

“Estrategia de arbitraje entre la cotización de los ADRs de las empresas cotizadas en la Bolsa de Valores de Nueva York y sus precios locales en la Bolsa de Valores de Colombia”

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Financiero

García Rojas Daniel Yesid

Figueroa Gómez Luis Daniel

Medina Duarte Jonathan Orlando

Cristhian Andrés Vesga Bermejo

(Profesional en Ingeniería Financiera)

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Facultad de Ingenierías

Programa de Ingeniería Financiera extensión San Gil

San Gil

2020

Dedicatoria

A Dios, por su infinito amor y bondad, y por habernos permitido llegar hasta este punto del camino y lograr cada objetivo que nos hemos propuesto durante la carrera.

También dedicamos este trabajo de investigación a nuestras familias quienes nos han brindado todo su apoyo y la mayor comprensión. Así mismo, hacemos esta dedicatoria a nuestros padres, quienes han sido incondicionales día a día y nos han alentado y ayudado a construir un futuro mejor.

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por la vida, fuerza, sabiduría y bendiciones en el transcurso de nuestra preparación universitaria.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional constata entrega y compromiso con nosotros a pesar de las adversidades.

A nuestra alma mater, la Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB y a la Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL, a sus docentes y personal administrativo quienes entregaron lo mejor de sí en nuestro proceso de formación como profesionales; en especial Cristhian Andrés Vesga Bermejo y Judith Buitrago Correa quienes nos acompañaron y he hicieron parte fundamental en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A nuestros compañeros de clase y amigos, por hacer más fácil el tránsito en la vida universitaria.

Para todos ellos, mil gracias.

Resumen

Las empresas emiten ADRs para tener listadas sus acciones en dos mercados diferentes, el estadounidense y el local. Se puede asegurar que los mercados bursátiles se encuentran completamente integrados, que el precio de una acción en el mercado local y su ADR en el mercado estadounidense debe mantener el mismo valor después de ser ajustado por la tasa de cambio de esas dos divisas, derivado de la ley de precio único, la cual afirma que los mercados competitivos con libre comercio y que no poseen costes de transporte y de aranceles, deben tener el mismo precio en todos los países. Si en algún caso, alguno de los bienes se vendiera a menor precio en otro país, su demanda aumentaría hasta presionar el precio a un alza y así, el bien se regularía teniendo el mismo precio para todos los países.

Pese a esto se presentan oportunidades en algunos casos en el ciclo de mercado. Cuando un activo tiene mayor volatilidad en sus precios genera una coyuntura para ser aprovechada. Presentándose generalmente en la apertura o cierre de los mercados. Otra variable fundamental en este tipo de arbitraje es la tasa de cambio que presenta una nueva oportunidad de obtener beneficios.

este mecanismo busca una oportunidad para entrar simultáneamente en dos o más mercados con el fin de negociar un mismo valor, aprovechando desajustes dados por los desequilibrios de precios.

Dado el comportamiento del mercado bursátil colombiano y de Nueva York, surge la oportunidad de diseñar una estrategia de arbitraje que permita aprovechar la diferencia de cotización de las acciones nacionales y sus ADRs teniendo en cuenta el diferencial cambiario

y así obtener un resultado positivo a favor como consecuencia de las operaciones entre los dos mercados.

En la aplicación de la estrategia se encontró que existe una diferencia de precios entre el ADR y la acción, posibilitando la operación de arbitraje. La diferencia se ve en los movimientos de los precios, referentes a la variación cambiaria y los costos de transacción pactados. se presentan en periodos de alta volatilidad de los precios por su mayor tiempo de ajuste y en algunos casos se con más frecuencia en los mercados emergentes. Teniendo en cuenta la desviación estándar utilizada en el modelo que corresponde al techo o piso de la estrategia relacionada al perfil del inversor.

Abstract

Companies issue ADRs to have their shares listed in two different markets, the US and the local. It can be ensured that the stock markets are fully integrated, that the price of a share in the local market and its ADR in the US market must maintain the same value after being adjusted by the exchange rate of those two currencies, derived from the single price law, which states that competitive markets with free trade and that do not have transportation and tariff costs, must be the same price in all countries. If in any case, any of the goods were sold at a lower price in another country, their demand would increase until the price was pushed up and thus, the good would be regulated having the same price for all countries.

Despite this, opportunities arise in some cases in the market cycle. When an asset has greater volatility in its prices, it generates a situation to be exploited. Generally appearing at

the opening or closing of the markets. Another fundamental variable in this type of arbitration is the exchange rate that presents a new opportunity to obtain benefits.

This mechanism seeks an opportunity to simultaneously enter two or more markets in order to trade the same value, taking advantage of the imbalances caused by price imbalances.

Given the behavior of the Colombian and New York stock market, the opportunity arises to design an arbitration strategy that allows taking advantage of the difference in the price of national shares and their ADRs taking into account the exchange differential and thus obtaining a positive result in favor of consequence of operations between the two markets.

In the application of the strategy, it was found that there is a price difference between the ADR and the share, making arbitration possible. The difference is seen in the price movements, referring to the exchange rate variation and the agreed transaction costs. they appear in periods of high price volatility due to their longer adjustment time and in some cases more frequently in emerging markets. Taking into account the standard deviation used in the model that corresponds to the ceiling or floor of the strategy related to the investor profile.

Contenido

Capítulo 1 Introducción e información general	12
Introducción	12
Capítulo 2 Marco de referencia	14
Antecedentes	14
Marco teórico	16
Capítulo 3 Diseño metodológico	20
Tipo y diseño de investigación	20
Población y muestra.....	21
Recolección de información	22
Información cuantitativa:	22
Fases.....	23
1. Recopilación de Datos	23
2. Análisis de Cointegración	23
3. Aplicación de la estrategia de arbitraje.....	24
4. Evaluación de la efectividad de la estrategia	25
Capítulo 4 Resultados	26
ECOPETROL	28
Validación cointegración de series de datos	28
Cálculo de limites	43
Variación del error en la muestra de aplicación de la estrategia.....	45
Identificación de los puntos de corte de limites.....	47
Aplicación estrategia de arbitraje	48
Apertura de la operación de la estrategia.....	48
Cierre de la operación de la estrategia	51
Cálculo de utilidades.....	53
AVIANCA HOLDINGS SA	54
Validación cointegración de series de datos	54
BANCOLOMBIA	67
Validación cointegración de series de datos	67
Cálculo de limites	80

Identificación de los puntos de corte de limites.....	83
AVAL.....	85
Validación cointegración de series de datos	85
Cálculo de limites	98
Variación del error en la muestra de aplicación de la estrategia.....	100
Identificación de los puntos de corte de limites.....	101
Aplicación estrategia de arbitraje	102
Apertura de la operación de la estrategia.....	103
Cierre de la operación de la estrategia	106
Cálculo de utilidades.....	107
Resumen General Estrategia de Arbitraje	108
Comparativo	109
Conclusiones.....	110
Infografía	112

Lista de Tablas

Tabla 1 Base de datos para pruebas de Cointegración	29
Tabla 2 test de raíz unitaria EU Ecopetrol	36
Tabla 3 test de raíz unitaria en la primera diferencia para EU Ecopetrol.....	37
Tabla 4 test de raíz unitaria para COP Ecopetrol	38
Tabla 5 test de raíz unitaria en la primera diferencia para COP Ecopetrol	39
Tabla 6 regresión de componentes principales de EU y COP Ecopetrol	40
Tabla 7 test de raíz unitaria del error Ecopetrol	41
Tabla 8 test de raíz unitaria en su primera diferencia del error Ecopetrol.....	42
Tabla 9 Serie de datos Error Ecopetrol	43
Tabla 10 Desviación Estándar serie de datos Error Ecopetrol	44
Tabla 11 límites para aplicación de arbitraje Ecopetrol	44
Tabla 12 Calculo error de variación muestra Ecopetrol.....	45
Tabla 13 intercepto y ejecución de la operación Ecopetrol.....	49
Tabla 14 intercepto y cierre de la operación Ecopetrol.....	51
Tabla 15 Sumatoria apertura y cierre de la operación Ecopetrol	53
Tabla 16 test de raíz unitaria EU Avianca Holdings	60
Tabla 17 test de raíz unitaria en la primera diferencia para EU Avianca Holdings	61
Tabla 18 test de raíz unitaria para COP Avianca Holdings.....	62
Tabla 19 test de raíz unitaria en la primera diferencia para COP Avianca Holdings.....	63
Tabla 20 regresión de componentes principales de EU y COP Avianca Holdings.....	64
Tabla 21 test de raíz unitaria del error Avianca Holdings.....	65
Tabla 22 test de raíz unitaria en su primera diferencia del error Avianca Holdings	66
Tabla 23 test de raíz unitaria EU Bancolombia.....	73
Tabla 24 test de raíz unitaria en la primera diferencia para EU Bancolombia.....	74
Tabla 25 test de raíz unitaria para COP Bancolombia	75
Tabla 26 regresión de componentes principales de EU y COP Bancolombia	77
Tabla 27 test de raíz unitaria del error Bancolombia	78
Tabla 28 test de raíz unitaria en su primera diferencia error Bancolombia.....	79
Tabla 29 Serie de datos Error	80
Tabla 30 Desviación Estándar serie de datos Error Bancolombia	81

