INDICADOR DE ANÁLISIS TÉCNICO PARA ESTRATEGIAS DE TRADING EN VARIABLES COINTEGRADAS (Dólar IATA, Brent) (Nov 2016)

Autor: Medina Cadena, Diana Carolina[1] - Estupiñan Garzón, Cristian Leonardo[2] -

Velasco Ráquira, Carlos Andrés[3] Tutores: Urriago, Alejandro[4]

***Resumen*—** En la actualidad, existe gran incertidumbre en los mercados financieros debido a los movimientos inesperados que presentan los activos volátiles. Por tal motivo, las compañías aéreas exponen dificultades al momento de entrar a operar en ellos, materializando impactos negativos en sus estados de resultados. Según lo anterior, las compañías están expuestas a diferentes niveles de riesgo de mercado y cambiario.

Es evidente entonces la necesidad de implementar un indicador de análisis técnico generado a partir de modelos econométricos, con el objeto de orientar en mejor medida las decisiones de las compañías aéreas en el mercado. Lo anterior, se logra después de establecer una relación en el largo plazo (cointegración) entre el petróleo y el dólar IATA, variables fundamentales para las empresas del sector aéreo colombiano.

El enfoque central de esta investigación radica en brindar una herramienta que facilite la toma de decisiones al momento de efectuar operaciones con instrumentos financieros relacionados con la volatilidad de precios del dólar IATA junto con el precio de petróleo Brent.

***Palabras clave*—** Caminata aleatoria, cointegración, correlación, IATA, indicador técnico, reversión a la media, ruido blanco, series estacionarias.

***Abstract*—** Currently, exists a lot of uncertainty in the financial markets by unexpected movements that have the volatile assets. For that reason, the airlines expose difficulties when entering to operate in them, materializing negative impacts in their statements of results. According to the above, companies are exposed to different levels of Market and foreign exchange risk.

Is identified the need to implement a technical analysis indicator generated from econometric models in order to better guide the decisions of the airlines in the market. The previous thing after establishing a stable relation in the long term (cointegration), between the oil and the IATA dollar, fundamental variables for the companies of the air transport sector in Colombia.

The central focus of this research is to provide a tool that facilitates the decision-making process when carrying out financial instruments related to IATA dollar price volatility along with the Brent oil price.

***Key Words*—** Cointegration, correlation, IATA, mean reversion, random walk, stationary series, technical indicator, white noise.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las grandes industrias se enfrentan a distintas coyunturas que generan volatilidad en variables fundamentales para su desempeño, como lo son el petróleo de referencia Brent, y la variación en el mercado de divisas, dólar IATA, para el presente estudio.

[1] *Estudiante de Ingeniería Financiera Universidad Piloto de Colombia.*

[2] *Estudiante de Ingeniería Financiera Universidad Piloto de Colombia.*

[3] *Estudiante de Ingeniería Financiera Universidad Piloto de Colombia.*

[4] *Licenciado en Matemáticas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ingeniero Financiero de la Universidad Piloto de Colombia, InnovaTIC.*

Las decisiones con respecto a la producción del petróleo en manos de la OPEP (Organización de países exportadores de petróleo), junto con la variación del precio de la moneda local frente a una de referencia en el caso colombiano USD/COP, tienen un gran impacto en el estado de resultado de las compañías aéreas colombianas, puesto que sus ingresos y egresos tiene mucha relación con estas dos variables.

Por lo anterior, es importante resaltar que al ser la producción de petróleo uno de los sectores más importantes de la economía, se pretenden poner condiciones que generen igualdad en el mercado. Es por este motivo que las empresas tienen que tomar decisiones para poder tener un presupuesto inicial durante el año y no arriesgarse a que este se pueda incrementar generando inestabilidad en la compañía.

Esta toma de decisiones está basada en el análisis tanto teórico como fundamental de los activos con los que se realizan operaciones en el mercado, permitiendo así reducir el nivel de pérdidas económicas causado por la volatilidad.

Lo anterior compete en nuestro estudio debido a que la industria del petróleo, cuya materia representa un gasto significativo en las compañías aéreas, afecta directamente el funcionamiento de las mismas a razón de la mencionada volatilidad.

Otra variable que se maneja en el presente estudio es la de los precios del dólar, debido a que las aerolíneas realizan contratos con empresas en el exterior y estos mismos deben ser pagados en dólares. Entre los contratos de este tipoestá la compra de combustibles y la compra de flota, entre otros. Por tal razón, las aerolíneas reciben un impacto directo de las fluctuaciones del dólar.

En la compra de tiquetes aéreos internacionales existe una particularidad para la gran mayoría de países, puesto que normalmente, para generar una obligación de operación de cambio, se aplica la TRM vigente según paridad para la adquisición de los pasajes en el sector de las aerolíneas; tasa conocida como dólar IATA, el cual es fijado por la International Air Transportation Association, organización que hace las veces de vehículo para la cooperación entre compañías aéreas en la promoción de los servicios aéreos, y a su vez dictamina las normas, prácticas y procedimientos en dichos servicios como lo son fletes, embalajes y tipo de cambio IATA.

En consecuencia de lo anterior, el precio de los tiquetes aéreos es el reflejo del comportamiento del dólar IATA, precio que recae en el poder adquisitivo de los usuarios.

Si se analiza el dólar en Colombia durante el año 2012, se observa que se cotizaba en promedio cerca a los $1.797 pesos y que en la actualidad repunta en $3.052 pesos. Esto demuestra que el poder adquisitivo de los colombianos a lo largo de estos dos periodos se ve disminuido, a razón de que se tiene que dar más pesos por obtener un dólar que antes.

Este hecho nos hace recaer nuevamente en las aerolíneas colombianas, cuyos estados financieros han estado fuertemente afectados por variaciones en los precios del *commodity* y la fuerte devaluación del peso con respecto al dólar. Sin embargo, se han observado los notables esfuerzos por controlar las volatilidades mediante productos financieros derivados sobre ambos activos. Lo anterior, se verifica en anuncios del sector, como el de Avianca Holdings, que registra pérdidas netas aproximadas de 140 millones de dólares en 2015 asociadas principalmente a la desaceleración económica de los países en donde opera y la depreciación de las monedas frente al dólar, el cual redujo la demanda y generó menores ingresos. Otras empresas del sector de América Latina, como el caso de Latam Airlines Group, registran pérdida ligada a sus coberturas de

40,5 millones durante el pasado año. [5]

La pregunta de este estudio es, entonces: ¿cómo facilitar la toma de decisiones de las compañías aéreas frente a este caso, y cómo generar soluciones que representen beneficios económicos en los estados de resultados de dichas empresas?

