



IMPACTO DEL VOLUMEN DE NEGOCIACIÓN EN LOS RENDIMIENTOS DE LA ACCIÓN DE ECOPETROL Y OTRAS EMPRESAS PETROLERAS EN LA BOLSA DE VALORES DE COLOMBIA. ANÁLISIS EMPÍRICO¹

CARLOS AUGUSTO BARBOSA AYALA²

Resumen

Este estudio examina la relación causal entre rendimientos continuos, volatilidad y volumen de negociación para las tres principales acciones petroleras que cotizan en la Bolsa de Valores de Colombia (BVC). Usando datos diarios en el periodo comprendido entre el 22 de julio de 2010 al 23 de julio de 2012. El análisis incluye un estudio de la relación contemporánea entre las variables anteriormente citadas incluyendo el efecto de heterocedasticidad de las series. Adicionalmente se realiza un análisis en el contexto de agentes heterogéneos desarrollado por Llorente, Michaely, Saar y Wang (2002).

Palabras Claves: Ecopetrol, Rendimientos, Volumen de Negociación, Causalidad de Granger, GARCH (1,1)

Clasificación JEL: G19, C32, C14

¹ Trabajo presentado para optar por el título de Magister o Magistra en Economía de la Pontificia Universidad Javeriana.

² Agradezco la dirección del profesor Jorge Ruiz. Todos los errores son propios.

CONTENIDO

Lista de cuadros	iii
Lista de figuras.....	iii
Lista de tablas.....	iii
Introducción	1
Capítulo 1 Revisión de la literatura	4
Marco Teórico	4
Estudios Empíricos.....	5
Modelo LMSW.....	8
Capítulo 2 Metodología.....	9
Pruebas De Estacionariedad	9
Prueba de Dickey Fuller Aumentada (ADF).....	10
Prueba Phillip Perron:.....	10
Prueba KPSS:.....	10
Relación Contemporánea entre Rendimientos, Volúmenes y Volatilidad.....	11
Prueba de Causalidad de Granger.....	12
Modelo de Caracterización de agentes.....	14
Capítulo 3 Resultados y Análisis de Resultados.....	16
Descripción de los datos	16
Análisis preliminar de las series temporales	18
Relación Contemporánea entre rendimientos, volúmenes y volatilidad	19
Prueba de Causalidad de Granger.....	22
Volumen-rendimientos.....	22
Volumen-volatilidad	24
Modelo de Caracterización de agentes.....	25
Capítulo 4 Conclusiones Y Recomendaciones.....	26
Bibliografía.....	28
Anexos	32
Test de Wald	32
Correlogramas de los Residuos de los Modelos	33

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Resumen de las relaciones de causalidad Volúmenes-Rendimientos en la revisión de la literatura.
- Cuadro 2. Criterios para la selección del VAR

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Superior derecha: Evolución de los precios de las acciones estudiadas
 Superior izquierda: Evolución del volumen transado.
 Inferior derecha: Evolución de los rendimientos de las acciones estudiadas.
 Inferior izquierda: Evolución de los rendimientos al cuadrado.

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Número de acciones por trimestre para Canacol y Pacific Rubiales entre septiembre 2010 y septiembre 2012.
- Tabla 2. Pruebas de Raíz Unitaria para los rendimientos, volúmenes y rendimientos al cuadrado.
- Tabla 3. Estadísticas descriptivas de los rendimientos, volúmenes y rendimientos al cuadrado.
- Tabla 4. Relación contemporánea entre rendimientos y volúmenes.
- Tabla 5. Relación contemporánea entre rendimientos y volúmenes, incluyendo GARCH (1,1).
- Tabla 6. Relación contemporánea entre volatilidad y volúmenes.
- Tabla 7. Relación contemporánea entre rendimientos al cuadrado (volatilidad) y volúmenes, incluyendo GARCH (1,1)
- Tabla 8. Orden del VAR por cada criterio (Volumen-Rendimiento).
- Tabla 9. Prueba de causalidad de Granger (Volumen-Rendimiento).

- Tabla 10. Orden del VAR por cada criterio (Volumen-Volatilidad).
- Tabla 11. Prueba de causalidad de Granger (Volumen-Volatilidad).
- Tabla 12. Caracterización de agentes.
- Tabla 13. Caracterización de agentes, incluyendo GARCH (1,1)

INTRODUCCIÓN

Estudios empíricos que incluyan la información del volumen de negociación de las acciones que cotizan en la BVC son raros o no existen, los estudios empíricos existentes se basan en los índices bursátiles o los precios de las acciones, los más relevantes son Maya y Torres (2005) con una descripción de los hechos estilizados en la Bolsa de Valores de Colombia BVC, Montenegro (2006) con análisis del valor en libros de algunas empresas que cotizan en la BVC, Uribe (2007) donde hace una descripción detallada desde el punto de vista empírico del mercado accionario colombiano.

En la Bolsa de Valores de Colombia cotizan cuatro acciones petroleras: Ecopetrol, Canacol, Pacific Rubiales y Petrominerales. Dado que solamente las tres primeras acciones tienen una serie histórica suficientemente larga para hacer un análisis, este estudio se centra en ellas.

Ecopetrol S.A. es la empresa más grande y la principal compañía petrolera de Colombia, con operaciones en Brasil, Perú y el Golfo de México. Ecopetrol posee participaciones en campos productores de petróleo en la zona central, sur, oeste y norte de Colombia, así como refinerías, puertos para las exportaciones e importaciones de combustible en ambas costas y una red de transporte de oleoductos y poliductos en todo el territorio colombiano.

Canacol Energy es una compañía canadiense petrolera Junior con operaciones de producción y explotación en Sudamérica, sus principales operaciones se centran en Colombia y Ecuador.

Pacific Rubiales es una compañía canadiense cuyo objetivo es la exploración, desarrollo y producción de crudo pesado, combustible ligero y mediano y gas en Colombia, la compañía tiene bloques de exploración en Perú.

La participación de la nación en Ecopetrol es del 88.49% y un porcentaje de 11.51% por parte de los accionistas minoritarios, información al 31 de mayo de 2012. A finales del año 2011 estaban en circulación 41.116.698.456 acciones. La acción de Ecopetrol está

inscrita en la Bolsa de Valores de Colombia, en la Bolsa de Valores de Nueva York (NYSE) y en la Bolsa de Valores de Toronto a través de los ADR's nivel 2. Información tomada de la presentación a los accionistas 2012.

Canacol y Pacific Rubiales están listadas en la Bolsa de Valores de Colombia y en la Bolsa de Toronto (TSX) estas compañías pueden emitir acciones en cualquier momento y lo han hecho, el número de acciones por trimestre en el periodo de estudio para cada compañía se encuentran en el capítulo resultados y análisis de resultados.

En el periodo de estudio la acción de Ecopetrol tuvo un incremento del 58,96%, Canacol una desvalorización del 57.87% en línea con la desvalorización de Pacific Rubiales de 7,62%, a nivel internacional las acciones de compañías petroleras como Chevron 46.99%, Exxon 43,50%, Petrobras -39,97% y Hess -14,92%, donde se observa que Ecopetrol tuvo un comportamiento más favorable que ellas.

Dado que las empresas antes mencionadas tienen el mismo subyacente, el petróleo, y que han mostrado comportamientos en la valorización de la acción diferentes, y dada la importancia de Ecopetrol en la economía Colombiana, el presente estudio permitirá a los analistas y tomadores de política ver el impacto que tiene el volumen de negociación dentro de los rendimientos de la acción de Ecopetrol y otras empresas petroleras.

El presente trabajo analiza, desde el punto de vista empírico, la relación contemporánea y causal entre rendimientos, volatilidad (rendimientos al cuadrado) y volúmenes de negociación para las acciones de Ecopetrol, Canacol, y Pacific Rubiales, en el periodo comprendido del 22 de Julio de 2010 al 23 de Julio de 2012, el periodo se debe a que la acción de Canacol comenzó a negociarse en la Bolsa de Valores de Colombia el 19 de Julio de 2010. Petrominerales se excluye del presente análisis porque empezó a negociar en la BVC el 3 de agosto de 2011.

El análisis se hará utilizando modelos de regresión lineal incorporando el efecto de heterocedasticidad y modelos de regresión bivariada con pruebas de causalidad de Granger, para así comprobar desde el punto de vista empírico las relaciones entre rendimientos-volúmenes y volúmenes-volatilidad.

Adicionalmente se estima el modelo desarrollado por Llorente, Michaely, Saar y Wang (2002) de ahora en adelante Modelo LMSW y Modificado por Gagnon, Karolyi y Lee (2006), el cual examina la relación individual de volumen-retorno en el contexto de agentes heterogéneos con expectativas racionales, este modelo permite identificar si la acción es más negociada por agentes tácticos que por agentes especuladores.

Estos enfoques no habían sido utilizados en Colombia para analizar las variables rendimientos, volatilidad y volúmenes.

Al igual que los estudios pioneros Karpoff (1987) y estudios recientes Darwish (2012) en la relación rendimiento-volumen y volumen-volatilidad encontramos evidencia mixta de causalidad que depende entre otras del orden del VAR utilizado.

En cuanto a la caracterización de los agentes se obtuvo los mismos resultados del estudio de Grishchenko *et al* (2006), es decir no existe agentes dominadores en las acciones petroleras estudiadas.

El trabajo consta de la presente introducción, cuatro capítulos, bibliografía y dos anexos, el primer capítulo es la revisión de la literatura con dos componentes, un marco teórico y un resumen de los principales estudios empíricos. En el segundo capítulo se encuentra la metodología. En el tercer capítulo se encuentran los resultados y análisis de resultados. En el capítulo cuarto las conclusiones y recomendaciones, posteriormente la bibliografía, y finalmente dos anexos.

Capítulo 1 REVISIÓN DE LA LITERATURA

El presente capítulo se estructura en dos partes, en la primera se encuentra el marco teórico que muestra las diferentes teorías sobre las relaciones entre rendimientos y volúmenes y la segunda parte muestra los estudios empíricos sobre dichas relaciones.

MARCO TEÓRICO

La relación entre volumen de negociación y la valorización de las acciones ha sido ampliamente estudiado, pero el estudio se ha focalizado en índices accionarios, Karpoff (1987) hace una excelente revisión de la literatura de las primeras investigaciones sobre la relación entre ambas variables, y su importancia dentro de la estructura de los mercados financieros y las inferencias que se pueden hacer a partir del estudio de las dos variables.

Empíricamente se observa la relación entre volumen y rendimientos pero no existe un modelo económico que dé una respuesta definitiva entre el comportamiento de los precios y el volumen en el mercado de valores. Siguiendo a Aranda (2010) existen cuatro clases de modelos que analizan la relación dinámica entre volúmenes y rendimientos:

Modelos de Llegada secuencial de Información (LSI): Copeland (1976), Morse (1980) Jennings *et al* (1981,1983) Empieza con un equilibrio inicial donde todos los agentes tienen la misma información, cuando llega una nueva información al mercado, esta no es diseminada por igual a los agentes, por tanto los agentes ajustan su curva de demanda a medida que ellos van recibiendo la información, logrando así un nuevo equilibrio. Estos modelos sugieren una relación contemporánea positiva entre el volumen y los rendimientos Ainhoa (1998) y causalidad en el sentido de Granger en los dos sentidos Darwish (2012).

Modelos debido a Incentivos: Ikenberry *et al* (1989): Afirma que es posible que los agentes pueden hacer negociaciones teniendo en cuenta los incentivos por impuestos, o asumir pérdidas o ganancias en un momento dado y así aumentar el volumen de negociación.

Hipótesis de la Mezcla de Distribuciones: Clark (1973), Epps y Epps (1976), Tauchen y Pits (1983), Harris (1987), Richardson y Smith (1994), Blume *et al* (1994), He y Wang (1995), Andersen (1996), Chordia y Swaminathan (2000). Estos modelos afirman que debido a que las distribuciones de probabilidad de los rendimientos y los volúmenes tienen una variable en común que es la información que fluye del mercado, esta variable hace que exista una relación positiva entre el valor absoluto de los rendimientos y el volumen transado. Con estos modelos puede existir causalidad bidireccional es decir causalidad desde los rendimientos a los volúmenes y viceversa.

Inversionistas Ruidosos: De Long et al (1990). Establece que existe correlación positiva a corto plazo entre los rendimientos y el volumen pero dicha correlación se convierte en negativa al largo plazo. La causalidad positiva con dirección volumen de negociación a rendimientos se debe principalmente a que los agentes utilizan el volumen como una alerta de negociación, una relación causal positiva desde los rendimientos hacia el volumen es coherente con una retroalimentación positiva en las estrategias de transacción de los inversionistas.

ESTUDIOS EMPÍRICOS

Los primeros estudios analizaron la relación existente entre rendimientos y volumen, pero desde Karpoff (1987) se está examinando las dinámicas de causalidad, los estudios relevantes son Smirllok y Starks (1988) y Hiemnstra y Jones (1994) que encuentran una relación dinámica no lineal y lineal entre rendimientos y volumen.