Tabla 31 límites para aplicación de arbitraje Bancolombia	81
Tabla 32 Calculo error de variación muestra Bancolombia	82
Tabla 33 test de raíz unitaria EU	91
Tabla 34 test de raíz unitaria en la primera diferencia para EU Aval	92
Tabla 35 test de raíz unitaria para COP Aval	93
Tabla 36 test de raíz unitaria en la primera diferencia para COP Aval	94
Tabla 37 regresión de componentes principales de EU y COP Aval	95
Tabla 38 test de raíz unitaria del error Aval	96
Tabla 39 test de raíz unitaria en su primera diferencia del error Aval	97
Tabla 40 Serie de datos Error Aval	98
Tabla 41 Desviación Estándar serie de datos Error Aval	99
Tabla 42 límites para aplicación de arbitraje Aval	99
Tabla 43 Calculo error de variación muestra Aval.....	100
Tabla 44 intercepto y ejecución de la operación de Aval.....	104
Tabla 45 intercepto y cierre de la operación Aval.....	106
Tabla 46 Sumatoria apertura y cierre de la operación Aval	107
Tabla 47 Resumen de procedimientos	108
Tabla 48 comparativo estrategia vs activo libre de riesgo	109

Lista de figuras

Ilustración 1 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP Ecopetrol.....	30
Ilustración 2 combinación del comportamiento de los precios de EU y COP Ecopetrol.....	31
Ilustración 3 primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Ecopetrol.....	32
Ilustración 4 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Ecopetrol .	33
Ilustración 5 logaritmo de las primeras diferencias de las series de precio de EU y COP Ecopetrol	34
Ilustración 6 combinación de los logaritmos en sus primeras diferencias Ecopetrol.....	35
Ilustración 7 variación error muestra Ecopetrol.....	47
Ilustración 8 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP Avianca Holdings..	54
Ilustración 9 combinación del comportamiento de los precios de EU y COP Avianca Holdings.....	55
Ilustración 10 primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Avianca Holdings	56
Ilustración 11 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Avianca Holdings	57
Ilustración 12 logaritmo de las primeras diferencias de las series de precio de EU y COP Avianca Holdings	58
Ilustración 13 combinación de los logaritmos en sus primeras diferencias Avianca Holdings	59
Ilustración 14 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP Bancolombia	67
Ilustración 15 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP Bancolombia	68
Ilustración 16 primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Bancolombia.....	69
Ilustración 17 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Bancolombia	70
Ilustración 18 logaritmo de las primeras diferencias de las series de precio de EU y COP Bancolombia	71
Ilustración 19 combinación de los logaritmos en sus primeras diferencias Bancolombia	72
Ilustración 20 variación error muestra Bancolombia	83
Ilustración 21 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP Aval.....	85
Ilustración 22 combinación del comportamiento de los precios de EU y COP Aval.....	86
Ilustración 23 primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Aval	87
Ilustración 24 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Aval	88
Ilustración 25 logaritmo de las primeras diferencias de las series de precio de EU y COP Aval	89
Ilustración 26 combinación de los logaritmos en sus primeras diferencias Aval.....	90
Ilustración 27 variación error muestra Aval.....	101

Capítulo 1 Introducción e información general

Introducción

La presente investigación examina la relación entre la percepción de aplicabilidad del arbitraje, resultado del diferencial de precios entre acciones nacionales y sus ADRs en el extranjero como consecuencia de la diferencia cambiaria.

Durante la última década, los ambientes académicos se han interesado cada vez más en temas relacionados con la práctica bursátil y la globalización, considerados esenciales dentro del comportamiento de los mercados convirtiéndose en un foco de atención bastante atractivo.

En Colombia, el mercado de capitales se encuentra en un proceso de crecimiento, distinguido por ser un mercado centralizado, constituido por empresas, instituciones y personas pertenecientes a diferentes bolsas en todo el mundo. Este mercado financiero está caracterizado por ser un espacio para llevar a cabo la compra y venta de títulos, activos, productos financieros, siendo idóneo para aquellas personas y/o empresas que desean invertir para capitalizar un proyecto y/o crecimiento del mismo.

El 02 de abril del 2019, el diario EL TIEMPO en su versión electrónica, realiza una publicación titulada “COLOMBIA ES EL MERCADO FAVORITO DE J. P. MORGAN EN LATINOAMÉRICA” en el cual menciona que se tiene una valorización año corrido de 19.1% haciendo que siga siendo rentable invertir para los inversores en lo que resta del 2019.

Dado a ello, este proyecto tiene como objetivo diseñar una estrategia de arbitraje que permita aprovechar la diferencia en la cotización de las acciones colombianas y sus ADRs

cotizados en NYSE, basados en la volatilidad de los mercados bursátiles y teniendo también en cuenta el diferencial cambiario.

Lo anterior busca generar un margen de ganancia que pueda ser reinvertido utilizando la estrategia diseñada y así aumentar cada vez más el capital del inversor.

Capítulo 2 Marco de referencia

Antecedentes

En la Universidad EAFIT Medellín, octubre de 2010 se realizó un trabajo cuyo propósito presenta un artículo de productos que surgen a partir de la investigación “Arbitraje con ADRs: un Estudio de Caso Sectorial para Empresas de Colombia, México, Brasil y Chile” en el cual se hace un análisis detallado de las generalidades de los ADRs por medio de la búsqueda de las razones macroeconómicas y microeconómicas que llevaron a importantes empresas de Latinoamérica a emitir este tipo de activos financieros, buscando aumentar la participación en el mercado estadounidense y captar recursos para llevar a cabo sus planes expansionistas y de mejoramiento de la empresa.

Autores: (Acevedo, Fleisman, Montoya , & Mora, 2011)

En el 2014 se diseñó una estrategia de inversión en el mercado de divisas al contado, con la aplicación de una herramienta de gestión de proyectos (Scrum); a través de esta se realizó la creación, prueba y operación de un algoritmo de inversión operable en el mercado de divisas al contado; planteado dentro de un proceso de inversión metódico y objetivo en un escenario de alta incertidumbre. Buscando finalmente que el inversionista particular pueda con criterios de decisión sobre las posibilidades financieras en ese tipo de activos y el riesgo asociado a la inversión.

Este proyecto desarrollo el proceso completo de creación del algoritmo de inversión, desde su concepción a partir del análisis técnico de mercados hasta su programación como herramienta automatizada de inversión, esta herramienta se probó y mejoro a partir de datos

históricos reales de mercado, permitiendo calcular y analizar las posibilidades de éxito de la estrategia con diferentes pares de divisas. El cual fue elaborado por estudiantes de la universidad industrial de Santander para obtener el título de especialista en evaluación y gerencia de proyecto.

Autores: (Arce Panqueva & Archila Rodriguez, 2014)

En junio de 2013 Gwangheon Hong y Raul Susmel estudiaron estrategias de intercambio de pares para 169 acciones asiáticas que cotizan en sus mercados locales y enumerados en los EE. UU. desde enero de 2000 hasta diciembre de 2011. Dado que todos los pares están cointegrados, son elección lógica para el intercambio de pares. El intercambio de pares genera beneficios positivos. Los resultados son robustos a diferentes períodos de mantenimiento y períodos de estimación de los parámetros de la estrategia de intercambio de pares.

Estos profesores de la Universidad Sogang y la Universidad de Houston estaban interesados en una estrategia de arbitraje simple para el par de acciones subyacentes de ADR. Las partes subyacentes de ADR del par tiene un gran atractivo para una estrategia de negociación de pares. Ambos representan el mismo bien y, por lo tanto, la ley de un precio tiene un fuerte atractivo. Hay instituciones en funcionamiento -los bancos depositarios- que aseguran la "fungibilidad" al facilitar la convertibilidad de ADRS en acciones del mercado interno y viceversa.

Autores: (Hong & Susmel, 2013)

Marco teórico

El **mercado de capitales** o accionario es un mercado financiero en el cual se ofrece y demandan fondos, es decir se compran y venden acciones de empresas. Su principal función es actuar como intermediario entre el emisor del instrumento financiero y el inversionista.

La **acción** como valor negociable en el mercado son títulos emitidos por una empresa para captar recursos de inversionistas, los cuales se les otorga un porcentaje de propiedad sobre la misma. Convirtiéndolos en accionistas con una serie de derechos y obligaciones como lo son el pago de dividendos. Este instrumento financiero se convierte en un contrato que da lugar a un activo financiero de una empresa, secuencialmente siendo un pasivo financiero para la empresa emisora.