Se hace imperativo que las compañías aéreas dispongan de una herramienta que les facilite la toma de decisiones de inversión con enfoques más cuantitativos y análisis histórico, es por esto que se propone la creación de un indicador que cuente con todas las características necesarias para facilitar la toma de decisiones.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

En "La industria de las aerolíneas: la industria y sus riesgos"[6], según Guillermo Truan (2015), es posible constatar las características y los riesgos a los que se expone este sector de la siguiente manera:

Inicialmente, se realiza una descripción del sector aéreo, resaltando la importancia del mismo a nivel nacional e internacional; además, se realiza una estratificación en la cual se tiene como referencia los niveles de ingresos de las aerolíneas dependiendo de su naturaleza (sin son públicas o privadas) y, lo más importante, se identifica su modelo de negocio.

Al mismo tiempo se identifica que este sector se encuentra en una industria cíclica; es decir, que durante varios periodos del año se logra ver que sus ingresos se incrementan (temporada alta) y durante otra sus ingresos se ven disminuidos. Lo anterior genera un poco de incertidumbre, debido a que, en algunos casos, los momentos de mayor ingreso no logran soportar a los momentos de recesión.

Para la segunda parte, hace una breve introducción en la cual se explica cuáles son los riesgos que enfrenta el sector de las aerolíneas y la importancia de identificarlos. Se concluye que el sector se ve afectado en su gran mayoría debido a riesgos externos que pueden generar impacto directo en el entorno económico de las compañías. Riesgos como las decisiones gubernamentales, el terrorismo, el mal tiempo, enfermedades contagiosas, entre otros.

Con respecto a los riesgos internos, estos son segmentados en cuatro categorías: financieros, estratégicos, operacionales y otros; los cuales son explicados y exponen una breve visión de cómo impactan a las aerolíneas. Es importante resaltar la necesidad de generar una estrategia sobre los riesgos financieros, como lo es el de tipo de cambio e, implícitamente, lo relacionado con los precios del combustible en las empresas industriales. Lo anterior, detallado en 3.2.4.2 Riesgo disponibilidad, coste y cobertura del *fuel*.

En cuanto a la variación del precio del petróleo, en "Serie recursos naturales e infraestructura 2005"[7] presente en "La volatilidad de los precios de petróleo y su impacto en América Latina", de Sánchez y Vargas, se establece la relación de la volatilidad del petróleo frente a los niveles de producción y almacenamiento de cada país latinoamericano; en dicho documento se evidencia que el petróleo se considera como un producto básico y está atado a la oferta y demanda a nivel internacional.

[5] *Datos tomados de Expansión, "Las aerolíneas aparcan las coberturas financieras ante la caída del crudo".*

[6] *Facultad de ciencias económicas y empresariales de la universidad pontificia comillas de Madrid, Cano de Santayana Guillermo*

[7] *La volatilidad de los precios de petróleo y su impacto en America Latina Fernando Sanchez Albavera y Alejndro Vargas*

A propósito de lo anterior, las variaciones en los precios del crudo tienen un impacto muy significativo y puede alterar, si la volatilidad es muy grande, cualquier predicción sobre el comportamiento de la economía mundial.

Según lo anterior, todo tipo de movimiento del precio de este producto básico afecta los oferentes y consumidores y en general tienen impacto en el nivel de ingreso y egresos de las compañías las cuales su actividad se ven muy ligadas a la utilización de este commodity.

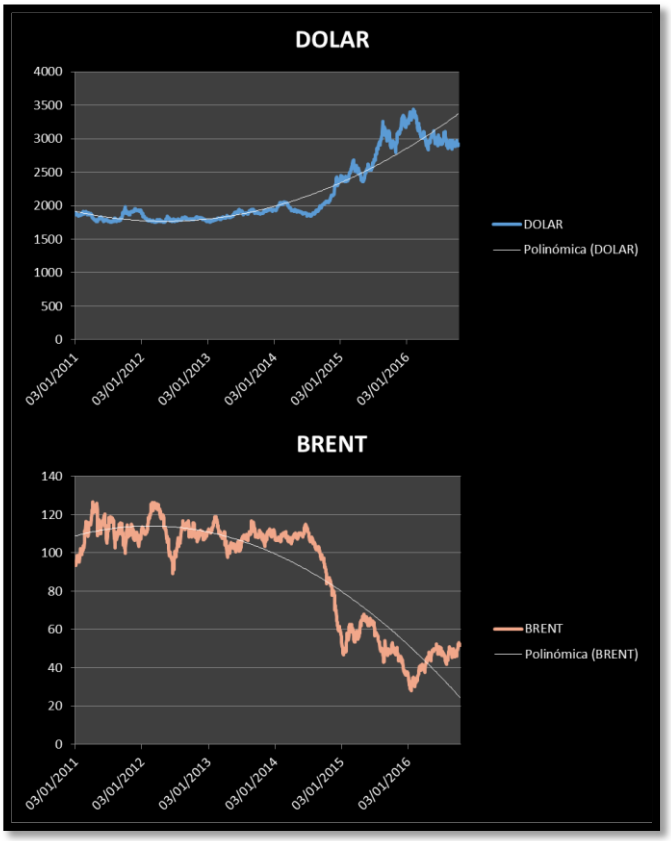
Álvaro Anchuelo, 1993, expone la importancia de trabajar con series no estacionarias de manera independiente con una relación lineal estable.

Lo anterior se sustenta según Granger y Newbold (1974), quienes señalaron la importancia de demostrar los estados de estacionalidad en las variables debido a que se puede presentar una cointegración elevada y errónea a partir de ecuaciones espurias. Una posible solución a este problema se puede dar realizando una diferenciación de las variables hasta que se logre su estacionalidad, para después poder trabajar con la serie diferenciada.

En "Cointegration Analysis of Financial Time Series Data"[8], se exponen métodos de trading en pares de divisas expuestos a distintas pruebas de cointegración. Vale enmarcar los acercamientos a la medida de decaimiento "Half Life of Mean Reversion", se discute si es correcto se utilizarla para desarrollar una estrategia apropiada para aplicar en el mercado de corto plazo. Se evidencian estrategias para encontrar pares altamente estacionarios elegidos arbitrariamente, sobre los cuales se plantean posiciones de mercado teniendo en cuenta la significancia de la distancia que toma la serie después de su media.