Campbell *et al* (1993) encuentra una relación negativa entre las autocorrelaciones diarias de los precios y volúmenes, su estudio concluye que grandes volúmenes de negociación están asociados con correlaciones negativas de los rendimientos.

A nivel de mercados emergentes los estudios relevantes de Silvapulle y Choi (1998) y Ciner (2002), encuentran causalidad en las dos direcciones en el Mercado Surcoreano. Para otro mercado emergente como la India, Pant (2002) no encuentra ninguna relación entre rendimientos y volúmenes.

A nivel latinoamericano los estudios de Saatcioglu y Starks (1998) examinan la relación dinámica entre volumen y rendimientos para seis mercados, incluyendo a Colombia, y encuentran una relación positiva entre el volumen y los rendimientos, sin embargo, no encuentran una relación direccional de los rendimientos hacia los volúmenes. El trabajo de Aranda (2010) encuentra relaciones no lineales utilizando modelos STAR y sus derivados en el mercado accionario chileno. En cuanto a Colombia no se encontró literatura que analice el volumen de negociación y los rendimientos.

En el cuadro 1 se encuentra el resumen de los principales trabajos empíricos para los países desarrollados (cuadro 1a) y para los países emergentes (cuadro 1b).

Autor	Año	País	Causalidad	
			R causa V	V causa R
Smirlock y Starks	1988	Estados Unidos	•	
Jain y Joh	1988	Estados Unidos	•	
Hiemstra y Jones	1994	Estados Unidos	•	•
Silvapulle y Choi	1998	Corea	•	•
Ciner	2002	Corea	•	•
Chen et al	2001	Estados Unidos	•	
		Japón	•	
		Reino Unido		
		Italia	•	
		Hong Kong	•	•
		Holanda	•	•
		Francia	•	
		Suiza	•	•
Canadá	•	•		
Lee y Rui	2002	Estados Unidos	•	
		Japón	•	
		Reino Unido		
Ajayi et al	2006	Dinamarca	•	•
		Portugal	•	•
Henry y McKenzie	2006	Corea	•	•
Deo et al	2008	Hong Kong	•	•

Cuadro 1a. Relaciones de causalidad países desarrollados

En los diez estudios presentados en el cuadro 1a que cubre veintiún países desarrollados se ha encontrado evidencia de causalidad de los retornos a los volúmenes en el 38% (8) de los países; doble causalidad en el 52% (11) que corresponde a la teoría de

distribuciones mixtas; no hay evidencia de causalidad para el Reino Unido y en ningún caso existe causalidad de los volúmenes a los retornos.

Autor	Año	País	Causalidad	
			R causa V	V causa R
Gunduz y Hatemi-J	2005	Republica Checa		
		Hungría	•	•
		Polonia	•	•
		Rusia	•	
		Turquía	•	
Ajayi et al	2006	Turquía	•	•
Moosa y Al Loughani	1995	Malasia		•
		Singapur		•
		Tailandia		•
		Filipinas		
Pisedtasalasai y Gunasekarage	2007	Indonesia	•	
		Malasia	•	
		Singapur	•	•
		Tailandia	•	
		Filipinas		
Deo et al	2008	Indonesia	•	•
		Malasia	•	•
		Taiwán	•	•
Khan y Rizwan	2008	Pakistán	•	•
Mahajan Singh	2009	India	•	
Saatcioglu y Starks	1998	Argentina		•
		Brasil		•
		Chile		•
		Colombia		•
		México		•
		Venezuela		•
De Medeiros y Van	2006	Brasil		
Kamath	2008	Chile	•	

Cuadro 1b. Relaciones de causalidad países emergentes

En los nueve estudios presentados en el cuadro 1b que cubre veintiocho países emergentes se ha encontrado evidencia de causalidad de los retornos a los volúmenes en el 33% (7) de los países; doble causalidad en el 38% (8) que corresponde a la teoría de distribuciones mixtas; no hay evidencia de causalidad para Republica Checa y Filipinas.

MODELO LMSW

El modelo LMSW, se basa en una economía discreta, donde existen dos tipos de activos y dos grupos de inversionistas, los activos son un bono libre de riesgo y una acción que paga dividendo, este dividendo D_{t+1} que se paga al final del periodo de tiempo, es la suma de dos componentes (señales) F_t y G_t , esto es, $D_{t+1} = F_t + G_t$, los dos grupos de inversionistas observan el componente F_t (información pública), pero solo el grupo de inversionistas que llamaremos especuladores pueden observar el componente de información privada G_t , el otro grupo de inversionistas lo llamaremos tácticos. Se toma como grado de asimetría de la información una desviación estándar de la señal G_t , los inversores también tienen un activo que no es negociable cuyo pago es N_t , cuyas dotaciones son variables aleatorias $Z_t^i, i = 1, 2$. Los dos tipos de agentes maximizan su bienestar esperado usando para ello una función de utilidad exponencial sujeta al conjunto de información que poseen. Los choques son normalmente distribuidos con media cero y varianza constante, las variables son independientes y no están correlacionadas salvo la información del activo no negociable y los dividendos.

El modelo provee dos motivos para negociar: ya que el número de activos que es no negociable cambia para cada agente en cada tiempo t , estos deben negociar el activo con dividendo para mantener estable su nivel de riesgo, el otro motivo es que los agentes que tienen información privilegiada, cuando dicha información les llega toman posiciones especulativas.

La forma funcional, que permite evaluar empíricamente el modelo LMSW, se presenta en el Capítulo 2 METODOLOGÍA, en la sección MODELO DE CARACTERIZACIÓN DE AGENTES.

Capítulo 2 METODOLOGÍA

Como se mencionó al inicio del documento, este trabajo tiene como objetivo analizar empíricamente las relaciones entre rendimientos, volatilidad y volúmenes de negociación para las siguientes empresas petroleras: Ecopetrol, Canacol y Pacific Rubiales, a partir de tres análisis.

El primer análisis estudia la relación contemporánea entre las variables Rendimientos R_t , Volúmenes V_t y Rendimientos al cuadrado R_t^2 (variable proxy de la Volatilidad) por medio de regresiones lineales y modelos GARCH.

El segundo análisis busca la relación causal entre las variables de estudio para cada una de las acciones mediante la prueba de causalidad de Granger la cual parte de una correcta especificación de un VAR (Vector Auto Regresivo).

El tercer análisis busca evidencia empírica para caracterizar el tipo de agente que negocia las acciones citadas anteriormente por medio de un modelo de regresión lineal LMSW.

Para hacer el análisis propuesto se desarrolla la siguiente metodología:

- Pruebas de Estacionariedad.
- Relación empírica entre rendimientos, volumen y volatilidad.
- Prueba de causalidad de Granger.
- Caracterización de agentes (tácticos y especulativos) para las acciones analizadas.

A continuación se desarrollan en detalle cada uno de los puntos anteriores.

PRUEBAS DE ESTACIONARIEDAD

Una serie es estacionaria en sentido débil si su media y su desviación estándar existen y no son función del tiempo, para encontrar la relación causal entre dos variables es necesario realizar pruebas de raíz unitaria que permitan determinar si las series son estacionarias y así evitar regresiones espurias.

Tal como lo hace Khan y Rizwan (2008), Tripathy (2011) y Darwish (2012) en el presente estudio se realiza la prueba de Dickey Fuller aumentada (ADF), la prueba de Phillip Perron (PP) y la prueba de Kwiatkowski, Philips, Schimidth y Shin (KPSS).

PRUEBA DE DICKEY FULLER AUMENTADA (ADF)

La prueba se basa en la siguiente regresión

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \delta_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \delta_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Donde α una constante, β el coeficiente de la tendencia y p el rezago del proceso autoregresivo, Δ es el operador primera diferencia. La hipótesis nula es que $\gamma = 0$ (La serie es estacionaria) y la alterna es que $\gamma < 0$ (La serie no es estacionaria), la intuición del test es que si la serie es integrada entonces la variable y_{t-1} no da información que ayude a predecir el cambio en y_t . El valor de p se encuentra comparando varios modelos con el criterio de información de Akaike, el criterio de Hannan-Quinn o el Criterio de información de Schwarz. Para el presente trabajo se utilizó este último con un rezago máximo de diez y siete.

PRUEBA PHILLIP PERRON:

La prueba parte de la siguiente regresión:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

El test se utiliza para probar que la serie es integrada de orden 1 (no es estacionaria) y la hipótesis nula es que $\gamma = 0$, la serie no contiene una raíz unitaria (es estacionaria), y la alterna es $\gamma > 0$ la serie contiene una raíz unitaria.

PRUEBA KPSS:

En esta prueba la hipótesis nula es que la serie es estacionaria en tendencia y la alterna es que la serie es estacionaria en diferencias es decir la serie tiene raíz unitaria. La prueba parte de la siguiente regresión:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \epsilon_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

$$\epsilon_t = \epsilon_{t-1} + \eta_t$$

La regresión tiene tres componentes, α_0 y $\alpha_1 t$ son componentes determinísticas en la forma de una constante mas una tendencia lineal, el segundo componente ϵ_t es una serie aleatoria y el tercer componente es el error ε_t .

El estadístico es el siguiente:

$$LM = T^{-2} \sum_{t=1}^T S_t^2 / \hat{\sigma}^2 \quad (4)$$

Donde, $S_t = \sum_{i=1}^t e_i$ donde e_t es el residual mínimo de las regresiones después de correr el modelo con y sin intercepto, $\hat{\sigma}^2$ es un estimador de la varianza. Un estadístico de prueba más grande que los valores críticos es indicio de no Estacionariedad en tendencia o sea se rechaza la hipótesis nula.

RELACIÓN CONTEMPORÁNEA ENTRE RENDIMIENTOS, VOLÚMENES Y VOLATILIDAD

Este estudio, al igual que Darwish (2012) y Tripathy (2011) analiza la relación contemporánea entre rendimientos R_t , volumen V_t y volatilidad R_t^2 .

En la ecuación (5) se encuentra la relación empírica contemporánea entre los rendimientos y volúmenes, los rezagos de volumen y rendimientos se incluyen para tener en cuenta la posible correlación serial. Los términos que acompañan las variables y sus rezagos son los coeficientes y ε_t es el error de la regresión.

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

En la ecuación (6), la ecuación de la media es la misma que la ecuación (5) pero se tiene en cuenta el efecto ARCH (correlación de los residuos al cuadrado) para una mejor determinación de los coeficientes.

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Donde h_t es la varianza del término del error en tiempo t

La ecuación (7) analiza la relación del volumen con la volatilidad R_t^2

$$V_t = \gamma_0 + \gamma_1 V_{t-1} + \gamma_2 V_{t-2} + \gamma_3 V_{t-3} + \gamma_4 R_t^2 + \varepsilon_t \quad (7)$$

La ecuación (8) incorpora el efecto ARCH en la ecuación (7)

$$V_t = \varphi_0 + \varphi_1 V_{t-1} + \varphi_2 V_{t-2} + \varphi_3 V_{t-3} + \varphi_4 R_t^2 + \varepsilon_t \quad (8)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

PRUEBA DE CAUSALIDAD DE GRANGER

En este trabajo se analizan las relaciones entre Rendimientos y Volúmenes, y entre Volatilidad (Rendimientos al Cuadrado) y Volúmenes, por lo cual se realizan los siguientes Vectores Autoregresivos de Orden p (VAR(p)).

$$R_t = \alpha_1 + \sum_{i=1}^p \beta_{i1} V_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_{i1} R_{t-i} + \varepsilon_{i1} \quad (9)$$

$$V_t = \alpha_2 + \sum_{i=1}^p \beta_{i2} R_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_{i2} V_{t-i} + \varepsilon_{i2}$$

El anterior VAR modela la relación entre rendimientos y volúmenes, donde R_t y V_t son respectivamente los rendimientos y volúmenes en tiempo t , α_l con $l = 1, 2$ son los interceptos, β_{il} y γ_{il} con $l = 1, 2$ e $i = 1, \dots, p$ son parámetros y p es el orden del VAR.

De igual manera, el VAR que muestra la relación entre volatilidad y volúmenes está dado por:

$$R_t^2 = \delta_1 + \sum_{i=1}^p \theta_{i1} V_{t-i} + \sum_{i=1}^p \kappa_{i1} R_{t-i}^2 + \varepsilon_{i1} \quad (10)$$

$$V_t = \delta_2 + \sum_{i=1}^p \theta_{i2} R_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \kappa_{i2} V_{t-i} + \varepsilon_{i2}$$

donde R_t^2 y V_t son respectivamente la volatilidad y el volumen en tiempo t , δ_l con $l = 1, 2$ son los interceptos, $\theta_{i,l}$ y κ_{il} con $l = 1, 2$ e $i = 1, \dots, p$ son parámetros y p es el orden del VAR.

Para examinar la relación causal entre rendimientos y volumen se usara la prueba de causalidad de Granger. Para esto, primero se debe determinar el orden correcto del VAR. El procedimiento más común es minimizar uno o más criterios de información sobre un rango de modelos, los criterios más usados en la literatura moderna se encuentran definidos en el cuadro 2, básicamente cada criterio está compuesto de dos términos, el primer término tiene en cuenta la información de la matriz de varianza covarianza de los errores y el segundo término que caracteriza los grados de libertad del modelo, la diferencia entre los modelos es el grado de penalizar las variables que se incorporan en ellos, se remite al lector a Lütkepohl (2006) para un análisis comparativo entre los criterios.