Antes de dividir el capital social y ponerlo en venta, la empresa se encarga de especificar cuáles son los tipos de acciones a emitir y su cantidad. Donde se encuentran las acciones ordinarias que son emitidas con mayor frecuencia que las demás, volviéndolas comunes dentro del mercado bursátil, recibiendo flujos de dinero denominados como dividendos. Dándole el derecho de voz y voto en la asamblea ordinaria a las personas adquirientes de este producto.

También se encuentran las **acciones preferenciales** que mantienen derechos o privilegios. Como lo es el pago de dividendos pese a que los resultados obtenidos por la empresa sean buenos o malos tendrán prioridad de cobro. Teniendo como desventaja el no derecho al voto en la asamblea y la dificultad de conseguirlas por su baja circulación en el mercado bursátil.

Las acciones privilegiadas mantienen características similares a las ordinarias, con la diferencia que en los repartos de beneficios o quiebra estas priman sobre las ordinarias.

Cuando una empresa tiene listada acciones en dos mercaos diferentes se habla de los **American Depositary Receipt o ADR**. Como títulos que representan un número de acciones de una compañía establecida por fuera del país donde se negocian estos. Por ejemplos acciones colombianas negociadas en la bolsa de Nueva York.

Los ADRs son títulos que se transan como cualquier valor estadounidense, los cuales se encuentran regulados por la SEC (U.S. Securities and Exchange Commission) regulando la dinámica de estos instrumentos, donde se negocian y pagan sus dividendos en dólares americanos.

Su proceso de emisión consta de la siguiente mecánica: una sociedad anónima local realiza una emisión de acciones y las coloca en custodia en una institución financiera nacional, que actúa como custodio de las acciones y celebra un contrato con una entidad financiera norteamericana, que opera como depositaria en los Estados Unidos de la entidad emisora de los valores. Esta última emite los certificados ADRs cuya característica fundamental es que se encuentran expresados en dólares, de donde sus dividendos son pagaderos en la misma moneda. Los ADRs pueden ser clasificados dentro de tres niveles a los que identificaremos como 1, 11 y 111, dependiendo si se trata de acciones existentes, de una nueva emisión o de si su cotización es pública o privada.

Al estar listados en dos mercados diferentes se presentan desequilibrios en los precios, dando paso a la estrategia de **arbitraje**. En la economía y en las finanzas este mecanismo busca oportunidades para entrar simultáneamente en 2 o más mercados en los que se negocia

el mismo valor. Realizar operaciones complementarias es decir compra y venta al mismo tiempo, esperando el ajuste de los precios. La utilidad se logra debido a la diferencia de precios de los mercados de una forma instantánea y libre de riesgo, realizándose simultáneamente para evadir la exposición al riesgo del mercado.

La compra y vende simultánea del mismo activo en dos mercados que están geográficamente separados se denomina arbitraje espacial o geográfico, el cual busca la discrepancia de precios donde deben ser superiores al costo de la transacción, transporte y financiación.

En este caso para que ejecutar esta estrategia se utiliza como referencia la cointegración que estos activos mantengan, la cual se da cuando soportan una relación fuerte a largo plazo entre las variables. Que dos variables estén cointegradas implica que, aunque crezcan a lo largo del tiempo, lo hacen de forma sincronizada. Mantienen dicha relación a lo largo del tiempo. es útil en la economía para realizar modelos predictivos fiables. También en el caso del trading al utilizar técnicas de arbitraje estadístico como el trading de pares. O para realizar modelos basados en variables macroeconómicas que permitan estimar el valor de un activo en un momento dado.

La **cointegración** es una característica estadística de las variables en las series de tiempo donde dos o más series de tiempo están cointegradas si comparten una tendencia estocástica común. Si dos o más variables de series de tiempo son integradas de primer orden (I (1)), y algunas variables que fueran producto de una combinación lineal de entre ellas fueran estacionarias, es decir, si existiera un vector de coeficientes que permita formar una

combinación lineal estacionaria, entonces estas variables producto de tal combinación lineal tendrán un orden de integración menor, por lo que se dice que las series están cointegradas.

Los test de cointegración permiten demostrar la relación de dos variables, uno de los más famosos es el de Dickey-Fuller, El test se hace sobre la serie de residuos. De tal manera que, si puede confirmar, mediante el test, que los residuos son estacionarios las variables estarán cointegradas, de lo contrario no lo estarán.

La Prueba de **Dickey-Fuller** busca determinar la existencia o no de raíces unitarias en una serie de tiempo. La hipótesis nula de esta prueba es que existe una raíz unitaria en la serie.

Capítulo 3 Diseño metodológico

Tipo y diseño de investigación

El diseño de la investigación se define como los métodos y técnicas elegidos por los investigadores para ser combinados razonablemente para poder llevar a cabo la resolución del problema planteado

Sánchez-Lara y Méndez- Sánchez (2008), plantean que la selección del diseño de investigación (marco metodológico) es uno de los pasos más importantes y decisivos en la elaboración del proyecto, ya que de esto depende que en la investigación se obtengan resultados válidos y confiables que respondan a los objetivos inicialmente planteados.

Con respecto a la utilidad y funcionalidad del marco metodológico, Kothari (2004), manifiesta que el diseño metodológico permite coleccionar información relevante que conlleva a resultados confiables, con un gasto eficiente de esfuerzo, tiempo y dinero.

Finalmente, Plencovich (2008), expresa que el diseño metodológico dentro del proyecto de investigación, señala que debe hacerse para obtener la información deseada y este proceso de diseño es imprescindible tanto en el caso de abordajes cuantitativos, cualitativos o mixtos y debe establecerse al inicio de la investigación, más allá de que puedan presentarse modificaciones durante el desarrollo del proyecto.

Este proyecto usará la metodología cuantitativa, la cual de acuerdo con Tamayo (2007), consiste en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio.

Por esta razón se hará una recolección y análisis de datos históricos de las Acciones colombianas y sus ADRS que cotizan en la bolsa de Nueva York, así mismo como los datos de las variaciones del precio del dólar para establecer una cointegración entre los tres elementos y aplicar la estrategia de arbitraje.

Población y muestra

La población es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen alguna característica. Para esta investigación la población a estudiar son las acciones colombianas que posean ADRs en los Estados Unidos de América.

El mercado de renta variable en Colombia es aquel en el que los valores que se transan no tienen preestablecido el rendimiento, siendo las acciones el título característico de este mercado. La rentabilidad está ligada a las utilidades obtenidas por la empresa en la cual se invierte, así como a las posibles variaciones en los precios de los valores, dadas por las condiciones existentes en el mercado.

La Bolsa de Valores de Colombia administra el sistema transaccional para la negociación de Acciones, soportada en la plataforma de negociación X-Stream de Nasdaq-OMX. En cuanto a la intermediación de este tipo de productos, las únicas compañías autorizadas en Colombia para la negociación de títulos de Renta Variable son las Sociedades Comisionistas de Bolsa.

A su vez, todas las compañías inscritas en este mercado están obligadas a proporcionar información periódica y relevante, para que a su vez el público inversionista cuente con datos suficientes y oportunos para la toma de decisiones.

En Colombia actualmente solo 4 acciones tienen ADRs (American Depositary Receipt) Las cuales son: Ecopetrol (EC US EQUITY), Avianca Holding (AVH US EQUITY), Bancolombia (CIB US EQUITY), Aval (AVAL US EQUITY).

Recolección de información

Es la etapa que consiste en la obtención de información pertinente, sobre los atributos, conceptos o variables de las unidades de investigación. Esto implica elaborar un plan de desarrollo de procedimientos que conduzcan a la selección adecuada (Hernández, Fernández & Sampier,2010).

Esta información debe ser medible, confiable, valida y objetiva. Para esta investigación se requirió información histórica del valor de las acciones, el ADR y el precio del dólar para un horizonte de tiempo de 3 años.

Información cuantitativa:

- a. Precios históricos de las acciones colombianas que tienen ADR para un horizonte de tiempo de 3 años obtenidos de la plataforma Bloomberg.
- b. Precios históricos de los ADRs de acciones colombianas para un horizonte de tiempo de 3 años obtenidos de la plataforma Bloomberg.
- c. Precio histórico del dólar en Colombia para un horizonte de tiempo de 3 años obtenidos de la plataforma de Bloomberg.

Fases

Para cumplir con el objetivo de esta investigación se procede a realizar las siguientes fases:

1. Recopilación de Datos

- búsqueda de precios históricos del Dólar, acción de Ecopetrol en Colombia y su respectivo ADR cotizado en NYSE.