2.2 Marco teórico y conceptual

La problemática evidenciada anteriormente soporta la evidencia de problemas de correlación entre el dólar y el petróleo, entiéndase como correlación según Kenney, J. F. and Keeping[9], como un coeficiente cuantitativo de la relación entre series, que se obtiene dividiendo la covarianza de dos variables entre el producto de sus desviaciones estándar[10]. Gráficamente es posible diferenciar una relación inversa entre el dólar y el petróleo.



*Fuente: Elaboración propia

Es posible detallar que la correlación no es constante en el tiempo, por lo que se definen como un riesgo a los picos de dicha serie que podrían entenderse como anormales. En el mercado actual

[8] *Johannes Steffen, Pascal Held, Rudolf Kruse - Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg*

[9] *Mathematics of Statistics, Pt. 2 - Kenney, J. F. and Keeping*

[10] *Coeficiente de correlación de Pearson- https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_correlaci%C3%B3n_de_Pearson*

es posible verificar el problema de des-correlación entre el dólar y el petróleo, ya que naturalmente los activos mencionados presentan una correlación negativa y según datos de los últimos meses, esta relación no ha sido evidente con el repunte de ambos activos.

En este punto, vale remitirse a coberturas financieras (*forward*), empleadas en los activos objeto de la presente investigación para detallar su fragilidad. Los *forwards* siempre presentan un delta ($\Delta = 1$)[11] que genera una cobertura perfecta con su subyacente, pero al momento de diseñar una estrategia conjunta sobre el dólar (*forward* peso dólar), y el petróleo (*forward* Brent), la cobertura no sería perfecta, pues dependerá mucho de la estabilidad de la correlación.

Una vez evidenciado el riesgo de des-correlación futura expuesto anteriormente, se plantea implementar una solución a la volatilidad conjunta del dólar IATA y la referencia de petróleo Brent estimando su relación de largo plazo.

Es, entonces, necesario plantear las directrices que se utilizaran en el desarrollo de una herramienta financiera que permita la toma de decisiones en el mercado para las compañías cuyos ingresos dependan de variables cointegradas. Para empezar, se analiza el concepto de cointegración de variables y series no estacionarias determinado en la metodología de Engle y Granger (1987).

Para identificar la cointegración entre dos series cuyos valores no son estables en el tiempo, es necesario remitirse al concepto de regresión espuria[12], , que trata de un fenómeno presente en procesos de series con datos no estacionarios, hecho que dificulta los resultados de posibles regresiones que aparentemente son adecuados debido a que ambas series generan un alto nivel de correlación.

Por lo anterior, se asume como una problemática para los modelos econométricos al uso de series no estacionarias.

Se debe tener en cuenta que, algunos de los hechos característicos de las regresiones espurias se verifican con R^2 (coeficiente de determinación) cercano a 1 y en el coeficiente Durbin Watson (auto correlación) como se observa a continuación:

$$DW = \frac{\sum(e_t e_{t-1})2}{\sum(e_t)2}$$

**Fuente, Horacio Catalán Alonso, Teoría de la Cointegración*

Coeficiente que presenta un valor cercano a 0, determinando problemas de auto correlación.

Por consiguiente una regla que determina posible regresión espuria es:

$$DW<R^2$$

Para determinar series cointegradas, siguiendo la metodología descrita en Cointegration, Causality, and Forecasting (1999), es necesario que estas presenten similitud en el orden de integración y su combinación lineal sea estacionaria, puesto que según Catalán Alonso (2002):

> "Intuitivamente el hecho de que el error sea estacionario indica que las series presentan una tendencia en común. Si las series cointegran la regresión entre las dos variables es significativa (no es espuria) y no se pierde información valiosa de largo plazo lo cual sucedería si se estima la regresión en primeras diferencias".[13]

Con el objeto de verificar la afirmación anterior, se puede implementar la prueba de Dickey Fuller Aumentada (ADF):

[11] *http://www.quanttraining.com/futures-delta-forward-delta/*

[12] *Regresión Espuria y Tendencias Econométricas – Banco de México.*

[13] *Econometría, Teoría de la Cointegración, Horacio Catalán*

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta T + \delta Y_{t-1} + \gamma \sum_{i=1}^{\rho} Y_{t-i} + e_t$$ [14]

En donde se incluyen intercepto, tendencia y retardos de la serie para asegurar que los residuos sean ruido blanco.

Así mismo, Horacio Catalán Alonso (2002), define cointegración como una combinación lineal de variables no estacionarias con mismo orden de integración y cuyo vector resultante es una serie de ruido blanco.

3. DESARROLLO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Como ya se ha dicho, la volatilidad en los precios del petróleo a nivel mundial junto con la TRM genera grandes expectativas en las compañías aéreas nacionales; es por esto que, la necesidad de tomar decisiones con respecto a la postura y el momento para realizar la operación es la clave para que dichas decisiones representen el mayor beneficio posible para la compañía.

Es importante tener en cuenta que, en Colombia, la falta de herramientas y de alternativas de coberturas que el mercado proporciona a las compañías aéreas, genera grande incertidumbre al momento de tomar una posición de cobertura.

Es por esto que, la implementación de un indicador que nos permita identificar los mejores momentos para entrar el mercado, que esté soportado bajo herramientas estadísticas y de series de tiempo, facilitaría la toma de decisiones de las compañías colombianas, y junto a esto, los beneficios generados bajo estas decisiones se verán reflejados en el estado de resultado de dichas compañías.

El uso de las herramientas financieras de manera adecuada, en este caso de los contratos futuros, funciona eficientemente, siempre y cuando el momento de entrada al mercado sea el más óptimo.

Es un hecho que, las operaciones de futuros y *forwards* en Colombia cada vez más se ha convertido en una alternativa muy útil por los grandes inversionistas que desean realizar coberturas en sus operaciones. Actualmente, los futuros son negociados en la Bolsa de Valores de Colombia de forma estandarizada, mientras que los *forwards* se encuentran bajo un mercado OTC (*over the counter),*siendo este el instrumento financiero ideal a utilizar, el cual bajo sus contratos no estandarizados permite obtener el mayor beneficio de este indicador.