Criterio	Forma Funcional
Predictor de Error Final	$\left[\frac{T + Kp + 1}{T - Kp - 1} \right]^K [\sum_u(p)]$
Criterio de Informacion de Akaike	$\left[\frac{2pK^2}{T} \right] + \ln [\sum_u(p)]$
Schwarz-Bayes	$\ln [\sum_u(p)] + \frac{\ln(T)}{T} pK^2$
Hannan-Quinn	$\ln [\sum_u(p)] + \frac{2\ln(\ln(T))}{T} pK^2$

Cuadro 2. Estimadores Rezago VAR

En el cuadro 2 se encuentran los criterios utilizados, donde T es el numero de datos, K es el numero de variables, en el presente trabajo K es 2 que corresponde a las variables rendimientos y volúmenes o volatilidad y volúmenes, p es el orden del VAR y $[\sum_u(p)]$ es el determinante de la matriz de varianza covarianza de los errores.

La prueba la desarrolló Granger (1969) y está diseñada para examinar si dos series de tiempo se mueven una detrás de la otra o simultáneamente. Cuando se mueven simultáneamente, entre las mismas series no proporcionan ninguna información para la caracterización de la otra. Si alguno de los valores $\beta_{i,1}$ en la ecuación (9) es estadísticamente diferente de cero, entonces se puede decir que el volumen en el sentido de Granger causa los retornos. De la misma manera si algún $\beta_{i,2}$ es estadísticamente diferente a cero, entonces los rendimientos en el sentido de Granger causan el volumen. Si ambos $\beta_{i,l}$ con $l = 1,2$ son estadísticamente significantes entonces existe una relación de retroalimentación, ahora si ambos $\beta_{i,l}$ con $l = 1,2$ son estadísticamente iguales a cero, entonces los rendimientos y los volúmenes se mueven contemporáneamente. Los mismos análisis se aplican con el parámetro θ en el VAR de la ecuación (10).

El estadístico para probar la significancia de los coeficientes, y así la causalidad, es la prueba de Wald que se distribuye como una $\chi^2(q)$, para mayor detalle ver anexo (1).

MODELO DE CARACTERIZACIÓN DE AGENTES

Para la caracterización de agentes partimos del modelo LMSW mejorado por Gagnon *et al* (2006) que parte de la siguiente regresión:

$$R_{i,t} = C_{0,i} + C_{1,i} \cdot R_{i,t-1} + C_{2,i} \cdot V_{i,t-1} \cdot R_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}, \quad (11)$$

Donde $R_{i,t}$ representa los rendimientos de la empresa i en el tiempo t para el presente estudio i son Ecopetrol, Canacol y Pacific Rubiales. $C_{0,i}$ es una constante, $C_{1,i}$ es el coeficiente de autocorrelación estimado para cada i , $V_{i,t-1}$ es el volumen de negociación en el día $t-1$, igual como Gagnon *et al* (2006). El coeficiente $C_{2,i}$ revela la importancia relativa de los agentes especuladores y tácticos, este parámetro es negativo y estadísticamente significativo si las negociaciones del activo son motivadas en su mayor parte por consideraciones estratégicas y debe ser positivo y significativo si las negociaciones del activo están fuertemente influenciadas por agentes especuladores, si no hay agentes dominantes el coeficiente debe ser no significativo.

Si se presenta el efecto de heterodocedasticidad en los residuos se considera la ecuación (11) con un GARCH (1,1)

$$R_{i,t} = C_{0,i} + C_{1,i} \cdot R_{i,t-1} + C_{2,i} \cdot V_{i,t-1} \cdot R_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}, \quad (12)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Capítulo 3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Como se dijo anteriormente para la elaboración de este trabajo se analizaron datos diarios de los precios de cierre de las acciones petroleras así como el número de acciones negociadas en el periodo comprendido entre el 22 de julio de 2010 al 23 de julio de 2012, para un total de 493 datos, tomados de Bloomberg en el siguiente enlace www.bloomberg.com/quote/BVC:CB Adicionalmente, la información del número de acciones emitidas por las empresas se tomó de los informes financieros de cada compañía.

El número de acciones emitidas por Canacol (CNEC) y Pacific Rubiales (PREC) cambian en el tiempo, ya que estas compañías pueden emitir acciones en cualquier momento, como lo dicen en los informes financieros de las dos compañías: “La corporación está autorizada a emitir un número ilimitado de acciones”. En la tabla 1, se encuentran el número de acciones de estas compañías para el periodo comprendido del tercer trimestre del 2010 hasta el tercer trimestre del 2012.

FECHA	CNEC	PREC
30 de septiembre de 2010	438 726 582	266 537 238
31 de diciembre de 2010	451 702 055	267 648 853
31 de marzo de 2011	499 099 660	268 124 603
30 de junio de 2011	511 636 603	269 423 353
30 de septiembre de 2011	512 952 603	271 631 454
31 de diciembre de 2011	613 285 603	292 178 055
31 de marzo de 2012	623 561 603	294 057 838
30 de junio de 2012	618 981 603	294 867 113
30 de septiembre de 2012	618 981 603	295 231 613

Tabla 1. Número de acciones por trimestre para Canacol y Pacific Rubiales entre Septiembre 2010 y septiembre 2012

Se observa que en el periodo analizado Canacol aumento en 41.09% el número de acciones en circulación y Pacific Rubiales solo un 10.77%. El aumento del número de acciones de Canacol en parte se debe a que la empresa emitió acciones para adquirir la pequeña empresa petrolera Shona Energy por 149 millones de dólares.

En la gráfica 1, se encuentra los precios de las acciones normalizadas al 22 de Julio de 2010 (parte superior izquierda) donde se observa que en el periodo de estudio la única acción que se valorizó fue Ecopetrol, Pacific Rubiales tuvo una ligera caída y la desvalorización de Canacol. En la parte inferior izquierda se encuentran los rendimientos cuya definición es:

$$R_t = \ln(S_t/S_{t-1}) \quad (13)$$

Donde R_t y S_t son el rendimiento y precio del activo en tiempo t respectivamente. El Volumen de negociación V_t en el tiempo t se define de la siguiente manera:

$$V_t = A_{n,t}/A_{e,t}. \quad (14)$$

Donde V_t es el volumen (turnover), $A_{n,t}$ son el número de acciones negociadas en el tiempo t y $A_{e,t}$ son las acciones emitidas en el tiempo t , como proxy de esta variable se tomaron el número de acciones que se encuentran en los informes financieros tabla 1. Los rendimientos al cuadrado se encuentran en la parte inferior derecha.

Se aprecia que la acción de Canacol y Pacific Rubiales son más volátiles que la acción de Ecopetrol. En la parte superior derecha se encuentra el turnover que se definió anteriormente.

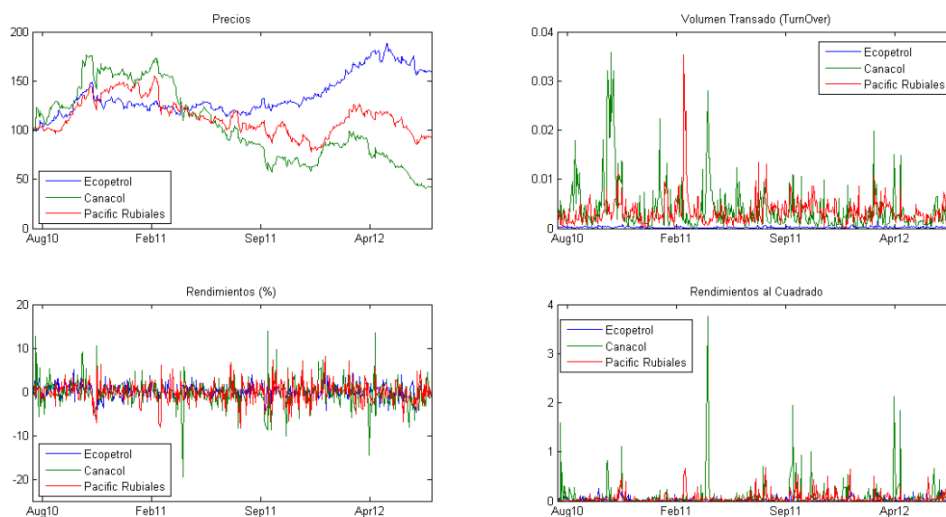


Figura 1. Precios, Rendimientos, volúmenes y Rendimientos al cuadrado en el periodo de estudio.

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LAS SERIES TEMPORALES

En la tabla 2 se encuentran las pruebas de raíz unitaria descritas en la sección pruebas de Estacionariedad para los rendimientos, volúmenes y rendimientos al cuadrado, los test se realizan con y sin agregar tendencia.

PRUEBA		RENDIMIENTOS			TURNOVER			RENDIMIENTOS ^2			V. Critico 95%
		ECOPETROL	CANACOL	PACIFIC	ECOPETROL	CANACOL	PACIFIC	ECOPETROL	CANACOL	PACIFIC	
ADF	No Tend.	-20,98	-21,83	-20,64	-3,23	-3,34	-4,93	-7,30	-11,65	-7,44	-1,94
	Tend	-21,04	-22,05	-20,64	-7,72	-8,16	-10,47	-11,98	-19,27	-12,18	-3,41
PP	No Tend.	-20,98	-21,92	-20,67	-6,33	-8,13	-5,60	-17,79	-19,44	-18,70	-1,94
	Tend	-21,09	-22,07	-20,67	-15,60	-12,16	-10,54	-18,67	-19,69	-19,14	-3,41
KPSS	Constante	0,12	0,40	0,14	0,31	0,61	0,10	0,20	0,08	0,33	0,46
	Tend	0,12	0,11	0,07	0,29	0,04	0,10	0,13	0,04	0,15	0,15

Tabla 2. Pruebas de Raiz Unitaria

A partir de la tabla 2, vemos que las series de los rendimientos, volúmenes (turnover) y rendimientos al cuadrado son estacionarias para cada una de las acciones con casi todas las pruebas con y sin tendencia sin embargo para la serie de volúmenes (turnover) de Canacol se rechaza la hipótesis al 5% en la prueba KPSS con constante lo mismo ocurre para la serie de volúmenes (turnover) de la acción de Ecopetrol con la prueba KPSS con tendencia.

Con los anteriores resultados se puede continúa con el análisis estadístico.

En la tabla 3 se encuentran las estadísticas descriptivas de las series

Estadísticas	RENDIMIENTOS			TURNOVER			RENDIMIENTOS ^2		
	ECOPETROL	CANACOL	PACIFIC	ECOPETROL	CANACOL	PACIFIC	ECOPETROL	CANACOL	PACIFIC
Promedio	0,001	-0,002	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,001	0,001
Mediana	0,001	-0,003	0,001	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000
Maximo	0,050	0,140	0,081	0,001	0,035	0,033	0,003	0,038	0,007
Minimo	-0,047	-0,194	-0,083	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Desv Est	0,015	0,031	0,024	0,000	0,005	0,003	0,000	0,003	0,001
Asimetria	-0,071	-0,082	-0,053	2,593	3,150	4,545	2,890	7,609	3,363
Curtosis	0,815	6,284	1,347	15,137	13,052	38,124	9,424	78,438	12,968
Jarque Bera	13,330	790,700	36,000	5152,000	4227,000	32966,000	24601,000	128260,000	4293,700
Probabilidad	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla 3. Estadísticas Descriptivas

Con los estadísticos de la Tabla 3 se refuerza las afirmaciones hechas a partir de la figura 1, esto es, que la acción de Ecopetrol en promedio tuvo rendimientos positivos, la acción de Canacol rendimientos negativos y Pacific Rubiales rendimientos casi nulos, también

con las estadísticas podemos ver que los rendimientos de Canacol y Pacific Rubiales tuvieron una mayor dispersión que los de Ecopetrol.

Los rendimientos de las tres compañías tienen coeficiente de asimetría negativa indicando una acumulación a la derecha de la distribución, a partir de la curtosis tenemos que las distribuciones son leptocurticas, los rendimientos de la acción de Canacol están más concentrados alrededor de la media que los otros rendimientos. Con el estadístico Jarque Bera vemos que no siguen una distribución normal, como es usual en los rendimientos de las series financieras.

RELACIÓN CONTEMPORÁNEA ENTRE RENDIMIENTOS, VOLÚMENES Y VOLATILIDAD

Los resultados de la ecuación (5) para las compañías analizadas se encuentran en la tabla 4. En la primera columna está el valor del coeficiente y en la segunda el valor del estadístico t, el cual es significativo al 5% si es mayor en valor absoluto a **2.33**.

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Coeficiente	ECOPETROL		CANACOL		PACIFIC	
	Valor	Estadístico t	Valor	Estadístico t	Valor	Estadístico t
α_0	0,000	0,350	-0,005	-2,418	0,003	1,571
α_1	19,716	3,684	0,593	1,468	-1,145	-2,238
α_2	-17,746	-3,297	0,155	0,385	0,236	0,460
α_3	0,059	1,309	-0,002	-0,037	0,060	1,332

Tabla 4. Relación contemporánea entre rendimientos y volúmenes.