2. Análisis de Cointegración

- Tabulación y graficación de datos para observar el comportamiento de las series de precios de manera estadísticas
- Aplicación del test de raíces unitarias en el nivel y en la primera diferencia de la acción y el ADR, con el fin de establecer que sean integradas de orden 1.
- Ejecutar una regresión lineal de la Acción y el ADR mediante el método de Least Squares, en donde el coeficiente posteriormente se tomará como el beta de cointegración.
- A la serie de datos de los errores arrojados por la regresión lineal, aplicar el test de raíces unitarias en el nivel y su primera diferencia con la finalidad de establecer que sean integradas de orden cero.

3. Aplicación de la estrategia de arbitraje

- Con la serie de datos del error se calcula la desviación estándar de la misma, con el cual se establecen los puntos extremos de la estrategia de arbitraje.
- usando el beta de cointegración obtenido en la fase anterior, se calcula el error de las series de precios de la muestra.
- Se grafica el error y sobre la gráfica se adjuntan los puntos extremos teniendo como referencia la media que la gráfica muestre, y los puntos extremos irán una desviación estándar arriba y una abajo (se toma como referencia de distancia una desviación estándar, porque a mayor distancia de la media se consideran casos atípicos los cuales son propicios para el aprovechamiento de los mismos, en cambio no se toma una medida menor a la de una desviación estándar puesto que entre más cerca se encuentre de la media, el comportamiento de la línea de tendencia se considera normal).
- Para abrir la estrategia de arbitraje se procede a la identificación de los momentos en que la línea de tendencia cruza los puntos extremos para validar la operación a ejecutar, es decir, si cruza por el límite superior o techo se considera que se debe vender el ADR y comprar la Acción en Colombia, lo anterior a que el ADR está cotizando a un mayor valor que la acción, o si el cruce fue por el límite inferior o piso, la operación de apertura es vender la acción en Colombia y comprar el ADR porque la acción en Colombia está cotizando a un mayor valor que el ADR.

- Se realizan los cálculos de la operación dependiendo de la cantidad de acciones que se desee negociar. Así mismo sobre este valor se establece la comisión y se totaliza.
- Para el cierre de la operación se procede a identificar el momento en el cual la línea de tendencia cruza la media y se realizan la operación inversa, es decir, si se vendió el ADR y compro la acción, para el cierre se debe comprar el ADR y vender la acción. Si bien es el caso contrario en donde se vendió la acción y compro el ADR, en el cierre se compra la acción y se vende el ADR, lo anterior con el fin de hacer un cierre del ciclo del activo.
- Al igual que en la operación de apertura, en la operación de cierre se calcula el valor de la venta y compra, comisión y se totaliza.

4. Evaluación de la efectividad de la estrategia

- Para la evaluación de la efectividad de la estrategia se computan los resultados de la operación de apertura y de cierre, de esta manera, se establece si la estrategia obtuvo resultados positivos o negativos.

Capítulo 4 Resultados

Se procede a realizar el desarrollo de la estrategia para cada una de las acciones y sus respectivos ADRs. Para efectos del presente proyecto los ADR cotizados en NYSE de ahora en adelante se llamara EU y las acciones cotizadas en Colombia se llamara COP.

Para la demostración del objetivo del presente proyecto se tomará una serie de precios históricos de 819 datos desde el 02 de enero del 2017, hasta el 20 de febrero del 2020, en donde el 70% de los precios iniciales, es decir, 573 datos se usarán para realizar las pruebas de cointegración y sobre los 246 datos restantes correspondientes al 30% de la data de precios inicial se aplicará la estrategia de arbitraje.

Para la estrategia de arbitraje se usó un supuesto de un tamaño de posición de \$100,000,00 como base para operar.

Dentro del mercado accionario colombiano solo existen cuatros acciones que posee ADRs en Estados Unidos, las cuales son Ecopetrol, Avianca Holdings, Preferencial Bancolombia y Grupo Aval.

Cabe aclarar que el flotante cambiario para este proyecto, se manejó de la siguiente manera:

Todo se ejecutó en base a la moneda legal colombiana, por lo que en el caso de los ADRs debido a que vienen en paquetes de acciones, se liquidó de tal forma que se obtiene el valor unitario de la acción dentro del mismo, convierten do ese valor a peso colombiano y así mismo el precio del dólar.

Respecto a la administración del riesgo el asesor de este de proyecto el Ingeniero Cristian Andrés Vesga Bermejo informó que, para profundizar el tema de la administración del riesgo, llevaría más tiempo ya que es un tema muy complejo y tiene diferentes puntos de vista, además de esto se saldría del objetivo principal del proyecto el cual es “Aplicar una estrategia de arbitraje basada en las diferencias de precios entre las cotizaciones de las acciones de la BVC y sus ADRs equivalentes en la bolsa de valores de Nueva York”. Además, nos sugiere que el tema de la administración del riesgo es un tema apto para profundizar mediante otro proyecto de investigación.

Por esto, el tema de la administración del riesgo se deja a un lado, para no perder la esencia y el objetivo general del proyecto.

ECOPETROL

Validación cointegración de series de datos

Para aplicar la estrategia de arbitraje basada en el diferencial de precios de cotización entre un ADR y su nacional, primero se debe evaluar si las dos variables están cointegradas con el fin de observar su comportamiento y actuar en el momento que estas series presenten diferencias considerables en su futuro.

Para que dos series de datos se consideren cointegradas se deben hacer las siguientes pruebas:

1. Comportamiento similar de caminata aleatoria.
2. En sus primeras diferencias convertirse en estacionaria.
3. Individualmente sean integradas de orden uno.
4. Los errores arrojados por una regresión de las dos series sea integrada de orden 0.

A continuación usando el programa Eviews, se generarán las gráficas y tablas necesarias para realizar las pruebas de cointegración .

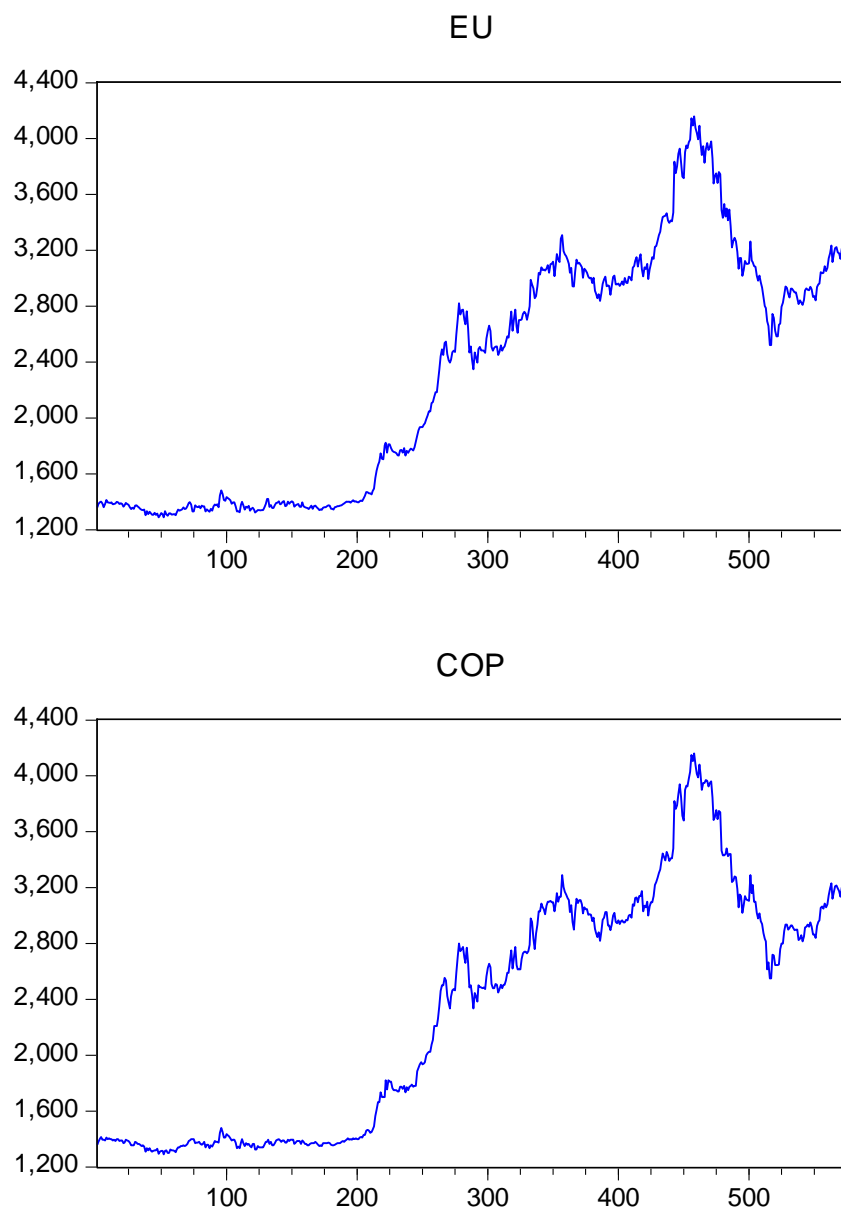
Tabla 1 Base de datos para pruebas de Cointegración