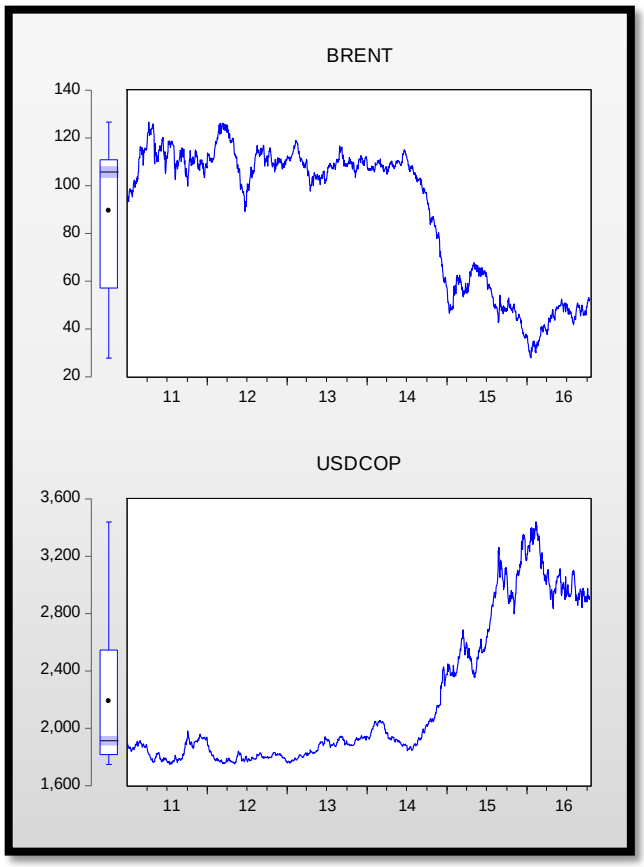
Inicialmente, se pretende atacar este problema de variación de petróleo y TRM en las compañías aéreas colombianas, pero en general este estudio puede funcionar para las compañías en las que de alguna u otra manera sus ingresos y egresos dependan en gran proporción de estas dos variables.

3.1 Descripción de la información

Para el desarrollo de la aplicación, se toman las series del dólar IATA y los precios de petróleo de referencia Brent, entre los periodos 2011 y 2016 generadas desde Bloomberg. Los diferentes cálculos econométricos se llevarán a cabo en el paquete estadístico *E- Views.*

A continuación, se exponen los gráficos respectivos a las series anteriormente mencionadas con indicadores de media:

[14] Gujarati, página 703



*Fuente: Elaboración propia

Es importante aclarar que los baches de información fueron completados con el dato inmediatamente anterior para que no se vieran afectados en gran escala los resultados en el indicador.

Según el gráfico anterior, se verifican recorridos similares con tendencias alternadas entre las series tomadas con varios puntos álgidos en común para el dólar IATA (USDCOP) y la referencia de petróleo, Brent. Nótese la correlación negativa entre las series de tiempo.

3.2Análisis descriptivo

En primera instancia, el objetivo será determinar si entre el petróleo y el dólar IATA existe una relación de largo plazo, de la siguiente forma:

$$Iata_t = \beta_0 + \beta_1 Brent_t + \varepsilon_t$$

Ecuación 1, elaboración propia

En donde la variable dependiente Iata, hace referencia a los precios de la paridad USD/COP comprendidos entre enero del 2011 y noviembre de 2016. Entiéndase dicha relación de largo plazo como cointegración, que está definida según HL MATA (2012)[15] como:

> "Dos o más series están cointegradas si las mismas se mueven conjuntamente a lo largo del tiempo y las diferencias entre ellas son estables (es decir estacionarias), aun cuando cada serie en particular contenga una tendencia estocástica y sea por lo tanto no estacionaria. De aquí que la cointegración refleja la presencia de un equilibrio al largo plazo…"[16]

Para declarar que el dólar IATA y los precios del petróleo son series cointegradas, se implementa el procedimiento de Engle y Grager (1987), que aplica métodos para analizar series de tiempo con tendencias comunes con volatilidad variable en el tiempo, modelos ARCH (AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity).

En econometría, una serie es estacionaria cuando su valor medio es estable, así que será no estacionaria cuando sistemáticamente crece o disminuye en el tiempo. En ese orden de ideas, las series definidas para la presente investigación, que deberían ser no estacionarias de orden I (1), serán definidas como series de tiempo cointegradas sí y solo sí en la combinación lineal entre ellas, (relación de largo plazo expuesta en la ecuación 1), el error resultante resulta ser estacionario I (0). Para procesos posteriores entiéndase como I (1) a la caminata aleatoria o *random walk* e I (0) como ruido blanco.

A partir de esto, las variables serán desestimadas si son estacionarias sin ejecutar el proceso de integración o si presentan distintos órdenes de diferenciación. De igual manera, las series no serán

[15] *Profesor Titular FACES, Universidad de los Andes*
[16] *Nociones Elementales de Cointegración -HL Mata*

significativas en caso de que el residuo resultante de su combinación lineal no sea estacionario.

Engle y Granger (2003)[17], sintetizan el proceso para determinar el hecho de existencia de cointegración entre variables en diferentes pasos, de los cuales, para la presente investigación se distinguen:

- Determinar el orden de integración de manera individual de las series Brent y Dólar IATA.
- Estimar la relación de largo plazo, (Ecuación 1) y determinar su orden de integración.
- Implementar el modelo de corrección de errores si la cointegración es viable.

Una vez sean identificadas como cointegradas las series propuestas, el residuo que genera la combinación lineal expresada en la *ecuación 1,* se tomará como la señal indicadora que es objeto del presente estudio. El propósito es generar parámetros sobre dicha serie que permitan establecer señales de posición en el mercado al momento de operar sobre alguno de los activos mencionados anteriormente.

Según lo anterior, se ejecuta un *backtesting* a lo largo del tiempo, expresado en la regresión lineal de las variables, con el fin de determinar sobre la amplitud de la señal de ruido blanco el conjunto ideal de parámetros que serán definidos para agregar robustez al indicador y, posteriormente, implementarlo en tiempos reales de operación.