A partir de la regresión (5), se observa que existe una relación contemporánea positiva entre los rendimientos y el volumen para la acción de Ecopetrol, no existe significancia para ningún coeficiente de la acción de Canacol, se encontró una relación contemporánea negativa (a un nivel de significancia del 10%) para la acción de Pacific Rubiales, Los resultados encontrados para Ecopetrol son consistentes por los encontrados en Lee y Rui (2000), De Medeiros and Van Doornik (2006), Khan y Rizwan (2008) y Darwish (2012) los cuales implican que los mercados en alza (baja) van acompañados con volumen alto

(bajo) de negociación, esta relación contemporánea es consistente con los modelos de llegada secuencial de la información y la hipótesis de la mezcla de distribuciones discutidas en el Capítulo 2. El resultado de Pacific Rubiales es coherente con el encontrado por el estudio de Tripathy (2011) el cual encontró una dependencia negativa no significativa del rendimiento respecto al volumen de negociación. Las gráficas de los residuos y residuos al cuadrado se encuentran en el anexo 2.

Como los residuos tienen efecto ARCH, ver figuras Anexo 2, esto es existe correlación entre los rezagos de los residuos al cuadrado, se realiza la regresión (6), cuyos resultados se encuentran en la Tabla 5. Para esta regresión el estadístico usado es z, el cual es significativo al 5% cuando es mayor en valor absoluto a 1.96

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Coeficiente	ECOPETROL		CANACOL		PACIFIC	
	Valor	Estadístico z	Valor	Estadístico z	Valor	Estadístico z
α_0	-0,001	-0,444	-0,004	-1,992	0,002	1,396
α_1	23,980	6,400	0,428	2,004	-1,065	-2,527
α_2	-16,011	-4,180	0,243	0,555	0,508	1,001
α_3	0,016	0,286	0,031	0,487	0,087	1,679
ω_0	0,000	2,672	0,000	5,996	0,000	2,840
ω_1	0,214	3,693	0,275	6,339	0,128	3,807
ω_2	0,510	3,788	0,567	11,235	0,813	17,550

Tabla 5. Relación contemporánea entre rendimientos y volúmenes, incluyendo GARCH(1,1).

Cuando se incorpora a la ecuación (5) el efecto ARCH se obtiene la ecuación (6) donde todos los coeficientes α_1 son significativos al 5%. Al incluir el efecto ARCH, los coeficientes de Canacol y Pacific Rubiales se vuelven significativos al 5%, hay una relación positiva entre los rendimientos y volúmenes para Ecopetrol y Canacol resultados que son consistentes con los encontrados por Lee *et al* (2000) en el mercado de valores de Hong-Kong y Khan y Rizwan (2008) en el mercado de Pakistan después de incorporar el efecto ARCH. Se encontró una relación negativa para Pacific Rubiales.

Todos los coeficientes para la volatilidad son positivos y significativos, el correlograma de los residuos estandarizados y residuos estandarizados al cuadrado se encuentra en el anexo 2.

Para las tres acciones estudiadas está presente el efecto de heterocedasticidad de los residuos de las regresiones, por tanto es necesario hacer las regresiones con un GARCH (1,1), los resultados de los residuos estandarizados se encuentran en el anexo 2, todos son ruido blanco.

Para analizar el efecto de la volatilidad (R_t^2) se realizaron las regresiones 7 y 8 para comprobar la relación contemporánea entre estas variables, los resultados se encuentran en las Tablas 6 y 7 respectivamente.

$$V_t = \gamma_0 + \gamma_1 V_{t-1} + \gamma_2 V_{t-2} + \gamma_3 V_{t-3} + \gamma_4 R_t^2 + \varepsilon_t \quad (7)$$

Coeficiente	ECOPETROL		CANACOL		PACIFIC	
	Valor	Estadístico t	Valor	Estadístico t	Valor	Estadístico t
γ_0	0,000	6,061	0,000	1,983	0,001	5,671
γ_1	0,289	7,513	0,492	12,621	0,541	12,209
γ_2	0,034	0,848	0,121	2,782	0,056	1,106
γ_3	0,186	4,852	0,130	3,331	0,027	0,617
γ_4	0,162	12,930	0,617	12,801	0,561	6,153

Tabla 6. Relación contemporánea entre volatilidad y volúmenes.

Se observa que el coeficiente γ_4 es positivo y estadísticamente significativo para las tres acciones estudiadas con un valor mayor para Canacol seguido de Pacific y por último Ecopetrol.

Lo que implica que existe una relación contemporánea entre rendimientos y volatilidad resultados que son coherentes por los encontrados por Tripathy (2011). Económicamente esta relación nos permite concluir al igual que en Tripathy (2011) y Brailsford (1996) que la llegada de información afecta de manera positiva el volumen para cada una de las acciones aquí estudiadas.

$$V_t = \gamma_0 + \gamma_1 V_{t-1} + \gamma_2 V_{t-2} + \gamma_3 V_{t-3} + \gamma_4 R_t^2 + \varepsilon_t \quad (8)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Coeficiente	ECOPETROL		CANACOL		PACIFIC	
	Valor	Estadístico z	Valor	Estadístico z	Valor	Estadístico z
γ_0	0,000	4,607	0,001	4,502	0,001	4,788
γ_1	0,310	7,170	0,356	8,990	0,489	9,290
γ_2	0,050	1,011	0,080	2,450	0,051	0,940
γ_3	0,173	3,666	0,154	4,223	0,059	1,175
γ_4	0,157	16,679	0,651	21,275	0,475	11,434
ω_0	0,000	2,235	0,000	7,964	0,000	5,229
ω_1	0,013	1,683	0,410	6,916	0,416	8,505
ω_2	0,954	46,180	0,507	10,628	0,199	1,891

Tabla 7. Relación contemporánea entre volatilidad y volúmenes, incluyendo GARCH (1,1).

Con el modelo 8 se obtienen los mismos signos y significancia de los coeficientes por tanto las mismas conclusiones que con los resultados del modelo 7.

PRUEBA DE CAUSALIDAD DE GRANGER

En la presente sección se encuentran los resultados de la prueba de causalidad de Granger entre las variables volumen-rendimientos y volumen-rendimientos al cuadrado (volatilidad). Los residuales de todos los modelos son ruido blanco al 5%.

VOLUMEN-RENDIMIENTOS

En la tabla 8 se encuentra el orden del VAR seleccionado por cada criterio del cuadro 1 para cada una de las acciones estudiadas. Ecuación (9).

$$R_t = \alpha_1 + \sum_{i=1}^p \beta_{i1} V_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_{i1} R_{t-i} + \varepsilon_{i1} \quad (9)$$

$$V_t = \alpha_2 + \sum_{i=1}^p \beta_{i2} R_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_{i2} V_{t-i} + \varepsilon_{i2}$$

Criterio	ECOPETROL	CANACOL	PACIFIC
Predictor de Error Final	4	5	2
Criterio de Informacion de Akaike	4	5	2
Schwarz-Bayes	1	1	1
Hannan-Quinn	3	2	2

Tabla 8. Orden del VAR por cada criterio (Volumen-Rendimiento)

A partir de la tabla 8 se realizaron las pruebas de causalidad de Granger para cada criterio, los resultados se encuentran en la Tabla 9.

Criterio	ECOPETROL		CANACOL		PACIFIC	
	χ^2	Prob	χ^2	Prob	χ^2	Prob
Predictor de Error Final						
V no Causa R	5,90	0,21	4,68	0,46	4,78	0,09
R no Causa V	7,57	0,11	7,56	0,18	7,30	0,03
Criterio de Informacion de Akaike						
V no Causa R	5,90	0,21	4,68	0,46	4,78	0,09
R no Causa V	7,57	0,11	7,56	0,18	7,30	0,03
Schwarz-Bayes						
V no Causa R	3,83	0,05	2,99	0,08	1,47	0,23
R no Causa V	0,11	0,73	2,32	0,13	0,31	0,58
Hannan-Quinn						
V no Causa R	5,07	0,17	3,66	0,16	4,78	0,09
R no Causa V	5,16	0,16	2,73	0,26	7,30	0,03

Tabla 9. Prueba de Causalidad de Granger (Volumen-Rendimiento)

A partir de la Tabla 9 podemos concluir lo siguiente:

Ecopetrol y Canacol: en tres de los cuatro criterios el volumen no causa la rentabilidad en el sentido de Granger, (Canacol al 10% criterio de Schwarz-Bayes), es decir, que con la información pasada del volumen no podemos predecir estadísticamente el futuro de los rendimientos y con los cuatro criterios la rentabilidad no causa el volumen. Es decir, no existe causalidad bidireccional. Resultados coherentes por los obtenidos en Trypathi (2011) el cual analiza el mercado Hindú.

Pacific Rubiales: En tres de los cuatro criterios se encuentra causalidad bidireccional. Esto es consistente con los resultados de Moosa y A-Lougahni (1995), Silvapulle y Choi (1999), Khan y Rizwan (2008), los cuales reportan relación causal bidireccional en las

bolsas de valores asiáticas y algunos mercados emergentes europeos como Hungría, Polonia y Rusia. Estos resultados son soportados por las teorías de arribo secuencial de la información y la hipótesis de distribuciones mixtas.

VOLUMEN-VOLATILIDAD

Se realizó el mismo procedimiento anterior entre las variables volumen y volatilidad (rendimientos al cuadrado) y los resultados se encuentran en las tablas 10 y 11.

Criterio	ECOPETROL	CANACOL	PACIFIC
Predictor de Error Final	3	5	3
Criterio de Informacion de Akaike	3	5	3
Schwarz-Bayes	2	2	1
Hannan-Quinn	3	2	1

Tabla 10. Orden del VAR por cada criterio (Volumen-Volatilidad)

Criterio	ECOPETROL		CANACOL		PACIFIC	
	χ^2	Prob	χ^2	Prob	χ^2	Prob
Predictor de Error Final						
V no Causa R	2,77	0,43	4,13	0,53	162,72	0,00
R no Causa V	4,11	0,25	9,47	0,09	3,68	0,30
Criterio de Informacion de Akaike						
V no Causa R	2,77	0,43	4,13	0,53	162,72	0,00
R no Causa V	4,11	0,25	9,47	0,09	3,68	0,30
Schwarz-Bayes						
V no Causa R	2,51	0,29	3,01	0,22	150,25	0,00
R no Causa V	0,78	0,68	1,26	0,53	13,11	0,00
Hannan-Quinn						
V no Causa R	2,77	0,43	3,01	0,22	150,25	0,00
R no Causa V	4,11	0,25	1,26	0,53	13,11	0,00

Tabla 11. Prueba de Causalidad de Granger (Volumen-Volatilidad)

Al analizar los resultados de la Tabla 11 podemos concluir que la volatilidad causa el volumen únicamente en la acción de Pacific Rubiales, este resultado está en línea con los resultados obtenidos por Brailsford (1996), Tripathy (2011) y Darwish (2012). Implicando que cuando hay alta volatilidad habrá alto volumen. Los resultados de Ecopetrol y Canacol concuerdan con algunos de los resultados de las acciones

encontradas por Habib (2011) en el mercado egipcio. Esto es, que ninguna de las variables puede ser usada para predecir el comportamiento de la otra.

MODELO DE CARACTERIZACIÓN DE AGENTES

Los resultados del modelo LMSW ecuaciones 11 y 12 se encuentran a continuación

$$R_{i,t} = C_{0,i} + C_{1,i} \cdot R_{i,t-1} + C_{2,i} \cdot V_{i,t-1} \cdot R_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}, \quad (11)$$

Coeficiente	ECOPETROL		CANACOL		PACIFIC	
	Valor	Estadístico t	Valor	Estadístico t	Valor	Estadístico t
C_0	0,001	1,320	-0,002	-1,157	0,000	-0,090
C_1	0,011	0,141	0,061	0,922	0,019	0,322
C_2	118,830	0,585	-5,702	-1,035	10,122	1,274

Tabla 12. Caracterización de agentes

$$R_{i,t} = C_{0,i} + C_{1,i} \cdot R_{i,t-1} + C_{2,i} \cdot V_{i,t-1} \cdot R_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}, \quad (12)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Coeficiente	ECOPETROL		CANACOL		PACIFIC	
	Valor	Estadístico z	Valor	Estadístico z	Valor	Estadístico z
C_0	0,001	1,781	-0,001	-1,125	0,001	0,730
C_1	-0,038	-0,361	0,057	0,624	0,067	0,958
C_2	177,915	0,589	-1,562	-0,129	4,886	0,484
ω_0	0,000	2,187	0,000	6,699	0,000	2,920
ω_1	0,163	2,819	0,274	6,221	0,137	3,866
ω_2	0,487	2,527	0,567	11,948	0,798	16,222

Tabla 13. Caracterización de agentes, incluyendo GARCH (1,1).

A partir de los resultados de las Tablas 12 y 13 se puede concluir que no existen agentes característicos dominantes que negocien cada compañía, ya que los resultados son no significativos. Este resultado, de no significancia, es coherente con el trabajo desarrollado por Grishchenko *et al* (2006). Ellos encontraron, en Colombia, en una muestra de cuarenta compañías que treinta y una de ellas tenían el coeficiente no significativo.