Fecha	COP	EU
2/01/2017	\$ 1,360	\$ 1,358.41
3/01/2017	\$ 1,380	\$ 1,384.62
4/01/2017	\$ 1,400	\$ 1,395.64
5/01/2017	\$ 1,415	\$ 1,400.93
6/01/2017	\$ 1,395	\$ 1,387.09
9/01/2017	\$ 1,395	\$ 1,361.99
10/01/2017	\$ 1,390	\$ 1,384.18
11/01/2017	\$ 1,410	\$ 1,412.55
12/01/2017	\$ 1,400	\$ 1,394.82
13/01/2017	\$ 1,405	\$ 1,392.58
.	.	.
.	.	.
.	.	.
28/02/2019	\$ 3,120	\$ 3,117.07
1/03/2019	\$ 3,165	\$ 3,172.50
4/03/2019	\$ 3,210	\$ 3,215.96
5/03/2019	\$ 3,215	\$ 3,224.02
6/03/2019	\$ 3,195	\$ 3,185.51
7/03/2019	\$ 3,175	\$ 3,179.21
8/03/2019	\$ 3,135	\$ 3,139.26
11/03/2019	\$ 3,200	\$ 3,212.59
12/03/2019	\$ 3,230	\$ 3,231.03
13/03/2019	\$ 3,330	\$ 3,334.74

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

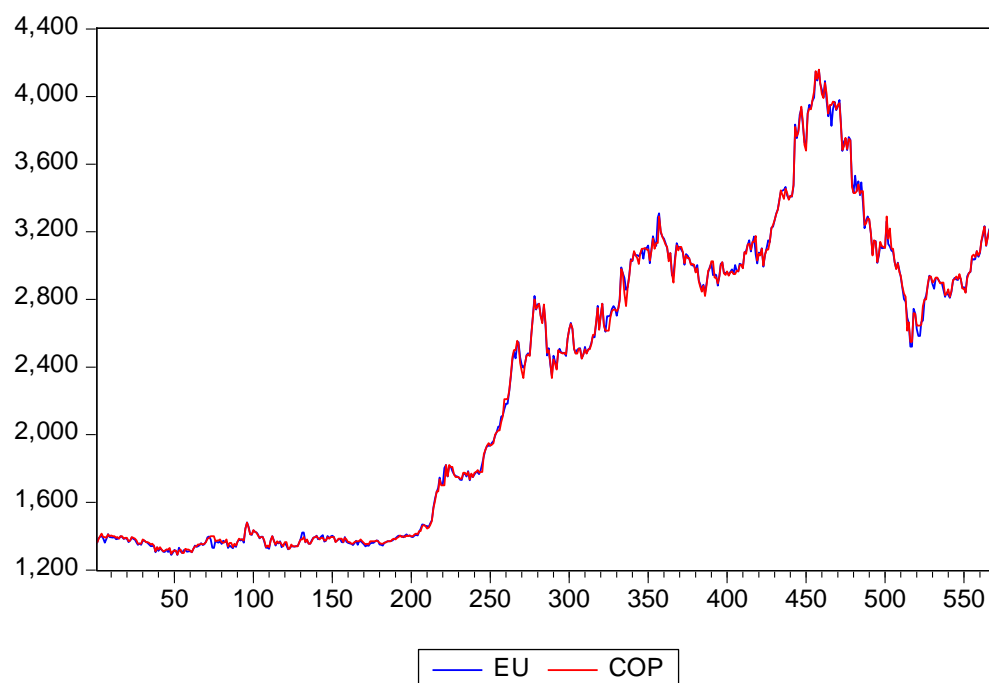
El 70% de la data inicial de precios posee una serie de tiempo desde el 02 de enero de 2017 hasta el 13 de marzo de 2019, con la cual se verificara la existencia o no de cointegracion.

Ilustración 1 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP Ecopetrol



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

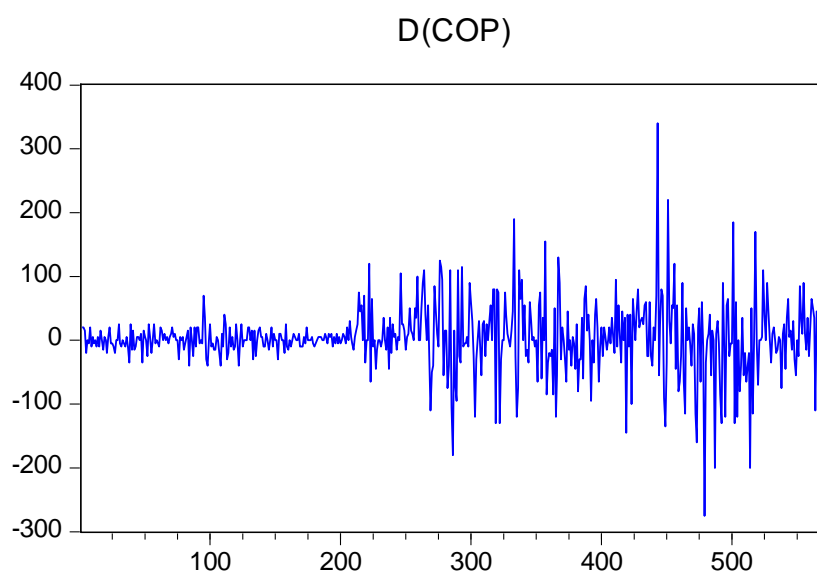
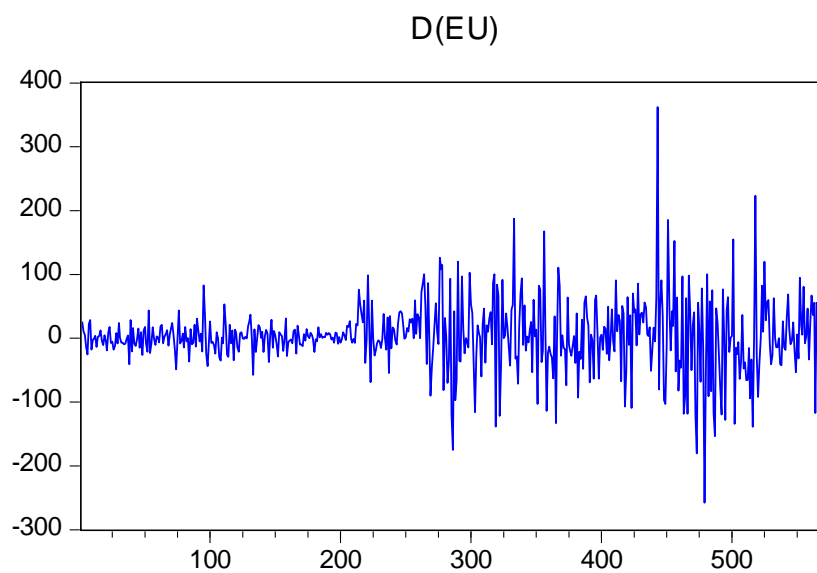
Ilustración 2 combinación del comportamiento de los precios de EU y COP Ecopetrol



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

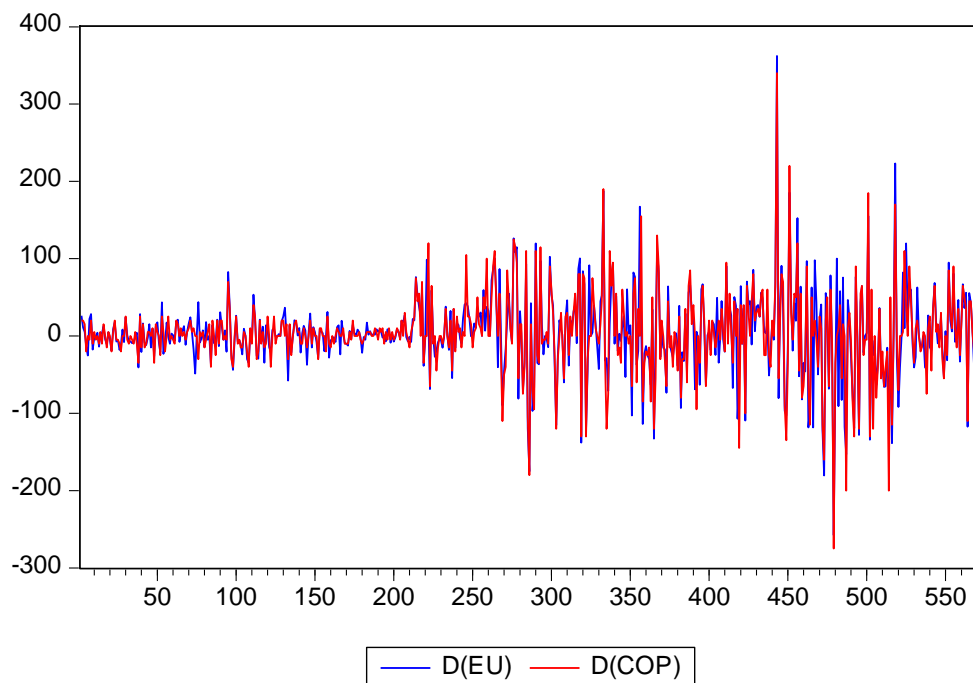
Las ilustraciones 1 y 2 confirman que el comportamiento de las series de precios de EU y COP son muy similares y además son de caminata aleatoria o no estacionarias, lo cual cumple con la primera condición para que sean variables cointegradas.

