31, p. 307-327.

BORDO, Michael y EICHENGREEN, Barry. The rise and fall of a barbarous relic: The role of gold in the international monetary system, 1998, NBER Working paper No. x6436.

BROOKS, Chris. Introductory Econometrics for Finance. 2. Cambridge: Cambridge University Press, 2008, p. 672.

COUDERT, Virginie y RAYMOND, Helene. Gold and financial assets: are there any safe havens in bear markets? *Economics Bulletin*, 2011, vol. 31 No 2, p. 1613-1622.

DÍAZ, Sandra. Aplicación del modelo ARCH y GARCH para el cálculo de la volatilidad en riesgo de mercado. *Opciones Unab*, 2009, vol. 3 No 5, p.1- 17.

ELESCANO, Adolfo y AGÜERO, Ysela. Modelos ARCH: una aplicación en el pronóstico de la volatilidad de acciones cotizadas en la bolsa de valores de lima. *Pesquimat*, 2004, vol. 7, No 1, p. 64-79.

ENGLE, Robert. Autoregressive conditional heterocedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation: *Econometrics*, 1982, vol. 50 No 4, p. 987-1008.

GÓMEZ, Fabio. Estimación y pronóstico de la volatilidad de un portafolio con un modelo de la familia ARCH. Universidad Pontificia Bolivariana, 2014, Medellín.

LBMA GOLD PRICE, Ice benchmark administration (IBA), [en línea] [Citado 23, octubre, 2015]. Disponible en: <https://www.theice.com/iba/lbma-gold-price>.

LBMA, ICE Benchmark Administration (IBA) operates the new LBMA Gold Price, 2014. [en línea]. [Citado 23, octubre, 2015]. Disponible en: http://www.lbma.org.uk/lbma-gold-price&usg=ALkJrhjOiHlnx_2BAWrCYjttEyyVmUR5aQ%3E.

LEE, Rex. The demand for physical gold, the impact of Asia. *The Alchemist*, 1997, vol. 7, p. 5-7.

LJUNG, Greta y BOX, George. On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*, 1978, vol. 65(2), p. 297-303.

MANDELBROT, Benoit. La variación de ciertos precios especulativos. *The Journal of Business*, 1963, vol. 36 No 4, p. 394-419.

MILLS, Terence. Statistical analysis of daily gold price data. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2004, vol. 338, p. 559-566.

MISWAN, Nor; PING, Pung y AHMAD, Maizah; On parameter estimation for Malaysian gold prices modelling and forecasting: *International Journal of Mathematical Analysis*, 2013, vol. 22, p. 1059-1068.

NELSON, Daniel y FOSTER, Dean. Filtering and forecasting with misspecified ARCH models II: Making the right forecast with the wrong model, *Journal of Econometrics*, 1995, vol. 67 No 2, p. 303-335.

OROZCO DE LA PAZ, Sebastián. Análisis comparativo y causal de modelos de volatilidad para activos financieros. Trabajo de Grado. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería industrial, 2014. 72 p.

SALVATORE, Dominick. *Economía internacional (767)*. Sexta edición Editorial Prince Hall, 1999.

TULLY, Edel y LUCEY, Brian. A power GARCH examination of the gold market. *Research in International Business and Finance*, 2006, vol. 21, p. 316-325.

WORLD GOLD COUNCIL, Who we are. 2012. [en línea] [Citado 23, octubre, 2015]. Disponible en: <http://www.gold.org/about-us/who-we-are>.

WORLD GOLD COUNCIL, Public policy. 2012. [en línea] [Citado 23, octubre, 2015]. Disponible en: <http://www.gold.org/about-us/public-policy>.

WORLD GOLD COUNCIL, The World Gold Council welcomes LBMA appointment of IBA as the Gold Fix Administrator. 2012. [en línea] [Citado 23, octubre, 2015]. Disponible en: <http://www.gold.org/news-and-events/press-releases/world-gold-council-welcomes-lbma-appointment-iba-gold-fix>.

WORLD GOLD COUNCIL. Gold Price Events Timeline, 2015. [en línea] [Citado 23, octubre, 2015]. Disponible en: <http://www.gold.org/investment/interactive-gold-price-chart/2015>.

ZIVOT, Eric y WANG, Jiahui. Modelling financial time series with S-PLUS. Springer. New York, United States, 2013.