Capítulo 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo de grado analizó las relaciones dinámicas entre volúmenes de negociación, rendimientos y volatilidad (rendimientos al cuadrado), usando datos diarios en el periodo comprendido entre el 22 de Julio de 2010 al 23 de Julio de 2012 de las tres principales compañías petroleras (Ecopetrol, Canacol y Pacific Rubiales) que cotizan en la Bolsa de Valores de Colombia.

Cuando los modelos se especifican correctamente, es decir se corrigen los problemas de heterocedasticidad, incorporando el efecto ARCH, se observan relaciones contemporáneas entre los volúmenes transados y los rendimientos de los activos para las tres compañías analizadas. Para los volúmenes y la volatilidad, con y sin efecto ARCH, se observan relaciones contemporáneas entre dichas variables. Esta relación contemporánea indica que los precios están determinados linealmente por el volumen, hecho utilizados por los agentes para tomar decisiones de compra y venta de las acciones.

Para Ecopetrol y Canacol no se halló evidencia estadística para probar la causalidad en el sentido de Granger en ninguno de los dos modelos (Volúmenes \rightarrow Rendimientos; Volúmenes \rightarrow Volatilidad). Para Pacific Rubiales en tres de los cuatro criterios se encontró que existe causalidad bidireccional como lo sugieren las teorías de arribo secuencial de información y la hipótesis de distribuciones mixtas. Según estos resultados las acciones Ecopetrol y Canacol son eficientes en sentido débil, es decir que no es posible determinar los precios futuros con su información histórica. En el caso de la acción de Pacific Rubiales, no se cumple que las acciones sean eficientes en el sentido débil, ya que con la información de los volúmenes transados, en el periodo de estudio, se puede predecir el precio.

Las regresiones se corrieron para los volúmenes sin ajuste por las acciones emitidas y las conclusiones (signos y estadísticos) no variaron.

En la aplicación del modelo de caracterización de agentes (LMSW) se observa que no existen agentes característicos dominantes (Especuladores y Tácticos) para los tres activos estudiados (Ecopetrol, Canacol y Pacific Rubiales). Situación que permite a los

agentes tener confianza con estos activos petroleros y aporta evidencia empírica a favor de la consolidación del mercado accionario colombiano.

Futuros trabajos de investigación, sobre esta misma línea, podrían incluir el estudio de los índices de la Bolsa de Colombia (IGBC y COLCAP) y de las otras acciones del mercado colombiano, como también incluir análisis de causalidad no lineal lo que permitiría un entendimiento más profundo del mercado de valores de Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

Ajayi, R.A.; Mehdián, S.; and M. Mougoue, (2006), "The empirical relation between price changes and trading volumes: Further evidence from European stock markets", *Alliance Journal of Business Research* 1, 3-20.

Ainhoa, Z. (1998). "Análisis de Causalidad entre Rendimiento y Volumen", *Investigaciones Económicas*, 22, pp. 45-67.

Andersen, T. (1996). "Return Volatility and Trading Volume: An Information Flow Interpretation of Stochastic Volatility", *The Journal of Finance*, 51 (1), pp. 169-204.

Aranda, R. y P. Jaramillo. (2010). "Dinámica no lineal en el Mercado accionario Chileno: Evidencia de retornos y volúmenes transados", *Revista de Economía Chilena*, 13 (3), pp. 67-94.

Blume, L.,D., Easley y O'Hara, M.(1994). "Market Statistics and Technical Analysis: The Role of Volume", *Journal of finance*, 49 (1), pp. 153-181.

Brailsford, T.J. (1996), "The empirical relationship between trading volume, returns and volatility", *Accounting and Finance* 35 (1): 89-111

Campbell, J.,S. Grossman, y J. Wang (1993). "Trading Volume and Serial correlation in stock returns", *Quarterly Journal of economics*, 108, pp. 905-939.

Chen, G.; M. Firth; and O.M. Rui, (2001), "The Dynamic relation between stock returns, trading volume, and volatility", *Financial Review* 38, 153-174.

Chordia, T. y B. Swaminathan (2000). Trading Volume and Cross-Autocorrelations in stock returns", *The Journal of finance*, 55(2), pp. 913-935.

Ciner, C. (2002). "The Stock Price-Volume Linkage on the Toronto Stock Exchange: Before and After Automatization", *Review of Quantitative Finance and Accounting* 19(4), pp. 335-349.

Clark, P.K. (1973). "A subordinated Stochastic Process Model with Finite Variance for Speculative Prices", *Econometrica*, 41(1), pp. 135-155.

Copeland, T.E (1976). "A Model of Asset Trading Under the Assumption of Sequential Information Arrival", *Journal of Finance*, 55, pp. 1149-1168.

Darwish, M.J. (2102), "Testing the Contemporaneous and Causal Relationship between Trading Volume and Return en the Palestine Exchange", *Interdisciplinary Journal of Research In Business*, 3(10), pp. 55-64.

De Long, J.B, A. Shleifer, L.H. Summer y R.J. Waldman (1990). “Positive Feedback Investment Strategies and Destabilizing Rational Speculation”, *Journal of Finance*, 45(2), pp. 379-395.

De Medeiros, O.R., and B.F Van Doornik, (2006), "The empirical relationship between stock returns, return volatility and trading volume in the Brazilian stock market", a working paper series, University of Brasilia.

Deo, M.; Srinivasan K.; and K. Devanadhen, (2008), "The empirical relationship between stock returns, trading volume, and volatility: Evidence from select Asia –Pacific stock market", *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences* 12, 58-68

Epps, T.W. y M.L. Epps (1976). “The Stochastic Dependence of Securities Prices Changes and Transaction Volumes: Implications for the Mixture of Distributions Hypothesis”, *Econometrica*, 44(2), pp. 305-321.

Gagnon, Louis Joseph, Karolyi, George Andrew y Lee, Kuan-Hui, (2006) “The Dynamic Volume-Return Relationship of Individual Stocks: The International Evidence“, *AFA 2008 New Orleans Meetings Paper*. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=968672> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.968672>

Granger, C.W. J., (1969), "Investigating causal relations by econometric models and cross spectral methods", *Econometrica* 37,424-438.

Grishchenko, O.V, Lubomir P. Litov, and Jianping Mei, (2006). “Private Información Trading an Corporative in Emerging Markets”, Working papers, New York University.

Gunduz, L., and A. Hatemi-J, (2005), "Stock price and volume relation in emerging markets", *Emerging Markets Finance and Trade* 41, 29-44.

Habib, N.M., (2011), “Trade Volume and Returns in Emerging Stock Markets An Empirical Study: The Egyptian Market”, *International Journal of Humanities and Social Science*, 1(19), pp. 303–312.

Harris, L., (1987), "Transaction Data Tests of the Mixture of Distributions Hypothesis", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 22, pp.127-141.

He, H. y J. Wang (1995). “Differential Information and Dynamic Behavior of Stock Trading Volume”, *Review Of Financial Studies*, 8(4), pp. 919–972.

Hiemstra, C. y J.D. Jones (1994). “Testing for Linear and Nonlinear Granger Causality in the Stock Price-Volume Relation”, *Journal of Finance*, 49(5), pp. 1639–1664.

Ikenberry, D. and J. Lakonishok (1989), “ Seasonal Anomalies in Financial Markets: A Survey, in R. M. C. Guimaraes, B. G. Kingsman and s. J. Taylor (eds.) A Reappraisal of the Efficiency of Financial Markets”, Berlin: Springer-Verlag, pp. 87-111.

Jain, P.C., and G. H. Joh, (1988), "The dependence between hourly prices and trading volume", *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 23, 269-283

Jennings, R.; L. Starks y J. Fellingham (1981). “An Equilibrium Model of Asset Trading with Sequential Information Arrival”, *Journal of Finance*, 36, pp. 143–161.

Karpoff, J.M. (1987). “The Relation between Price Changes and Trading Volume: A Survey”, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 22(1), pp.: 109–126.

Khan, S.U and F. Rizwan, (2008), "Trading volume and stock returns Evidence from Pakistan's stock market", *International Review of Business Research papers* 4, 151-162

Lee, C. F., and O.M. Rui, (2000), "Does trading volume contain information to predict stock returns? Evidence from China's stock markets", *Review of quantitative finance and accounting*, 14, 341-360

Lee, B. S., and O.M. Rui, (2002), "The dynamic relationship between stock returns and trading volume: Domestic and cross – country evidence", *Journal of Banking and finance* 26, 51-78.

Llorente, G., R. Michaely, G. Saar, and J. Wang, (2002), “Dynamic volume-return relation of individual stocks”, *Review of Financial Studies* ,15, pp.:1005-1048.

Lütkepohl, H. (2006), “New introduction to multiple time series analysis”, Springer.

Maya C y Torres G. (2005). “Las caminatas aleatorias no son de este mundo. Teoría y revisión bibliográfica sobre evidencia empírica”, *Revista Universidad EAFIT*, 41 No 138:65–83.

Montenegro, A. (2006). “La información bursátil en Colombia”, *Documentos de economía*, 2006-04.

Mahajan S., and B. Singh, (2009), "The empirical investigation of relationship between return, volume, and volatility dynamics in Indian stock market" *Eurasian Journal of Business and Economics* 2,113-137.

Moosa, I. A., and N. E. Al – Loughani, (1995), "Testing the price – volume relation in emerging Asian stock markets" *Journal of Asian Economics* 6, 407-422.

Morse, D., (1980),” Asymmetrical Information in Securities Markets and Trading Volume”, *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 15 (5), pp. 1129-1148.

Pisedtasalasai, A., and A. Gunasekarage (2007), "Causal and dynamic relationships among stock returns, return volatility, and trading volume: Evidence from emerging markets in South-East Asia", *Asia-Pacific Financial Markets* 14, 277-297

Pant, B. (2002). "Testing Dynamic Relationships between Returns and Trading Volume on the National Stock Exchange", Working Paper, Indian Institute of Capital Markets.

Richardson, M. y Smith, T. (1994), "A direct test of the mixture of distributions hypothesis: measuring the daily flow information", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 29, pp.101-116.

Saatcioglu, K. y L.T. Starks (1998). "The Stock Price-Volume Relationship in Emerging Stock Markets: The Case of Latin America", *International Journal of Forecasting*, 14, pp. 215–225.

Silvapulle, P. y J.-S. Choi (1999). "Testing for Linear and Nonlinear Granger Causality in Stock Price-Volume Relation: Korean Evidence", *Quarterly Review of Economics and Finance*, 39(1), pp. 56–76.

Smirlock, M. y L. Starks (1988). "An empirical analysis of the stock prices-volume relationship", *Journal of Banking and Finance*, 12, pp. 31–41.

Tauchen, G. and M. Pitts (1983). "The Price Variability-Volume Relationship on Speculative Markets", *Econometrica*, 51, pp. 485-505.

Tripathy, N. (2011), "The Relation Between Price Changes and Trading Volume: A Study in Indian Stock Market", *Interdisciplinary Journal of Research In Business*, 1(7), pp. 81-95.

Uribe, J.M. (2007), "Caracterización del mercado accionario colombiano, 2001-2006: Un análisis comparativo", *Borradores de Economía*, 456.

ANEXOS

ANEXO 1. TEST DE WALD

Para el caso de regresión lineal:

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (A1.1)$$

Y restricción lineal $H_0: R\beta - r = 0$

Donde R es una matriz $q \times k$ y r es un q vector, el estadístico Wald es:

$$W = (Rb - r)'(Rs^2(X'X)^{-1}R')^{-1}(Rb - r) \quad (A1.2)$$

El cual es asintóticamente distribuido como una $\chi^2(q)$, donde

$$s^2 = (u'u)/(N - k) \quad (A1.3)$$

k Vector de parámetros a ser estimados, q el número de restricciones a ser impuestas.

ANEXO 2. CORRELOGRAMAS DE LOS RESIDUOS DE LOS MODELOS

En este anexo se presentan los residuos (residuos estandarizados) y residuos (residuos estandarizados) al cuadrado para los modelos realizados en el trabajo.