Ilustración 3 primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Ecopetrol



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

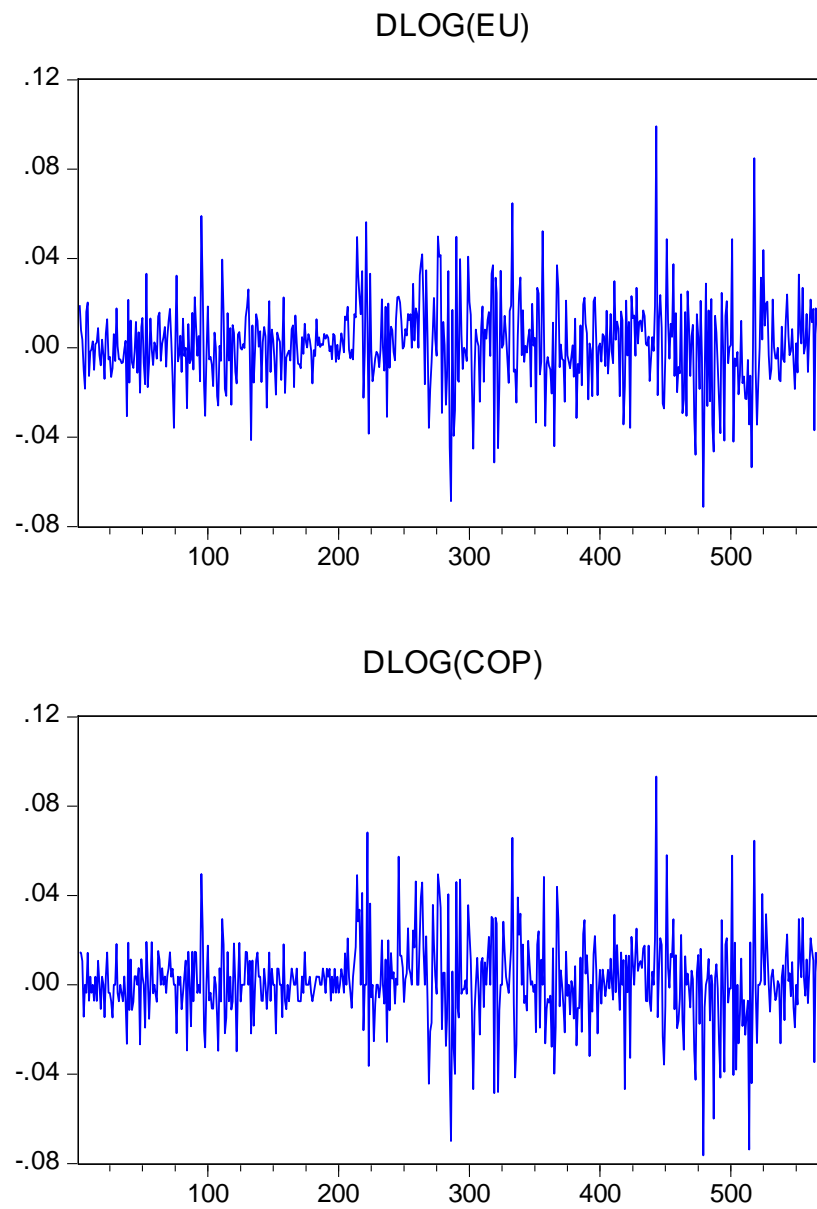
*Ilustración 4 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP
Ecopetrol*



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

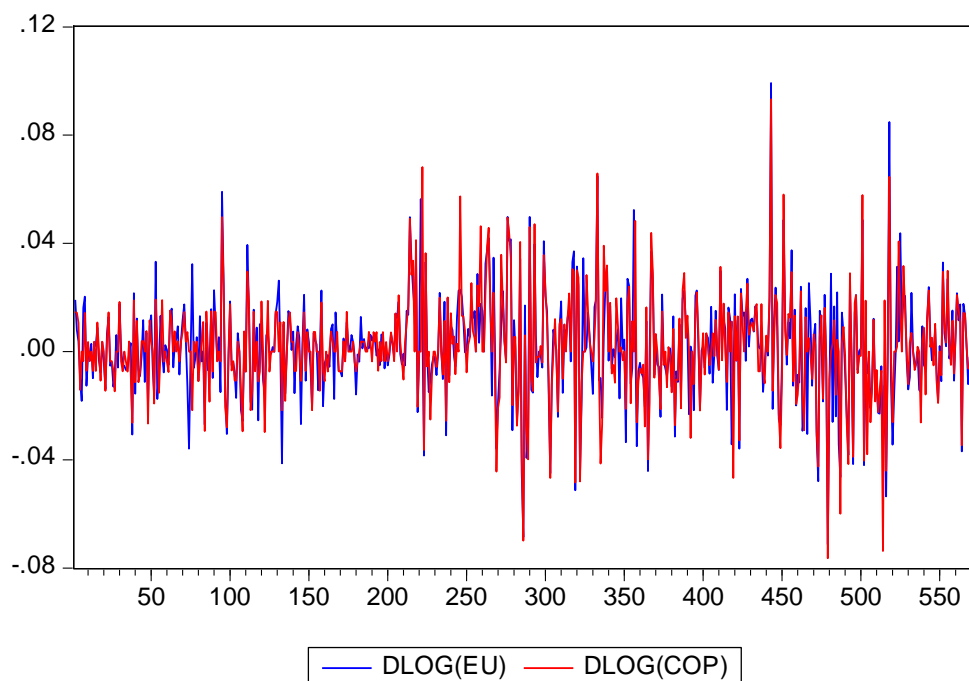
Las ilustraciones 3 y 4 demuestran que en sus primeras diferencias poseen un comportamiento estacional, es decir, en la base de su ecuación o su movimiento poseen un comportamiento similar con tendencia de media cero.

Ilustración 5 logaritmo de las primeras diferencias de las series de precio de EU y COP
Ecopetrol



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Ilustración 6 combinación de los logaritmos en sus primeras diferencias Ecopetrol



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Las ilustraciones 5 y 6 del logaritmo de sus primeras diferencias, evidencian que tienen un comportamiento estacionario manteniendo una media cero casi constante, por tal razón se cumple la segunda condición para la cointegración.

En la tercera condición se precisa que las series de datos deben ser integradas de orden 1 por lo cual utiliza el programa Eviews para realizar el test de raíces unitaria a partir del argumento de Dickey-Fuller cuya hipótesis nula es que existe una raíz unitaria. Para aceptar dicha hipótesis es necesario que la probabilidad sea superior al 5% de lo contrario se rechaza y se considera una serie de orden 0.

Tabla 2 test de raíz unitaria EU Ecopetrol

Null Hypothesis: LOG(EU) has a unit root					
Exogenous: None					
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)					
			t-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic			1.907671	0.9868	
Test critical values:		1% level	-2.569011		
		5% level	-1.941378		
		10% level	-1.616327		
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.					
Augmented Dickey-Fuller Test Equation					
Dependent Variable: D(LOG(EU))					
Method: Least Squares					
Date: 05/28/20 Time: 14:32					
Sample (adjusted): 2 573					
Included observations: 572 after adjustments					
	Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
	LOG(EU(-1))	0.000201	0.000105	1.907671	0.0569
R-squared	-0.000241	Mean dependent var			0.001570
Adjusted R-squared	-0.000241	S.D. dependent var			0.019320
S.E. of regression	0.019322	Akaike info criterion			-5.053361
Sum squared resid	0.213185	Schwarz criterion			-5.045758
Log likelihood	1446.261	Hannan-Quinn criter.			-5.050395
Durbin-Watson stat	1.992256				

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 3 test de raíz unitaria en la primera diferencia para EU Ecopetrol