3.3 Descripción metodológica

I. Orden de integración de las variables BRENT y dólar IATA

Se procede a determinar el número de veces que se debe diferenciar cada serie, el *commodity* y la divisa, lo que se denomina orden de integración. Se busca que cada serie de tiempo, de manera independiente, sea estacionaria solo hasta ser integrada una vez **I (1)**, lo que se denomina caminata aleatoria, de lo contrario se deben desestimar las variables para el proceso de cointegración. Se procede a realizar el test de raíz unitaria de Dickey Fuller en *E-Views* con lo que se verifica el orden de integración de las variables por incluir (Ver anexos 1 y 2).

Antes de verificar la presencia de raíces unitarias en las series, se procede a evaluar el supuesto de auto correlación dentro del Brent y el Dólar IATA.

Auto correlación: para el estudio se determina un rango entre 1.85 y 2.15 para el Durbin Watson, con lo que se establece la ausencia de auto correlación para el Brent y el dólar IATA, que presentan coeficientes de 2.12 y 1.98 respectivamente. Entiéndase como auto correlación a los patrones repetitivos dentro de una señal.

Se hace referencia al coeficiente ADF (Augmented Dickey Fuller) como un número negativo, que al ser comparado con los niveles de significancia de MacKinnon (1996), se evaluara la siguiente hipótesis:

H_0: $\delta=0$ La serie tiene al menos una raíz unitaria, por lo tanto, es No estacionaria

H_1: $\delta\neq0$ La serie es estacionaria

Por lo anterior, en cuanto a las variables estimadas, resultan ser significativas en ambas variables tanto la tendencia como el intercepto, y se tiene el menor número de retardos para el dólar con el objeto de aportar robustez. Se procede a verificar los valores estadísticos del Dickey Fuller aumentado junto al valor crítico de significancia 5%, con lo que se concluye que no se rechaza la H_0 en ninguno de los casos expresados, debido a que los valores estadísticos del ADF se encuentran a la derecha del valor del test crítico. Por lo anterior, las series del Dólar IATA y el Brent tienen al menos una raíz unitaria y no son estacionarias. Se procede

[17] *Robert F. Engle y Clive W.J Granger, Premio nobel de economía 2003*

a diferenciar ambas series para concluir si resultan ser *random walk* (ver anexos 3 y 4).

Según el estadístico Durbin Watson, bajos los criterios ya establecidos, las series no presentan auto correlación. Se identifica que la series Brent y Dólar IATA son I (1) es decir *random walk*, ya que tras aplicar primeras diferencias, según el estadístico de ADF y bajo un nivel de significancia del 5% se rechaza la H0. Por lo anterior la serie ahora es estacionaria.

II. Relación de largo plazo

Una vez definidos los parámetros para las series que resultaron ser I (1), se procede a identificar su relación de cointegración mediante la ecuación 1 y esta vez el análisis recae sobre los residuos que genera dicha ecuación, los cuales deberían ser I (0):

$$Iata_t = 3685.17 - 16.695Brent_t + \varepsilon_t$$

Ecuación 2
**Fuente, elaboración propia*

En los resultados de la *regresión 1*, cabe mencionar que la relación inversa natural de los coeficientes del dólar y el petróleo no es tan fuerte, hecho que fundamenta el presente estudio, puesto que la correlación existente entre los activos no es constante y se hace imperativo implementar alguna medida que aporte nuevas formas de operación en el mercado. Nótese que en la *regresión 1*, el estadístico Durbin Watson se encuentra fuera de los límites previamente seleccionados.

Se procede a generar los residuos, claves para el análisis estadístico de cointegración y por ende, para establecer estrategias de mercado.

Al realizar el test de Dickey Fuller, bajo los supuestos de auto correlación anteriormente mencionados, se establece que no existe auto correlación y bajo un *alpha* del 5%, el valor crítico rechaza la H0. Por lo anterior, se concluye que los errores son **I (0)** y las variables Brent y Dólar IATA están cointegradas, ya que los residuos son estacionarios, por lo queexiste una relación de equilibrio en el largo plazo entre ellas.

III. Modelo de corrección de errores

Engle y Granger (2003) especifican la necesidad de atar el comportamiento de largo plazo, expuesto anteriormente, con el de corto plazo; debido a que, al dar certeza de series cointegradas estables en el largo plazo, esta pueden presentar distorsiones en el corto plazo.

Según lo anterior, dicho desequilibrio en el corto plazo se ve expresado en el término de error de la regresión. Entiéndase dicho término como el error de equilibrio, el cual será fundamental para ligar el movimiento de corto plazo al largo plazo.[18]

$$\Delta Iata_t = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta Brent_t + \alpha_2 \check{U}_{t-1} + \varepsilon_t$$

Ecuación 3
**Fuente, elaboración propia*

Donde se expresa la regresión con las variables diferenciadas (Δ), α_2 hace referencia al parámetro de ajuste al corto plazo y $\check{U}_{t-1}$ es el mecanismo de corrección de error.

$$\Delta Iata_t = -4.351\Delta Brent_t - 0.0143\check{U}_{t-1} + \varepsilon_t$$

Ecuación 4
**Fuente, elaboración propia*

Nótese el mecanismo de corrección de errores expresado como $-0.0143\check{U}_{t-1}$, el cual actúa como reductor de desequilibrio para el siguiente periodo de expresión. Según Jeremy Wakeford[19], el término refleja el parámetro de cointegración, expresado también como la propensión marginal a consumir en el largo plazo.

---

[18] *Nociones Elementales de Cointegración, Procedimiento de Engle Granger*

[19] *Jeremy Wakeford, macroeconomista en Quantum Global Research Lab*

4.1 Modelación

Una vez definidas las series del dólar IATA y el petróleo Brent como cointegradas, con ayuda de la herramienta *Excel VBA*, se programa un modelo el cual, según la serie expresada de ruido blanco a lo largo del tiempo, genere un indicador de señales de operación en el mercado según los activos involucrados en el surgimiento de dicho residuo.