Ecuación 5 Ecopetrol

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Correlograma de los residuos

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.003	0.003	0.0032	0.955
		2	-0.022	-0.022	0.2484	0.883
		3	-0.005	-0.005	0.2616	0.967
		4	-0.088	-0.088	4.0801	0.395
		5	-0.077	-0.077	7.0163	0.219
		6	0.022	0.018	7.2688	0.297
		7	-0.030	-0.035	7.7277	0.357
		8	0.011	0.003	7.7873	0.455
		9	0.020	0.005	7.9879	0.535
		10	-0.044	-0.047	8.9654	0.535
		11	0.053	0.052	10.369	0.498
		12	0.031	0.025	10.848	0.542
		13	0.028	0.035	11.252	0.590
		14	-0.004	-0.009	11.260	0.666
		15	-0.036	-0.033	11.932	0.684
		16	-0.015	0.000	12.052	0.740
		17	0.017	0.020	12.201	0.788
		18	-0.048	-0.043	13.365	0.769
		19	0.067	0.063	15.665	0.680
		20	0.025	0.015	15.985	0.718

Correlograma de los residuos al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.198	0.198	19.298	0.000
		2	0.222	0.191	43.733	0.000
		3	0.081	0.009	47.021	0.000
		4	0.085	0.031	50.633	0.000
		5	0.036	0.001	51.280	0.000
		6	0.088	0.065	55.170	0.000
		7	-0.013	-0.050	55.256	0.000
		8	0.024	0.002	55.541	0.000
		9	0.007	0.010	55.565	0.000
		10	-0.009	-0.022	55.604	0.000
		11	-0.020	-0.019	55.810	0.000
		12	-0.022	-0.018	56.062	0.000
		13	0.010	0.031	56.108	0.000
		14	-0.085	-0.091	59.772	0.000
		15	-0.046	-0.025	60.837	0.000
		16	-0.047	-0.001	61.983	0.000
		17	-0.049	-0.024	63.190	0.000
		18	0.001	0.035	63.191	0.000
		19	0.001	0.010	63.191	0.000
		20	0.008	0.022	63.228	0.000

Ecuación 6 Ecopetrol

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Correlograma residuos estandarizados

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.052	0.052	1.3231	0.250
		2	-0.018	-0.021	1.4815	0.477
		3	-0.003	-0.001	1.4850	0.686
		4	-0.072	-0.072	4.0291	0.402
		5	-0.084	-0.078	7.5837	0.181
		6	0.002	0.007	7.5859	0.270
		7	-0.027	-0.031	7.9541	0.337
		8	0.003	0.001	7.9586	0.438
		9	0.016	0.004	8.0928	0.525
		10	-0.057	-0.065	9.7529	0.462
		11	0.055	0.059	11.256	0.422
		12	0.035	0.023	11.883	0.455
		13	0.046	0.049	12.962	0.451
		14	-0.015	-0.026	13.075	0.521
		15	-0.036	-0.035	13.727	0.546
		16	-0.017	0.000	13.878	0.608
		17	0.025	0.032	14.201	0.653
		18	-0.041	-0.037	15.072	0.657
		19	0.074	0.075	17.883	0.530
		20	0.037	0.018	18.571	0.550

Correlograma de los residuos estandarizados al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.001	-0.001	0.0002	0.988
		2	0.029	0.029	0.4143	0.813
		3	-0.021	-0.021	0.6332	0.889
		4	-0.017	-0.018	0.7794	0.941
		5	-0.007	-0.006	0.8037	0.977
		6	0.054	0.054	2.2352	0.897
		7	0.005	0.005	2.2486	0.945
		8	-0.031	-0.035	2.7223	0.951
		9	-0.008	-0.006	2.7514	0.973
		10	-0.006	-0.002	2.7701	0.986
		11	-0.026	-0.026	3.1063	0.989
		12	-0.003	-0.008	3.1122	0.995
		13	0.057	0.058	4.7861	0.980
		14	-0.085	-0.083	8.4498	0.865
		15	-0.008	-0.012	8.4815	0.903
		16	-0.021	-0.014	8.6985	0.925
		17	-0.061	-0.060	10.589	0.877
		18	0.031	0.031	11.083	0.891
		19	-0.020	-0.027	11.288	0.914
		20	0.049	0.053	12.532	0.897

Ecuación 7 Ecopetrol

$$V_t = \gamma_0 + \gamma_1 V_{t-1} + \gamma_2 V_{t-2} + \gamma_3 V_{t-3} + \gamma_4 R_t^2 + \varepsilon_t \quad (7)$$

Correlograma de los residuos

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.017	0.017	0.1380	0.710
		2	0.049	0.048	1.3088	0.520
		3	0.011	0.009	1.3640	0.714
		4	-0.040	-0.043	2.1724	0.704
		5	0.007	0.007	2.1963	0.821
		6	0.056	0.061	3.7818	0.706
		7	0.003	0.001	3.7856	0.804
		8	0.036	0.028	4.4265	0.817
		9	0.091	0.090	8.5347	0.481
		10	0.006	0.005	8.5547	0.575
		11	0.043	0.033	9.4928	0.577
		12	-0.015	-0.019	9.6042	0.651
		13	-0.005	-0.001	9.6159	0.725
		14	0.007	0.004	9.6420	0.788
		15	0.127	0.123	17.846	0.271
		16	-0.033	-0.042	18.399	0.301
		17	0.056	0.037	20.015	0.273
		18	0.034	0.030	20.602	0.300
		19	-0.042	-0.041	21.519	0.309
		20	-0.013	-0.028	21.610	0.362

Correlograma de los residuos al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.005	0.005	0.0114	0.915
		2	-0.003	-0.003	0.0145	0.993
		3	0.030	0.030	0.4681	0.926
		4	-0.014	-0.014	0.5674	0.967
		5	-0.021	-0.020	0.7758	0.979
		6	-0.004	-0.005	0.7855	0.992
		7	-0.003	-0.002	0.7888	0.998
		8	-0.002	-0.001	0.7900	0.999
		9	0.075	0.074	3.5704	0.937
		10	-0.013	-0.014	3.6498	0.962
		11	-0.007	-0.007	3.6729	0.979
		12	-0.023	-0.028	3.9495	0.984
		13	-0.016	-0.013	4.0833	0.990
		14	-0.005	-0.002	4.0985	0.995
		15	0.019	0.021	4.2732	0.997
		16	-0.022	-0.022	4.5135	0.998
		17	0.005	0.004	4.5264	0.999
		18	0.002	-0.006	4.5280	0.999
		19	-0.024	-0.021	4.8177	1.000
		20	-0.018	-0.017	4.9835	1.000

Ecuación 8 Ecopetrol

$$V_t = \varphi_0 + \varphi_1 V_{t-1} + \varphi_2 V_{t-2} + \varphi_3 V_{t-3} + \varphi_4 R_t^2 + \varepsilon_t \quad (8)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Correlograma de los residuos estandarizados

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.005	0.005	0.0148	0.903
		2	0.029	0.029	0.4235	0.809
		3	0.008	0.007	0.4524	0.929
		4	-0.042	-0.043	1.3436	0.854
		5	-0.001	-0.001	1.3442	0.930
		6	0.046	0.048	2.3787	0.882
		7	0.004	0.004	2.3848	0.936
		8	0.036	0.031	3.0188	0.933
		9	0.081	0.081	6.3400	0.705
		10	0.008	0.009	6.3699	0.783
		11	0.040	0.036	7.1881	0.784
		12	-0.019	-0.020	7.3617	0.833
		13	-0.001	0.004	7.3620	0.883
		14	0.001	-0.001	7.3625	0.920
		15	0.115	0.112	14.080	0.519
		16	-0.032	-0.038	14.614	0.553
		17	0.046	0.033	15.708	0.545
		18	0.029	0.024	16.132	0.583
		19	-0.040	-0.037	16.951	0.593
		20	-0.007	-0.017	16.974	0.655

Correlograma de los residuos estandarizados al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.001	0.001	0.0004	0.984
		2	-0.008	-0.008	0.0334	0.983
		3	0.026	0.026	0.3712	0.946
		4	-0.016	-0.016	0.4950	0.974
		5	-0.023	-0.022	0.7524	0.980
		6	-0.007	-0.008	0.7748	0.993
		7	-0.007	-0.007	0.8022	0.997
		8	-0.003	-0.002	0.8063	0.999
		9	0.076	0.076	3.6878	0.931
		10	-0.015	-0.016	3.8069	0.956
		11	-0.013	-0.012	3.8902	0.973
		12	-0.026	-0.031	4.2220	0.979
		13	-0.019	-0.016	4.4043	0.986
		14	-0.007	-0.004	4.4282	0.992
		15	0.008	0.010	4.4638	0.996
		16	-0.024	-0.024	4.7641	0.997
		17	0.004	0.002	4.7708	0.998
		18	0.002	-0.006	4.7735	0.999
		19	-0.026	-0.023	5.1244	0.999
		20	-0.022	-0.021	5.3694	1.000

Ecuación 11 Ecopetrol

$$R_{i,t} = C_{0,i} + C_{1,i} \cdot R_{i,t-1} + C_{2,i} \cdot V_{i,t-1} \cdot R_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}, \quad (11)$$

Correlograma de los residuos

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.006	0.006	0.0198	0.888
		2	-0.020	-0.020	0.2255	0.893
		3	0.000	0.000	0.2255	0.973
		4	-0.113	-0.114	6.6112	0.158
		5	-0.059	-0.058	8.3422	0.138
		6	0.019	0.014	8.5131	0.203
		7	-0.031	-0.034	8.9791	0.254
		8	0.009	-0.003	9.0220	0.340
		9	0.016	0.002	9.1575	0.423
		10	-0.049	-0.049	10.353	0.410
		11	0.057	0.054	12.013	0.363
		12	0.027	0.021	12.372	0.416
		13	0.026	0.032	12.723	0.469
		14	0.016	0.006	12.849	0.538
		15	-0.044	-0.037	13.822	0.539
		16	-0.005	0.011	13.833	0.611
		17	0.019	0.022	14.009	0.666
		18	-0.050	-0.043	15.313	0.640
		19	0.066	0.063	17.546	0.553
		20	0.026	0.017	17.890	0.595

Correlograma de los residuos al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.190	0.190	17.858	0.000
		2	0.209	0.179	39.491	0.000
		3	0.093	0.028	43.752	0.000
		4	0.053	-0.003	45.129	0.000
		5	0.004	-0.027	45.137	0.000
		6	0.041	0.035	45.964	0.000
		7	-0.033	-0.044	46.498	0.000
		8	0.008	0.008	46.530	0.000
		9	0.027	0.038	46.891	0.000
		10	-0.036	-0.049	47.542	0.000
		11	-0.041	-0.041	48.375	0.000
		12	-0.042	-0.022	49.250	0.000
		13	-0.007	0.026	49.275	0.000
		14	-0.088	-0.080	53.163	0.000
		15	-0.049	-0.029	54.402	0.000
		16	-0.033	0.014	54.956	0.000
		17	-0.039	-0.017	55.718	0.000
		18	0.017	0.037	55.870	0.000
		19	0.009	0.011	55.908	0.000
		20	0.008	0.006	55.939	0.000

Ecuación 12 Ecopetrol

$$R_{i,t} = C_{0,i} + C_{1,i} \cdot R_{i,t-1} + C_{2,i} \cdot V_{i,t-1} \cdot R_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}, \quad (12)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Correlograma de los residuos estandarizados

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.050	0.050	1.2467	0.264
		2	-0.018	-0.021	1.4065	0.495
		3	0.003	0.005	1.4117	0.703
		4	-0.099	-0.100	6.2739	0.180
		5	-0.068	-0.058	8.5462	0.129
		6	0.006	0.008	8.5631	0.200
		7	-0.023	-0.025	8.8192	0.266
		8	-0.003	-0.010	8.8239	0.357
		9	0.017	0.005	8.9741	0.440
		10	-0.057	-0.062	10.618	0.388
		11	0.058	0.062	12.326	0.340
		12	0.036	0.024	12.989	0.370
		13	0.044	0.047	13.968	0.376
		14	0.013	-0.002	14.048	0.446
		15	-0.036	-0.032	14.693	0.474
		16	0.003	0.021	14.696	0.547
		17	0.024	0.032	14.993	0.596
		18	-0.047	-0.042	16.118	0.584
		19	0.074	0.079	18.951	0.460
		20	0.042	0.027	19.866	0.466

Correlograma de los residuos estandarizados al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.005	-0.005	0.0108	0.917
		2	0.035	0.035	0.6021	0.740
		3	0.017	0.018	0.7502	0.861
		4	-0.006	-0.007	0.7706	0.942
		5	-0.026	-0.027	1.1044	0.954
		6	0.012	0.012	1.1749	0.978
		7	-0.030	-0.028	1.6150	0.978
		8	-0.039	-0.040	2.3854	0.967
		9	0.077	0.078	5.3706	0.801
		10	-0.030	-0.026	5.8209	0.830
		11	-0.049	-0.053	7.0097	0.798
		12	-0.033	-0.036	7.5481	0.819
		13	0.032	0.037	8.0571	0.840
		14	-0.083	-0.076	11.567	0.641
		15	-0.019	-0.028	11.756	0.697
		16	-0.019	-0.013	11.937	0.748
		17	-0.055	-0.048	13.509	0.701
		18	0.046	0.037	14.573	0.691
		19	-0.002	-0.004	14.575	0.749
		20	0.019	0.025	14.755	0.790

Ecuación 5 Canacol

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Correlograma de los residuos

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.001	0.001	0.0006	0.981
		2	0.044	0.044	0.9675	0.616
		3	-0.059	-0.060	2.7217	0.437
		4	0.012	0.011	2.7972	0.592
		5	0.116	0.122	9.4996	0.091
		6	0.015	0.009	9.6062	0.142
		7	0.011	0.002	9.6716	0.208
		8	0.037	0.051	10.354	0.241
		9	-0.018	-0.021	10.520	0.310
		10	-0.055	-0.074	12.032	0.283
		11	0.037	0.044	12.734	0.311
		12	-0.081	-0.083	16.072	0.188
		13	-0.009	-0.032	16.109	0.243
		14	-0.024	-0.004	16.404	0.289
		15	-0.033	-0.029	16.961	0.321
		16	-0.004	-0.014	16.970	0.388
		17	-0.018	0.008	17.129	0.446
		18	0.020	0.028	17.328	0.501
		19	0.037	0.037	18.021	0.521
		20	0.006	0.018	18.039	0.585