Null Hypothesis: D(LOG(EU)) has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-13.23042	0.0000
Test critical values: 1% level			-2.569032	
5% level			-1.941381	
10% level			-1.616325	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(LOG(EU),2)				
Method: Least Squares				
Date: 05/28/20 Time: 14:43				
Sample (adjusted): 5 573				
Included observations: 569 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LOG(EU(-1)))	-0.994802	0.075191	-13.23042	0.0000
D(LOG(EU(-1)),2)	0.017176	0.058770	0.292252	0.7702
D(LOG(EU(-2)),2)	-0.114046	0.041890	-2.722552	0.0067
R-squared	0.510605	Mean dependent var		4.89E-05
Adjusted R-squared	0.508876	S.D. dependent var		0.027338
S.E. of regression	0.019158	Akaike info criterion		-5.066911
Sum squared resid	0.207743	Schwarz criterion		-5.044009
Log likelihood	1444.536	Hannan-Quinn criter.		-5.057975
Durbin-Watson stat	2.002934			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

El test de Dickey-Fuller, arroja como hipótesis nula que la serie de tiempo posee raíz unitaria, por lo cual, se aplica a la serie de datos del ADR de Ecopetrol evidenciando que en su nivel (tabla 2) tiene una posibilidad del 98.68% de poseer raíz unitaria, por lo cual se acepta la hipótesis nula. Así mismo, se aplica el test a la primera diferencia de la serie de

datos del ADR (*tabla 3*), obteniendo un porcentaje confirmatorio del 0% por lo que se rechaza la hipótesis nula y se confirma que el ADR de Ecopetrol posee raíz unitaria, es decir, es una integrada de orden 0.

Tabla 4 test de raíz unitaria para COP Ecopetrol

Null Hypothesis: LOG(COP) has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			1.937743	0.9878
Test critical values:		1% level	-2.569011	
		5% level	-1.941378	
		10% level	-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(LOG(COP))				
Method: Least Squares				
Date: 05/28/20 Time: 14:29				
Sample (adjusted): 2 573				
Included observations: 572 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(COP(-1))	0.000200	0.000103	1.937743	0.0531
R-squared	-0.000243	Mean dependent var		0.001566
Adjusted R-squared	-0.000243	S.D. dependent var		0.018974
S.E. of regression	0.018976	Akaike info criterion		-5.089550
Sum squared resid	0.205608	Schwarz criterion		-5.081947
Log likelihood	1456.611	Hannan-Quinn criter.		-5.086584
Durbin-Watson stat	1.997510			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 5 test de raíz unitaria en la primera diferencia para COP Ecopetrol

Null Hypothesis: D(LOG(COP)) has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-23.70893	0.0000
Test critical values:		1% level	-2.569018	
		5% level	-1.941379	
		10% level	-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(LOG(COP),2)				
Method: Least Squares				
Date: 05/28/20 Time: 14:30				
Sample (adjusted): 3 573				
Included observations: 571 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LOG(COP(-1)))	-0.994769	0.041958	-23.70893	0.0000
R-squared	0.496516	Mean dependent var		2.78E-05
Adjusted R-squared	0.496516	S.D. dependent var		0.026840
S.E. of regression	0.019045	Akaike info criterion		-5.082298
Sum squared resid	0.206741	Schwarz criterion		-5.074684
Log likelihood	1451.996	Hannan-Quinn criter.		-5.079327
Durbin-Watson stat	1.996070			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Ahora se aplica el test a la serie de datos de la acción en Colombia, obteniendo como resultados un 98.78% de probabilidad en su nivel (*tabla 4*) y un 0% en su primera diferencia (*tabla 5*), con lo cual se confirma que también es una integrada de orden 1, cumpliéndose así la tercera condición para que dos series de datos se consideren cointegradas, que ambas sean integradas de orden 1.

Tabla 6 regresión de componentes principales de EU y COP Ecopetrol

Dependent Variable: LOG(EU)				
Method: Least Squares				
Date: 05/28/20 Time: 14:34				
Sample: 1 573				
Included observations: 573				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(COP)	0.999941	4.75E-05	21069.60	0.0000
R-squared	0.999492	Mean dependent var	7.675905	
Adjusted R-squared	0.999492	S.D. dependent var	0.387225	
S.E. of regression	0.008732	Akaike info criterion	-6.641959	
Sum squared resid	0.043611	Schwarz criterion	-6.634365	
Log likelihood	1903.921	Hannan-Quinn criter.	-6.638997	
Durbin-Watson stat	1.464507			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Mediante el metodo Least Squares, se realiza una regresion lineal de los componentes principiales de EU y COP con dos fines: el primero; que a los errores arrojados por la regresion se les aplique el test de raiz unitaria para saber si se cumple o no la cuarta condicion para que las series de datos esten cointegradas y en segundo lugar, usar el coeficiente de la regresion como beta de cointegracion en el diseño de la estrategia de arbitraje.

Tabla 7 test de raíz unitaria del error Ecopetrol

Null Hypothesis: ERROR has a unit root					
Exogenous: None					
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)					
			t-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-18.16052	0.0000	
Test critical values:		1% level	-2.569011		
		5% level	-1.941378		
		10% level	-1.616327		
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.					
Augmented Dickey-Fuller Test Equation					
Dependent Variable: D(ERROR)					
Method: Least Squares					
Date: 05/28/20 Time: 14:36					
Sample (adjusted): 2 573					
Included observations: 572 after adjustments					
	Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
	ERROR(-1)	-0.732279	0.040323	-18.16052	0.0000
R-squared	0.366122	Mean dependent var	4.63E-06		
Adjusted R-squared	0.366122	S.D. dependent var	0.010576		
S.E. of regression	0.008420	Akaike info criterion	-6.714586		
Sum squared resid	0.040485	Schwarz criterion	-6.706983		
Log likelihood	1921.372	Hannan-Quinn criter.	-6.711620		
Durbin-Watson stat	2.015822				

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 8 test de raíz unitaria en su primera diferencia del error Ecopetrol

Null Hypothesis: D(ERROR) has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 9 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-13.15548	0.0000
Test critical values: 1% level			-2.569083	
5% level			-1.941388	
10% level			-1.616321	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(ERROR,2)				
Method: Least Squares				
Date: 05/28/20 Time: 14:36				
Sample (adjusted): 12 573				
Included observations: 562 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(ERROR(-1))	-5.105649	0.388101	-13.15548	0.0000
D(ERROR(-1),2)	3.409023	0.368954	9.239707	0.0000
D(ERROR(-2),2)	2.760806	0.339593	8.129759	0.0000
D(ERROR(-3),2)	2.204778	0.303338	7.268399	0.0000
D(ERROR(-4),2)	1.743288	0.261677	6.661979	0.0000
D(ERROR(-5),2)	1.266899	0.217458	5.825939	0.0000
D(ERROR(-6),2)	0.877391	0.172547	5.084949	0.0000
D(ERROR(-7),2)	0.575211	0.126574	4.544467	0.0000
D(ERROR(-8),2)	0.296207	0.082186	3.604118	0.0003
D(ERROR(-9),2)	0.118922	0.041982	2.832691	0.0048
R-squared	0.765921	Mean dependent var	-3.02E-06	
Adjusted R-squared	0.762105	S.D. dependent var	0.017630	
S.E. of regression	0.008599	Akaike info criterion	-6.656665	
Sum squared resid	0.040818	Schwarz criterion	-6.579592	
Log likelihood	1880.523	Hannan-Quinn criter.	-6.626574	
Durbin-Watson stat	2.018951			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Una vez aplicado el test de raíces unitarias a la serie de datos de error tanto es su nivel (*tabla 7*) como a su primera diferencia (*tabla 8*) se observa que en los dos casos su resultado fue de 0% lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula por lo que se considera que son integradas de orden 0. Con lo anterior se evidencia el cumplimiento de la cuarta condición para la cointegración, con lo que se concluye que las series de datos de precios del ADR y la acción de Ecopetrol están cointegradas, por lo cual se puede seguir con la aplicación de la estrategia de arbitraje.

Cálculo de límites

Tabla 9 Serie de datos Error Ecopetrol

Observation	Value
1	-0.000625
2	-0.008209
3	0.000496
4	0.000275
5	-0.003231
6	-0.000681
7	-0.002557
8	-0.003677
9	0.003152
10	0.003586
11	0.001076
12	0.000632
13	-0.002511
14	-0.000352
15	0.000400

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 10 Desviación Estándar serie de datos Error Ecopetrol

Modified: 1 573 //
error=resid

Fecha	ERROR
2/01/2017	-0.0007
3/01/2017	0.0038
4/01/2017	-0.0027
5/01/2017	-0.0096
6/01/2017	-0.0053
9/01/2017	-0.0235
10/01/2017	-0.0038
11/01/2017	0.0022
12/01/2017	-0.0033
13/01/2017	-0.0085
.	.
.	.
.	.
28/02/2019	-0.0005
1/03/2019	0.0028
4/03/2019	0.0023
5/03/2019	0.0033
6/03/2019	-0.0025
7/03/2019	0.0018
8/03/2019	0.0018
11/03/2019	0.0044
12/03/2019	0.0008
13/03/2019	0.0019
Desv Est	0.0087

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

En la tabla 9 se genera el listado de errores producidos por la regresion, se exportan y se adjunta en excel junto a la muestra de 573 datos. Posteriormente de calcula la desviacion estandar de la serie de datos del error, el resultado los limites de cruce inferior y superior para la aplicacion de la estrategia de arbitraje.