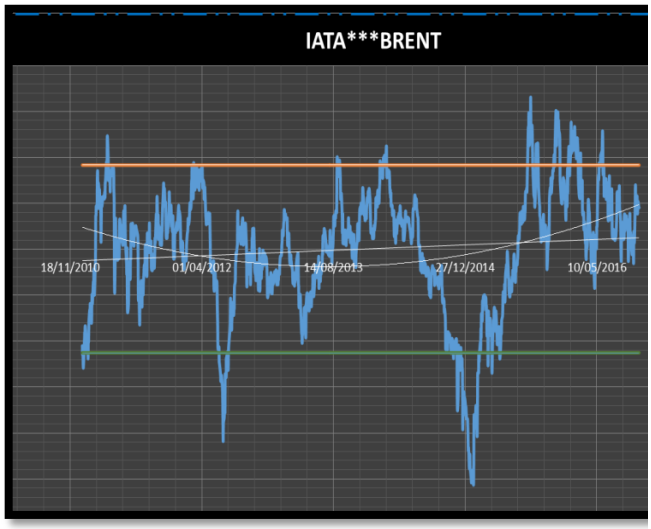


Grafico 1
*Fuente, elaboración propia

La utilidad del modelo radica en los siguientes parámetros:

- ✓ Percentiles

Sobre la serie de ruido blanco resultante de series cointegradas se sobreponen un percentil superior, indicador de entradas en corto, y un percentil inferior, que señala entradas en posición larga. Entiéndase percentil como una medida estadística de posición de datos no agrupados[20].

- ✓ *Half Life of Mean Reversion*

Se trata de un coeficiente que denota aproximadamente cuántos periodos en promedio tardaría la serie de ruido blanco en regresar a su media desde puntos álgidos. Lo anterior con el objeto de desarrollar estrategias apropiadas con una señal de cerrar las posiciones indicadas por los percentiles.

Cabe anotar que la medida surge a partir del proceso estocástico de Ornstein-Uhlenbeck (1930)[21], el cual expone la velocidad de desintegración que experimenta una partícula browniana expuesta a la fricción y que en el largo plazo tiende a derivar en su media, por lo que es denominado reversión a la media.[22]La expresión está dada por:

$$dy = (\lambda y(t-1) + \mu)dt + dE$$

Ecuación 5
**Fuente, Johannes Steffen, Pascal Held, Rudolf Kruse*

Donde λ hace referencia a la velocidad de reversión a la media, μ media de largo plazo y dE representa el proceso browniano y la volatilidad, expresadas también como ruido gaussiano[23].

Para el presente estudio, la medida *Half Life of Mean Reversion*, fue determinada mediante:

$$HL = \frac{Log(2)}{C.MCE}$$

Ecuación 5
**Fuente, Elaboración propia*

Donde C.MCE es igual al coeficiente del mecanismo de corrección de errores.

- ✓ *Take Profit y Stop loss*

Se implementan topes de seguridad de trading para establecer un límite de pérdidas y un nivel de realización de utilidad. Al igual que en los percentiles, la selección de estos parámetros será determinada mediante el *backtesting* que indique los

[20] https://es.wikipedia.org/wiki/Percentil

[21] *Leonard Ornstein y George Eugene Uhlenbeck*

[22] *Simulation and Estimation of the Mean-Reverting Ornstein-Uhlenbeck Process, William Smith*

[23] *Cointegration Analysis of Financial Time Series Data, Johannes Steffen, Pascal Held, Rudolf Kruse*

resultados que mejor se acoplen a la serie cointegrada.

3.4 Análisis de resultados

Backtesting

- ✓ Percentiles

Tras realizar el *backtesting*, se concluye que los rangos percentiles más apropiados para la ejecución del indicador se ubican entre 94-0,06 y 95-0,05 generando los mayores niveles de eficacia y por tanto los que aportan mayor estabilidad ante posibles decisiones de arbitraje, especulación o cobertura.

- ✓ *Half Life of Mean Reversion*

$$HL = \frac{Log(2)}{0.0143}$$

Ecuación 5
**Fuente, Elaboración propia*

Se determina que, en promedio, el tiempo que tarda la serie de ruido blanco de las variables cointegradas Dólar IATA y Brent en llegar a su media de señal es de 48 periodos aproximadamente, los cuales, para el presente estudio, están representados en días.

- ✓ *Take Profit y Stop loss*

Los límites de seguridad de trading que aportan mayor robustez al indicador para generar señales de operación se establecen en una relación 1-3 con los siguientes condicionales:

Stop Loss (S/L): Si después de rebasar el percentil con una señal de operación definida y transcurridos HL/3 periodos el mercado oscila en contra de la posición tomada, generando una utilidad negativa mayor al 5% del precio de entrada, el S/L se haría efectivo.

Take Profit (T/P): Si después de rebasar el percentil con una señal de operación definida el mercado oscila a favor de la posición tomada, generando una utilidad mayor al 15% del precio de entrada, el T/P se haría efectivo.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el *backtesting* con percentiles 0.94 – 0.06 y 0.95 – 0.05 respectivamente. Nótese que en las tablas de resultado aparecen dos tipos de entradas.

BRENT			
# DE ENTRADAS			
LARGO1	CORTO1	CORTO2	LARGO2
16	20	20	16
P&G 1		PyG2	
USD 37,75		USD 75,99	
ENTRADAS +		ENTRADAS +	
24	192,25	22	168,26
ENTRADAS -		ENTRADAS -	
12	-2,446	14	-92,27
EFECTIVIDAD		EFECTIVIDAD	
66,67%		61,11%	

Tabla 1
**Fuente, Elaboración propia*

DÓLAR IATA			
# DE ENTRADAS			
LARGO1	CORTO1	CORTO2	LARGO2
16	20	20	16
P&G 1		PyG2	
$	3.031,92	$	1.998,47
ENTRADAS +		ENTRADAS +	
29	3492,8	26	2568,94
ENTRADAS -		ENTRADAS -	
7	-36,5226	10	-570,47
EFECTIVIDAD		EFECTIVIDAD	
80,56%		72,22%	

Tabla 2
**Fuente, Elaboración propia*

BRENT			
# DE ENTRADAS			
LARGO1	CORTO1	CORTO2	LARGO2
12	14	14	12
P&G 1		PyG2	
USD 54,41		USD 71,17	
ENTRADAS +		ENTRADAS +	
17	148,9	15	132,85
ENTRADAS -		ENTRADAS -	
9	-2,0064	11	-61,68
EFECTIVIDAD		EFECTIVIDAD	
65,38%		57,69%	

Tabla 3
**Fuente, Elaboración propia*

DÓLAR IATA			
# DE ENTRADAS			
LARGO1	CORTO1	CORTO2	LARGO2
12	14	14	12
P&G 1		PyG2	
$	2.152,99	$	1.104,13
ENTRADAS +		ENTRADAS +	
21	2581,44	19	1667,18
ENTRADAS -		ENTRADAS -	
5	-35,77	7	-563,05
EFECTIVIDAD		EFECTIVIDAD	
80,77%		73,08%	

Tabla 4
**Fuente, Elaboración propia*

Las entradas diferenciadas por los números 1 se caracterizan por enviar las señales de entrada en los momentos en que el ruido blanco rebaza el percentil por segunda vez, buscando su media en el tiempo determinado por el *Half Life*. Por lo anterior, son las más apropiadas para el mercado, puesto que en las entradas 2 la señal se asigna de manera anticipada, por lo que incorpora un riesgo de incertidumbre, al no saber cuándo la señal decae.