Correlograma de los residuos al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.116	0.116	6.6416	0.010
		2	0.101	0.089	11.720	0.003
		3	0.041	0.020	12.536	0.006
		4	0.053	0.038	13.921	0.008
		5	0.022	0.008	14.170	0.015
		6	0.095	0.085	18.692	0.005
		7	0.052	0.029	20.025	0.006
		8	-0.013	-0.041	20.114	0.010
		9	-0.035	-0.043	20.717	0.014
		10	-0.028	-0.025	21.110	0.020
		11	-0.010	-0.001	21.159	0.032
		12	-0.004	-0.002	21.166	0.048
		13	-0.024	-0.026	21.463	0.064
		14	-0.022	-0.011	21.700	0.085
		15	-0.012	0.006	21.774	0.114
		16	-0.017	-0.005	21.926	0.146
		17	-0.023	-0.017	22.206	0.177
		18	-0.046	-0.042	23.302	0.179
		19	-0.034	-0.019	23.889	0.200
		20	-0.043	-0.026	24.851	0.207

Ecuación 6 Canacol

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Correlograma residuos estandarizados

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.055	0.055	1.4952	0.221
		2	0.032	0.029	1.9887	0.370
		3	-0.022	-0.026	2.2333	0.525
		4	0.046	0.048	3.2876	0.511
		5	0.095	0.092	7.8123	0.167
		6	0.012	-0.001	7.8836	0.247
		7	0.010	0.006	7.9364	0.338
		8	0.066	0.069	10.101	0.258
		9	-0.031	-0.047	10.577	0.306
		10	-0.052	-0.063	11.958	0.288
		11	0.023	0.035	12.220	0.347
		12	-0.091	-0.103	16.449	0.172
		13	0.015	0.010	16.567	0.220
		14	-0.042	-0.024	17.482	0.231
		15	-0.037	-0.035	18.181	0.253
		16	-0.014	-0.008	18.280	0.308
		17	0.002	0.028	18.283	0.371
		18	0.022	0.026	18.534	0.421
		19	0.048	0.049	19.720	0.412
		20	-0.016	-0.001	19.858	0.467

Correlograma de los residuos estandarizados al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.013	-0.013	0.0785	0.779
		2	-0.010	-0.010	0.1269	0.939
		3	-0.018	-0.018	0.2907	0.962
		4	-0.015	-0.016	0.4059	0.982
		5	0.002	0.001	0.4072	0.995
		6	0.042	0.041	1.2740	0.973
		7	0.019	0.019	1.4504	0.984
		8	-0.016	-0.015	1.5770	0.991
		9	-0.034	-0.032	2.1470	0.989
		10	-0.025	-0.025	2.4675	0.991
		11	-0.034	-0.036	3.0562	0.990
		12	0.003	-0.002	3.0610	0.995
		13	-0.007	-0.011	3.0862	0.998
		14	-0.019	-0.020	3.2612	0.999
		15	0.007	0.008	3.2839	0.999
		16	-0.014	-0.011	3.3839	1.000
		17	-0.019	-0.017	3.5640	1.000
		18	-0.021	-0.023	3.8001	1.000
		19	-0.031	-0.035	4.3080	1.000
		20	-0.024	-0.028	4.6000	1.000

Ecuación 7 Canacol

$$V_t = \gamma_0 + \gamma_1 V_{t-1} + \gamma_2 V_{t-2} + \gamma_3 V_{t-3} + \gamma_4 R_t^2 + \varepsilon_t \quad (7)$$

Correlograma de los residuos

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.019	0.019	0.1698	0.680
		2	0.029	0.029	0.5877	0.745
		3	-0.003	-0.004	0.5919	0.898
		4	-0.003	-0.004	0.5969	0.963
		5	0.128	0.128	8.6991	0.122
		6	0.068	0.065	11.025	0.088
		7	0.065	0.057	13.139	0.069
		8	0.071	0.069	15.671	0.047
		9	0.076	0.077	18.585	0.029
		10	-0.064	-0.085	20.641	0.024
		11	0.032	0.016	21.155	0.032
		12	-0.036	-0.052	21.802	0.040
		13	0.045	0.019	22.818	0.044
		14	0.025	-0.007	23.140	0.058
		15	-0.026	-0.027	23.473	0.075
		16	-0.042	-0.055	24.348	0.082
		17	-0.042	-0.035	25.256	0.089
		18	0.019	0.020	25.433	0.113
		19	-0.029	-0.024	25.873	0.134
		20	-0.010	-0.014	25.928	0.168

Correlograma de los residuos al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.167	0.167	13.732	0.000
		2	0.216	0.194	36.822	0.000
		3	0.059	-0.003	38.523	0.000
		4	0.321	0.290	89.518	0.000
		5	0.249	0.184	120.25	0.000
		6	0.227	0.091	145.89	0.000
		7	0.107	0.016	151.57	0.000
		8	0.059	-0.087	153.33	0.000
		9	0.128	0.004	161.52	0.000
		10	0.062	-0.083	163.48	0.000
		11	0.114	0.008	170.05	0.000
		12	-0.006	-0.051	170.06	0.000
		13	0.011	-0.049	170.13	0.000
		14	0.026	0.039	170.48	0.000
		15	0.004	-0.042	170.49	0.000
		16	-0.030	-0.040	170.96	0.000
		17	-0.019	0.013	171.14	0.000
		18	0.014	0.033	171.24	0.000
		19	-0.003	0.023	171.25	0.000
		20	-0.035	-0.026	171.89	0.000

Ecuación 8 Canacol

$$V_t = \varphi_0 + \varphi_1 V_{t-1} + \varphi_2 V_{t-2} + \varphi_3 V_{t-3} + \varphi_4 R_t^2 + \varepsilon_t \quad (8)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Correlograma de los residuos estandarizados

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.060	0.060	1.7970	0.180
		2	0.027	0.023	2.1438	0.342
		3	0.016	0.013	2.2757	0.517
		4	-0.001	-0.004	2.2765	0.685
		5	0.101	0.101	7.3649	0.195
		6	0.062	0.051	9.2652	0.159
		7	0.091	0.082	13.431	0.062
		8	0.101	0.089	18.533	0.018
		9	0.067	0.057	20.806	0.014
		10	-0.013	-0.033	20.891	0.022
		11	0.008	-0.003	20.921	0.034
		12	-0.017	-0.037	21.065	0.049
		13	0.030	0.007	21.531	0.063
		14	0.032	0.001	22.039	0.078
		15	-0.002	-0.021	22.040	0.107
		16	0.019	0.001	22.216	0.136
		17	-0.050	-0.055	23.507	0.133
		18	0.040	0.046	24.334	0.144
		19	0.018	0.018	24.506	0.177
		20	0.009	0.010	24.546	0.219









































Correlograma de los residuos estandarizados al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.016	-0.016	0.1216	0.727
		2	-0.020	-0.021	0.3269	0.849
		3	-0.037	-0.038	1.0000	0.801
		4	-0.001	-0.003	1.0009	0.910
		5	0.026	0.025	1.3474	0.930
		6	0.008	0.007	1.3761	0.967
		7	0.026	0.027	1.7151	0.974
		8	-0.007	-0.004	1.7430	0.988
		9	0.085	0.087	5.3841	0.800
		10	-0.053	-0.050	6.8017	0.744
		11	-0.003	-0.002	6.8075	0.814
		12	-0.063	-0.061	8.7951	0.720
		13	-0.038	-0.044	9.5273	0.732
		14	-0.016	-0.026	9.6562	0.787
		15	-0.024	-0.030	9.9548	0.823
		16	0.024	0.016	10.254	0.853
		17	-0.034	-0.029	10.827	0.865
		18	0.075	0.071	13.669	0.750
		19	-0.025	-0.009	13.999	0.784
		20	-0.047	-0.045	15.150	0.768









































Ecuación 11 Canacol

$$R_{i,t} = C_{0,i} + C_{1,i} \cdot R_{i,t-1} + C_{2,i} \cdot V_{i,t-1} \cdot R_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}, \quad (11)$$

Correlograma de los residuos

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.053	0.053	1.4053	0.236
		2 0.039	0.037	2.1711	0.338
		3 -0.021	-0.025	2.3965	0.494
		4 0.048	0.049	3.5336	0.473
		5 0.100	0.097	8.4762	0.132
		6 0.016	0.002	8.6037	0.197
		7 0.012	0.006	8.6787	0.277
		8 0.072	0.075	11.287	0.186
		9 -0.020	-0.037	11.479	0.244
		10 -0.044	-0.059	12.468	0.255
		11 0.028	0.039	12.861	0.303
		12 -0.087	-0.099	16.706	0.161
		13 0.023	0.015	16.979	0.200
		14 -0.032	-0.016	17.511	0.230
		15 -0.027	-0.028	17.894	0.268
		16 -0.007	-0.004	17.920	0.329
		17 0.014	0.038	18.021	0.387
		18 0.033	0.036	18.590	0.417
		19 0.055	0.052	20.123	0.387
		20 -0.011	0.003	20.185	0.446

Correlograma de los residuos al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.114	0.114	6.4217	0.011
		2 0.106	0.095	12.027	0.002
		3 0.044	0.022	12.978	0.005
		4 0.063	0.047	14.959	0.005
		5 0.024	0.006	15.237	0.009
		6 0.098	0.086	20.070	0.003
		7 0.043	0.019	20.975	0.004
		8 -0.019	-0.047	21.163	0.007
		9 -0.040	-0.047	21.962	0.009
		10 -0.036	-0.033	22.598	0.012
		11 -0.004	0.008	22.606	0.020
		12 0.003	0.006	22.609	0.031
		13 -0.024	-0.025	22.898	0.043
		14 -0.026	-0.014	23.244	0.056
		15 -0.016	0.003	23.367	0.077
		16 -0.006	0.009	23.384	0.104
		17 -0.016	-0.012	23.511	0.133
		18 -0.048	-0.050	24.672	0.134
		19 -0.033	-0.020	25.224	0.153
		20 -0.050	-0.032	26.488	0.150

Ecuación 12 Canacol

$$R_{i,t} = C_{0,i} + C_{1,i} \cdot R_{i,t-1} + C_{2,i} \cdot V_{i,t-1} \cdot R_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}, \quad (12)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Correlograma de los residuos estandarizados

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.053	0.053	1.4053	0.236
		2 0.039	0.037	2.1711	0.338
		3 -0.021	-0.025	2.3965	0.494
		4 0.048	0.049	3.5336	0.473
		5 0.100	0.097	8.4762	0.132
		6 0.016	0.002	8.6037	0.197
		7 0.012	0.006	8.6787	0.277
		8 0.072	0.075	11.287	0.186
		9 -0.020	-0.037	11.479	0.244
		10 -0.044	-0.059	12.468	0.255
		11 0.028	0.039	12.861	0.303
		12 -0.087	-0.099	16.706	0.161
		13 0.023	0.015	16.979	0.200
		14 -0.032	-0.016	17.511	0.230
		15 -0.027	-0.028	17.894	0.268
		16 -0.007	-0.004	17.920	0.329
		17 0.014	0.038	18.021	0.387
		18 0.033	0.036	18.590	0.417
		19 0.055	0.052	20.123	0.387
		20 -0.011	0.003	20.185	0.446









































Correlograma de los residuos estandarizados al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.011	-0.011	0.0550	0.815
		2 -0.014	-0.014	0.1545	0.926
		3 -0.020	-0.021	0.3588	0.949
		4 -0.012	-0.013	0.4287	0.980
		5 0.006	0.005	0.4445	0.994
		6 0.041	0.041	1.3017	0.972
		7 0.015	0.015	1.4103	0.985
		8 -0.019	-0.017	1.5893	0.991
		9 -0.035	-0.033	2.1942	0.988
		10 -0.032	-0.031	2.6949	0.988
		11 -0.034	-0.037	3.2802	0.986
		12 0.010	0.004	3.3284	0.993
		13 -0.005	-0.009	3.3399	0.996
		14 -0.022	-0.022	3.5808	0.998
		15 0.003	0.005	3.5848	0.999
		16 -0.014	-0.011	3.6841	0.999
		17 -0.013	-0.012	3.7720	1.000
		18 -0.023	-0.026	4.0485	1.000
		19 -0.033	-0.037	4.5953	1.000
		20 -0.029	-0.033	5.0378	1.000









































Ecuación 5 Pacific Rubiales

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Correlograma de los residuos