4. Conclusiones

Como conclusión, se resalta que en la problemática actual se encuentra que la relación natural del dólar y el petróleo experimentan fases atípicas por concepto de volatilidades generadas desde un mercado con crisis. El indicador de análisis técnico generado en la presente investigación, surge como un mecanismo de soporte a los instrumentos financieros de cobertura existentes.

La globalización de los mercados financieros, junto con la evolución de la Ingeniería financiera, ha contribuido a una mejora continua en los instrumentos financieros de inversión, junto con las estrategias usadas para ello. Es por esto que el indicador se ajusta y es reflejo de las mejoras continuas que se vienen realizando en este ámbito.

El buen uso del indicador tendrá impactos positivos en los estados de resultados de las compañías aéreas, debido a que, con ayuda de este, se están cubriendo del riesgo cambiario y el riesgo de mercado.

Finalmente, no se aconseja tomar como referencia este indicador en momentos donde la economía presenta hechos anormales asemejados a épocas de crisis, ya que estas recrean altos niveles de distorsión a la cointegración de variables, y por ende se generan entradas falsas. Lo anterior fue comprobado durante un *backtesting* realizado en fecha de crisis *subprime* (año 2008).

5. Recomendaciones

Este indicador funcionará para cualquier tipo de variables que presenten cointegración, la eficiencia de las entradas determinadas por el indicador dependerá de los parámetros que generen mayor utilidad eficiencia y eficacia. Dichos parámetros se logran asignar mediante un *backtesting* realizado con las variables cointegradas. Estos parámetros son los percentiles y el porcentaje de *take proffit* y *stop loss*.

Se recomienda estimar la posibilidad de generar una serie de ruido blanco partiendo de tres o más variables que no sean estacionarias y que pertenezcan al mismo orden, con esto se logrará identificar si es posible generar estrategias donde se permitan establecer señales de posición de mercado efectivas aplicándolas a más de dos variables.

6. Referencias

- Kenney, J. F. and Keeping, E. S., *Mathematics of Statistics*, Pt. 2, 2nd ed. Princeton, NJ: Van Nostrand, (1951)

- Antonio E. Noriega y Daniel Ventosa-Santaulária, *Regresión Espuria y Tendencias Econométricas*, Banco de México – Working Papers, (2006)

- Damodaran N. Gujarati *Basic Econometrics*, McGraw Hill (2003)

- Engle (Robert F.) And White (Halbert), *Cointegration, Causality, and Forecasting: A Festschrift in Honour of Clive W. J. Granger*, (2002)

- Roberto Montero Granados, *Variables no estacionarias y cointegración*, (2013)

- Johannes Steffen, Pascal Held, Rudolf Kruse, *Cointegration Analysis of Financial Time Series Data*, Otto von Guericke University Magdeburg, Department of Knowledge and Language Engineering, (2014)

- Bill Hung. *Dickey – Fuller unit root test (stationary test),* (2000). www.hkbu.edu.hk/~billhung/econ3600/application/app01/app01.htlm

- University of Melbourne, *Stationary Multivariate Time Series Models*, (2002) www.economics.unimelb.edu.au/subject_pages/2002/semester2/316-350/TOPIC3.pdf

- William Smith, *On the Simulation and Estimation of the Mean-Reverting - Ornstein-Uhlenbeck Process - Especially as Applied to Commodities Markets and Modelling* (2010),

- Espasa, A, .Peña,D. *Los Modelos ARIMA, el estado de equilibrio en variables Económicas y su Estimación*. (1990)

- De Arce,R,.Mahía,R *Modelos Arima* (2001)

Recuperado de: http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/anadelsur/pdf/box-jenkins.pdf

- Gujarati, D. Student Solutions *Manual for Use with Basic Econometrics (Fourth Edition) (2003)*

Recuperado de: http://www2.udec.cl/~pabloquezada/Student_Solutions_Manual_for_use_with_Basic_Econometrics-eecaucv.blogspot.com.pdf

- University of Lund, *Economic History Department.Advanced time-series analysis* .(2012) http://peterfoldvari.com/advtimeseries/lec6.p

df

- Anchuelo, A.*Series Integradas e Integradas : Una Introducción* (1993)

Recuperado de: http://www.revecap.com/revista/numeros/01/pdf/anchuelo.pdf

- Cano, G., Lozar, C..*Industria De Las Aerolíneas: La Industria Y Sus Riesgos* (2015)

Recuperado de: https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/3841/TFG001118.pdf?sequence=1

- *Informativo interno volando juntos Avianca*, SAM Y ACES. Bogotá.2002

- Singh, S.K. y Maddala, G.S.. *"A Function for the Size Distribution of Incomes".* (1976)

- Avellaneda Cusaría, A., *Petróleo, colonización y medio ambiente en Colombia*. De la Tora a Cusiana, Santafé de Bogotá, Ecoe Ediciones. (1998)

- Fontaine, G. *El precio del petróleo. Conflictos socio-ambientales y gobernabilidad en la región amazónica*, Quito, Flacso, Ecuador. (2003).

- CEPAL, *"Estudio Económico de América Latina y el Caribe"*, julio (2015)

- Energy Information Administration EIA, *"What's Up With Gasoline Prices?"* (2015)

ANEXOS

BRENT

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on BRENT

Null Hypothesis: BRENT has a unit root
Exogenous: Constant, Linear Trend
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=23)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-2.647966	0.2589
Test critical values:	1% level	-3.964194	
	5% level	-3.412819	
	10% level	-3.128392	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(BRENT)
Method: Least Squares
Date: 11/21/16 Time: 17:35
Sample (adjusted): 1/04/2011 10/18/2016
Included observations: 1495 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
BRENT(-1)	-0.006597	0.002491	-2.647966	0.0082
C	0.906594	0.337438	2.686697	0.0073
@TREND(1/03/2011)	-0.000460	0.000166	-2.766332	0.0057

R-squared	0.005317	Mean dependent var	-0.028609
Adjusted R-squared	0.003984	S.D. dependent var	1.472289
S.E. of regression	1.469354	Akaike info criterion	3.609527
Sum squared resid	3221.228	Schwarz criterion	3.620182
Log likelihood	-2695.121	Hannan-Quinn criter.	3.613497
F-statistic	3.987751	Durbin-Watson stat	2.120259
Prob(F-statistic)	0.018739		

Anexo 1
*Fuente: Elaboración propia

DÓLAR IATA

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on USDCOP

Null Hypothesis: USDCOP has a unit root
Exogenous: Constant, Linear Trend
Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=23)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-2.001917	0.5993
Test critical values:	1% level	-3.964198	
	5% level	-3.412821	
	10% level	-3.128393	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(USDCOP)
Method: Least Squares
Date: 11/21/16 Time: 17:44
Sample (adjusted): 1/05/2011 10/18/2016
Included observations: 1494 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
USDCOP(-1)	-0.003908	0.001952	-2.001917	0.0455
D(USDCOP(-1))	0.080603	0.025801	3.123972	0.0018
C	5.539229	3.029654	1.828337	0.0677
@TREND(1/03/2011)	0.004865	0.002264	2.148689	0.0318

R-squared	0.009515	Mean dependent var	0.677932
Adjusted R-squared	0.007521	S.D. dependent var	20.27764
S.E. of regression	20.20124	Akaike info criterion	8.852039
Sum squared resid	608054.4	Schwarz criterion	8.866254
Log likelihood	-6608.473	Hannan-Quinn criter.	8.857336
F-statistic	4.771419	Durbin-Watson stat	1.989207
Prob(F-statistic)	0.002583		

Anexo 2
*Fuente: Elaboración propia

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on D(BRENT)

Null Hypothesis: D(BRENT) has a unit root
Exogenous: None
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=23)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-41.09796	0.0000
Test critical values:	1% level	-2.566511	
	5% level	-1.941036	
	10% level	-1.616557	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(BRENT,2)
Method: Least Squares
Date: 11/21/16 Time: 17:51
Sample (adjusted): 1/05/2011 10/18/2016
Included observations: 1494 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(BRENT(-1))	-1.061391	0.025826	-41.09796	0.0000

R-squared	0.530804	Mean dependent var	0.001245
Adjusted R-squared	0.530804	S.D. dependent var	2.145894
S.E. of regression	1.469891	Akaike info criterion	3.608923
Sum squared resid	3225.746	Schwarz criterion	3.612476
Log likelihood	-2694.865	Hannan-Quinn criter.	3.610247
Durbin-Watson stat	2.000398		

Anexo 3
*Fuente: Elaboración propia

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on D(USDCOP)

Null Hypothesis: D(USDCOP) has a unit root
Exogenous: None
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=23)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-35.63047	0.0000
Test critical values:	1% level	-2.566511	
	5% level	-1.941036	
	10% level	-1.616557	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(USDCOP,2)
Method: Least Squares
Date: 11/21/16 Time: 17:53
Sample (adjusted): 1/05/2011 10/18/2016
Included observations: 1494 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(USDCOP(-1))	-0.919173	0.025797	-35.63047	0.0000

R-squared	0.459553	Mean dependent var	-0.007477
Adjusted R-squared	0.459553	S.D. dependent var	27.50811
S.E. of regression	20.22261	Akaike info criterion	8.852148
Sum squared resid	610568.0	Schwarz criterion	8.855702
Log likelihood	-6611.555	Hannan-Quinn criter.	8.853472
Durbin-Watson stat	1.989235		

Anexo 4
*Fuente: Elaboración propia

Dependent Variable: USDCOP
Method: Least Squares
Date: 11/10/16 Time: 19:15
Sample: 1/03/2011 10/18/2016
Included observations: 1496

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	3685.173	11.56370	318.6846	0.0000
BRENT	-16.69518	0.122924	-135.8174	0.0000

R-squared	0.925077	Mean dependent var	2190.204
Adjusted R-squared	0.925026	S.D. dependent var	500.6337
S.E. of regression	137.0800	Akaike info criterion	12.68034
Sum squared resid	28073642	Schwarz criterion	12.68744
Log likelihood	-9482.896	Hannan-Quinn criter.	12.68299
F-statistic	18446.37	Durbin-Watson stat	0.037486
Prob(F-statistic)	0.000000		

Regresión 1
*Fuente: Elaboración propia

Dependent Variable: D(USDCOP)
Method: Least Squares
Date: 11/10/16 Time: 20:58
Sample (adjusted): 1/04/2011 10/18/2016
Included observations: 1495 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(BRENT)	-4.351358	0.337115	-12.90764	0.0000
RESID03(-1)	-0.014352	0.003622	-3.962378	0.0001

R-squared	0.105884	Mean dependent var	0.678789
Adjusted R-squared	0.105286	S.D. dependent var	20.27088
S.E. of regression	19.17410	Akaike info criterion	8.746334
Sum squared resid	548895.4	Schwarz criterion	8.753438
Log likelihood	-6535.885	Hannan-Quinn criter.	8.748981
Durbin-Watson stat	1.861441		

Anexo 6
*Fuente: Elaboración propia

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on RESID03

Null Hypothesis: RESID03 has a unit root
Exogenous: None
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=23)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-3.889705	0.0001
Test critical values:	1% level	-2.566510	
	5% level	-1.941035	
	10% level	-1.616557	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(RESID03)
Method: Least Squares
Date: 11/10/16 Time: 20:31
Sample (adjusted): 1/04/2011 10/18/2016
Included observations: 1495 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
RESID03(-1)	-0.019389	0.004985	-3.889705	0.0001

R-squared	0.009969	Mean dependent var	0.201162
Adjusted R-squared	0.009969	S.D. dependent var	26.53963
S.E. of regression	26.40701	Akaike info criterion	9.385805
Sum squared resid	1041812.	Schwarz criterion	9.389357
Log likelihood	-7014.889	Hannan-Quinn criter.	9.387128
Durbin-Watson stat	2.064093		

Anexo 5
*Fuente: Elaboración propia