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.005	-0.005	0.0129	0.910
		2 0.057	0.057	1.6071	0.448
		3 -0.047	-0.046	2.6853	0.443
		4 -0.001	-0.004	2.6855	0.612
		5 0.009	0.014	2.7238	0.742
		6 -0.034	-0.036	3.3108	0.769
		7 -0.074	-0.076	6.0656	0.532
		8 0.001	0.006	6.0661	0.640
		9 -0.038	-0.033	6.7830	0.660
		10 -0.021	-0.030	7.0027	0.725
		11 0.096	0.102	11.662	0.390
		12 -0.102	-0.104	16.893	0.154
		13 0.055	0.038	18.438	0.142
		14 -0.082	-0.067	21.809	0.083
		15 0.068	0.055	24.154	0.063
		16 -0.065	-0.067	26.280	0.050
		17 0.053	0.053	27.740	0.048
		18 -0.087	-0.078	31.597	0.025
		19 0.029	0.012	32.026	0.031
		20 -0.030	-0.015	32.500	0.038

Correlograma de los residuos al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.097	0.097	4.6866	0.030
		2 0.144	0.135	14.894	0.001
		3 0.134	0.112	23.822	0.000
		4 0.054	0.016	25.267	0.000
		5 0.049	0.011	26.446	0.000
		6 -0.001	-0.030	26.447	0.000
		7 0.056	0.045	28.034	0.000
		8 0.010	-0.001	28.085	0.000
		9 0.036	0.027	28.732	0.001
		10 0.077	0.063	31.683	0.000
		11 0.031	0.012	32.168	0.001
		12 0.107	0.081	37.925	0.000
		13 0.061	0.029	39.818	0.000
		14 0.026	-0.016	40.150	0.000
		15 0.013	-0.024	40.240	0.000
		16 0.064	0.051	42.342	0.000
		17 -0.005	-0.024	42.354	0.001
		18 -0.002	-0.012	42.357	0.001
		19 0.034	0.020	42.952	0.001
		20 0.069	0.066	45.406	0.001

Ecuación 6 Pacific Rubiales

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Correlograma residuos estandarizados

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.007	0.007	0.0263	0.871
		2	0.060	0.060	1.8217	0.402
		3	-0.007	-0.008	1.8438	0.605
		4	0.000	-0.003	1.8438	0.764
		5	0.014	0.015	1.9439	0.857
		6	-0.022	-0.022	2.1779	0.903
		7	-0.054	-0.056	3.6391	0.820
		8	0.001	0.005	3.6401	0.888
		9	-0.044	-0.038	4.6218	0.866
		10	-0.002	-0.003	4.6234	0.915
		11	0.096	0.103	9.2934	0.595
		12	-0.092	-0.095	13.605	0.327
		13	0.038	0.026	14.320	0.352
		14	-0.075	-0.066	17.209	0.245
		15	0.068	0.065	19.568	0.189
		16	-0.029	-0.032	20.010	0.220
		17	0.031	0.033	20.497	0.250
		18	-0.059	-0.055	22.279	0.220
		19	0.020	0.013	22.489	0.261
		20	-0.008	0.004	22.522	0.313

Correlograma de los residuos estandarizados al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.015	-0.015	0.1041	0.747
		2	0.019	0.019	0.2851	0.867
		3	0.020	0.020	0.4757	0.924
		4	-0.035	-0.035	1.0993	0.894
		5	-0.019	-0.021	1.2876	0.936
		6	-0.031	-0.031	1.7769	0.939
		7	-0.022	-0.021	2.0238	0.959
		8	-0.008	-0.008	2.0551	0.979
		9	0.003	0.003	2.0592	0.990
		10	-0.009	-0.011	2.1010	0.996
		11	0.019	0.016	2.2889	0.997
		12	0.035	0.033	2.9013	0.996
		13	0.018	0.018	3.0705	0.998
		14	-0.010	-0.013	3.1220	0.999
		15	-0.026	-0.028	3.4602	0.999
		16	0.016	0.018	3.5950	0.999
		17	-0.022	-0.017	3.8417	1.000
		18	-0.019	-0.017	4.0343	1.000
		19	0.016	0.017	4.1737	1.000
		20	0.008	0.011	4.2090	1.000

Ecuación 7 Pacific Rubiales

$$V_t = \gamma_0 + \gamma_1 V_{t-1} + \gamma_2 V_{t-2} + \gamma_3 V_{t-3} + \gamma_4 R_t^2 + \varepsilon_t \quad (7)$$

Correlograma de los residuos

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.126	-0.126	7.7996	0.005
		2	-0.006	-0.023	7.8195	0.020
		3	0.052	0.049	9.1640	0.027
		4	-0.068	-0.057	11.485	0.022
		5	0.033	0.019	12.040	0.034
		6	-0.023	-0.021	12.299	0.056
		7	0.020	0.022	12.502	0.085
		8	-0.014	-0.016	12.602	0.126
		9	0.044	0.047	13.582	0.138
		10	0.080	0.087	16.753	0.080
		11	-0.059	-0.033	18.474	0.071
		12	0.043	0.027	19.386	0.080
		13	-0.019	-0.013	19.574	0.106
		14	0.053	0.063	20.973	0.102
		15	-0.042	-0.041	21.882	0.111
		16	-0.015	-0.015	21.998	0.143
		17	0.035	0.019	22.633	0.162
		18	-0.020	-0.000	22.830	0.197
		19	-0.009	-0.029	22.873	0.243
		20	0.055	0.050	24.415	0.225

Correlograma de los residuos al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.158	0.158	12.294	0.000
		2	0.096	0.073	16.823	0.000
		3	0.019	-0.007	17.003	0.001
		4	-0.002	-0.011	17.005	0.002
		5	-0.009	-0.008	17.046	0.004
		6	-0.014	-0.010	17.142	0.009
		7	0.000	0.005	17.142	0.017
		8	0.023	0.025	17.415	0.026
		9	-0.009	-0.017	17.456	0.042
		10	0.012	0.012	17.531	0.063
		11	-0.014	-0.016	17.625	0.091
		12	0.002	0.005	17.627	0.127
		13	-0.008	-0.007	17.661	0.171
		14	-0.004	-0.002	17.670	0.222
		15	0.004	0.005	17.677	0.280
		16	0.014	0.014	17.780	0.337
		17	-0.012	-0.017	17.848	0.398
		18	-0.012	-0.011	17.921	0.461
		19	-0.005	0.002	17.932	0.527
		20	-0.009	-0.007	17.976	0.589

Ecuación 8 Pacific Rubiales

$$V_t = \varphi_0 + \varphi_1 V_{t-1} + \varphi_2 V_{t-2} + \varphi_3 V_{t-3} + \varphi_4 R_t^2 + \varepsilon_t \quad (8)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Correlograma de los residuos estandarizados

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.062	-0.062	1.8885	0.169
		2	-0.029	-0.033	2.2954	0.317
		3	0.022	0.019	2.5435	0.467
		4	-0.034	-0.033	3.1291	0.536
		5	0.088	0.086	7.0088	0.220
		6	-0.025	-0.017	7.3103	0.293
		7	0.026	0.031	7.6541	0.364
		8	-0.027	-0.030	8.0132	0.432
		9	0.073	0.079	10.689	0.298
		10	0.081	0.079	13.974	0.174
		11	-0.051	-0.031	15.287	0.170
		12	0.035	0.026	15.905	0.196
		13	-0.002	0.006	15.907	0.254
		14	0.063	0.060	17.940	0.210
		15	-0.019	-0.026	18.128	0.256
		16	-0.044	-0.036	19.102	0.263
		17	0.017	0.002	19.257	0.314
		18	0.002	0.006	19.258	0.376
		19	0.036	0.012	19.903	0.400
		20	0.053	0.062	21.358	0.376

Correlograma de los residuos estandarizados al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.114	0.114	6.4160	0.011
		2	-0.029	-0.042	6.8200	0.033
		3	-0.006	0.003	6.8353	0.077
		4	0.014	0.013	6.9263	0.140
		5	-0.031	-0.035	7.4102	0.192
		6	-0.024	-0.015	7.6947	0.261
		7	0.043	0.046	8.6073	0.282
		8	0.018	0.006	8.7682	0.362
		9	-0.023	-0.022	9.0217	0.435
		10	0.030	0.037	9.4775	0.487
		11	0.005	-0.007	9.4892	0.577
		12	-0.015	-0.011	9.5977	0.651
		13	0.034	0.042	10.193	0.678
		14	-0.026	-0.041	10.539	0.722
		15	0.014	0.024	10.635	0.778
		16	0.012	0.010	10.711	0.827
		17	-0.006	-0.013	10.728	0.870
		18	-0.006	-0.002	10.748	0.905
		19	-0.015	-0.012	10.864	0.928
		20	0.016	0.013	10.987	0.947

Ecuación 11 Pacific Rubiales

$$R_{i,t} = C_{0,i} + C_{1,i} \cdot R_{i,t-1} + C_{2,i} \cdot V_{i,t-1} \cdot R_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}, \quad (11)$$

Correlograma de los residuos

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.001	0.001	0.0011	0.974
		2 0.059	0.059	1.7045	0.426
		3 -0.036	-0.037	2.3610	0.501
		4 0.007	0.004	2.3838	0.666
		5 0.020	0.024	2.5791	0.765
		6 -0.028	-0.030	2.9629	0.813
		7 -0.066	-0.068	5.1233	0.645
		8 0.005	0.011	5.1372	0.743
		9 -0.052	-0.047	6.5198	0.687
		10 -0.023	-0.029	6.7778	0.746
		11 0.094	0.104	11.207	0.426
		12 -0.119	-0.121	18.305	0.107
		13 0.042	0.028	19.192	0.117
		14 -0.091	-0.073	23.418	0.054
		15 0.058	0.046	25.103	0.049
		16 -0.066	-0.070	27.294	0.038
		17 0.053	0.057	28.715	0.037
		18 -0.083	-0.078	32.238	0.021
		19 0.028	0.010	32.647	0.026
		20 -0.026	-0.008	32.982	0.034

Correlograma de los residuos al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.125	0.125	7.6933	0.006
		2 0.164	0.150	20.940	0.000
		3 0.128	0.096	29.104	0.000
		4 0.050	0.004	30.359	0.000
		5 0.039	0.000	31.111	0.000
		6 -0.006	-0.031	31.128	0.000
		7 0.041	0.035	31.984	0.000
		8 0.007	0.002	32.011	0.000
		9 0.040	0.035	32.833	0.000
		10 0.066	0.053	35.000	0.000
		11 0.042	0.020	35.883	0.000
		12 0.110	0.083	42.006	0.000
		13 0.059	0.022	43.778	0.000
		14 0.021	-0.025	44.005	0.000
		15 0.019	-0.014	44.186	0.000
		16 0.074	0.066	47.008	0.000
		17 -0.014	-0.033	47.105	0.000
		18 -0.010	-0.024	47.153	0.000
		19 0.022	0.013	47.407	0.000
		20 0.068	0.071	49.759	0.000

Ecuación 12 Pacific Rubiales

$$R_{i,t} = C_{0,i} + C_{1,i} \cdot R_{i,t-1} + C_{2,i} \cdot V_{i,t-1} \cdot R_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}, \quad (12)$$

$$h_t = \omega_0 + \omega_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \omega_2 h_{t-1}$$

Correlograma de los residuos estandarizados

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.014	0.014	0.1012	0.750
		2	0.064	0.064	2.1589	0.340
		3	-0.003	-0.005	2.1626	0.539
		4	0.004	-0.000	2.1703	0.704
		5	0.016	0.016	2.2929	0.807
		6	-0.025	-0.026	2.6138	0.856
		7	-0.049	-0.051	3.8306	0.799
		8	0.002	0.007	3.8323	0.872
		9	-0.052	-0.047	5.2153	0.815
		10	-0.003	-0.003	5.2198	0.876
		11	0.095	0.103	9.7475	0.553
		12	-0.099	-0.103	14.696	0.259
		13	0.029	0.018	15.133	0.299
		14	-0.079	-0.068	18.306	0.193
		15	0.064	0.061	20.358	0.159
		16	-0.029	-0.032	20.799	0.186
		17	0.027	0.031	21.184	0.218
		18	-0.055	-0.054	22.732	0.201
		19	0.021	0.014	22.952	0.239
		20	-0.005	0.008	22.965	0.290

Correlograma de los residuos estandarizados al cuadrado

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.001	0.001	0.0007	0.979
		2	0.017	0.017	0.1371	0.934
		3	0.011	0.011	0.2004	0.978
		4	-0.036	-0.036	0.8406	0.933
		5	-0.022	-0.023	1.0919	0.955
		6	-0.037	-0.036	1.7656	0.940
		7	-0.035	-0.034	2.3862	0.935
		8	-0.006	-0.006	2.4065	0.966
		9	0.004	0.005	2.4157	0.983
		10	-0.012	-0.014	2.4851	0.991
		11	0.028	0.024	2.8882	0.992
		12	0.036	0.033	3.5408	0.990
		13	0.017	0.014	3.6868	0.994
		14	-0.015	-0.019	3.7958	0.997
		15	-0.024	-0.025	4.0969	0.997
		16	0.025	0.028	4.4168	0.998
		17	-0.028	-0.024	4.8222	0.998
		18	-0.025	-0.022	5.1518	0.999
		19	0.007	0.008	5.1736	0.999
		20	0.011	0.013	5.2376	1.000