Tabla 11 límites para aplicación de arbitraje Ecopetrol

PISO
-0.0087
TECHO
0.0087

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Partiendo de la media 0, se toma una desviación estándar hacia arriba y una hacia abajo para establecer los puntos extremos que la variación del error de la serie de precios de muestra cruce y se ejerza el arbitraje. Se decide tomar como referencia 1 desviación estándar con el fin de que la línea de tendencia esté lo suficientemente alejada de la media cero y poder encontrar los puntos propicios de aplicación de la estrategia que puedan generar resultados más efectivos.

Variación del error en la muestra de aplicación de la estrategia

Tabla 12 Cálculo error de variación muestra Ecopetrol

FECHA	COP	EU	ERROR
14/03/2019	\$ 3,320	\$ 3,314	-0.0006
15/03/2019	\$ 3,400	\$ 3,335	-0.0082
18/03/2019	\$ 3,445	\$ 3,447	0.0005
19/03/2019	\$ 3,470	\$ 3,471	0.0003
20/03/2019	\$ 3,550	\$ 3,522	-0.0032
21/03/2019	\$ 3,565	\$ 3,558	-0.0007
22/03/2019	\$ 3,430	\$ 3,408	-0.0026
25/03/2019	\$ 3,430	\$ 3,399	-0.0037
26/03/2019	\$ 3,470	\$ 3,494	0.0032
27/03/2019	\$ 3,370	\$ 3,396	0.0036
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
6/02/2020	\$ 3,195	\$ 3,182	-0.0016
7/02/2020	\$ 3,215	\$ 3,201	-0.0017
10/02/2020	\$ 3,215	\$ 3,223	0.0012
11/02/2020	\$ 3,290	\$ 3,285	-0.0005
12/02/2020	\$ 3,375	\$ 3,372	-0.0002
13/02/2020	\$ 3,360	\$ 3,344	-0.0019
14/02/2020	\$ 3,325	\$ 3,313	-0.0014
17/02/2020	\$ 3,355	\$ 3,317	-0.0047
18/02/2020	\$ 3,365	\$ 3,352	-0.0015
19/02/2020	\$ 3,460	\$ 3,450	-0.0010
20/02/2020	\$ 3,460	\$ 3,480	0.0027

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

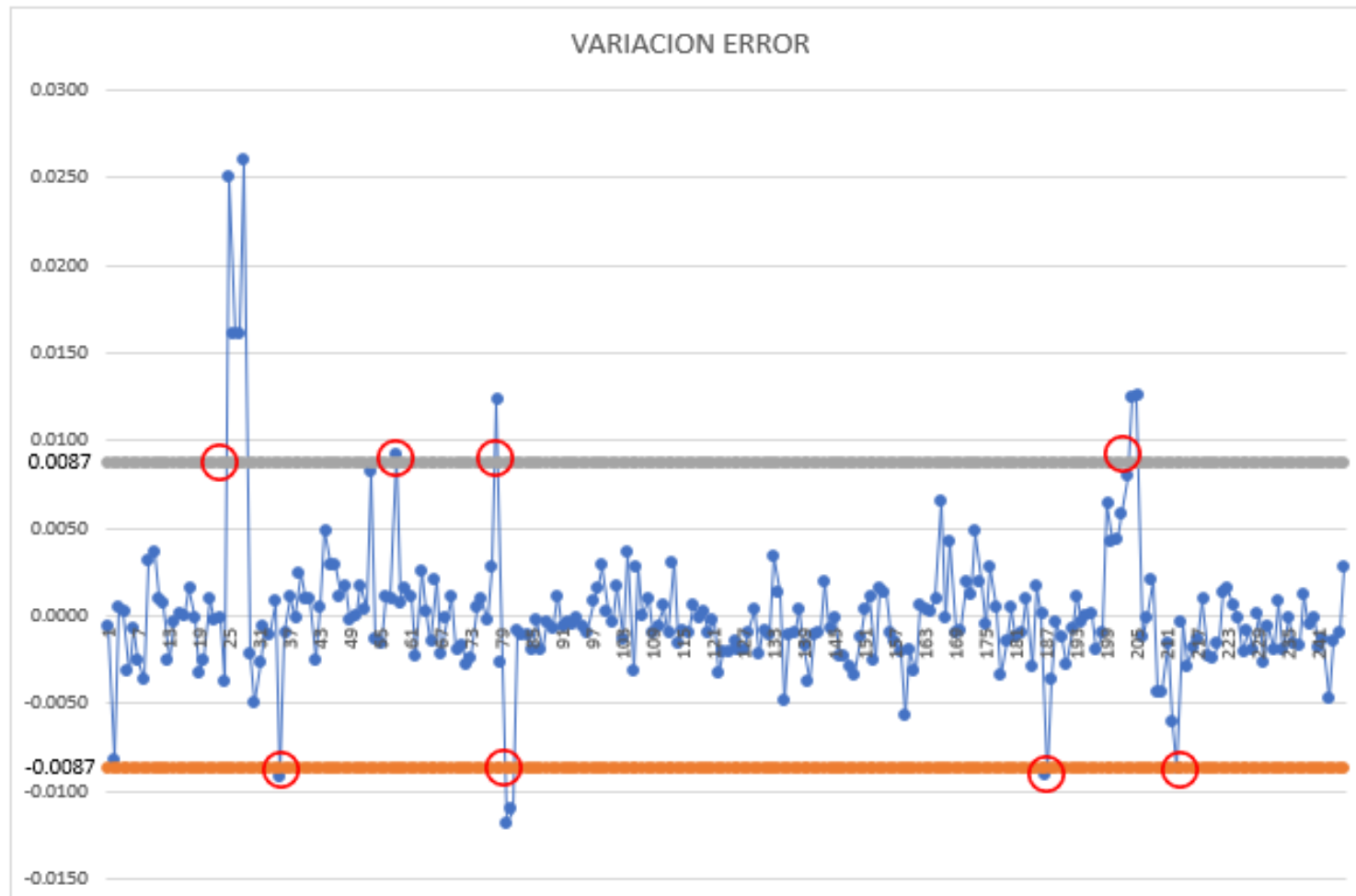
En la serie de precios de 213 datos se calcula el error de varianza para el cual se tiene en cuenta el valor del coeficiente obtenido en la tabla 6 de 0.999941.

La fórmula del error es $=\text{LOG}(\text{EU}) - (\text{BETA DE COINTEGRACION} * \text{LOG}(\text{COP}))$

, en donde se toma como primer LOG el instrumento del país con un posicionamiento internacional mayor.

Identificación de los puntos de corte de límites

Ilustración 7 variación error muestra Ecopetrol



Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

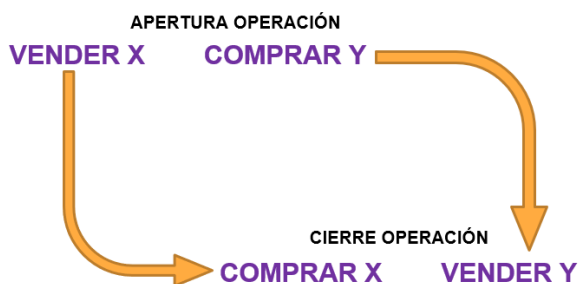
Con el resultado del error en la serie de precio de validación se usa la gráfica de línea con marcadores y se le adicionan los puntos extremos nombrados anteriormente piso y techo. En la gráfica se evidencia que existen 4 puntos de cruce en el techo y 4 puntos de cruce en el piso, los cuales son las oportunidades para aplicar la estrategia de arbitraje. Adicionalmente como análisis, se observa que la línea de tendencia

Para efectos del desarrollo de la estrategia se comenzará con un saldo de efectivo de \$100.000.000, negociaran 10.000 acciones y el costo de transacción será del 0.5% sobre el valor de la operación (porcentaje escogido entre la escala del 0.3% y 3% establecidos por las comisionistas de bolsa (Monterrosa, 2020)).

Aplicación estrategia de arbitraje

Nota: en las tablas que se presentaran a continuación habrá filas y columnas ocultas ya que la información es muy extensa y para objeto de este documento solo se mostrara la información más relevante.

Apertura de la operación de la estrategia



En la operación de arbitraje se debe realizar la apertura y cierre de la operación, para la que se tendrá en cuenta algunos condicionales que permita establecer los días en los que se debe ejecutar la operación y los días en los que se debe cerrar.

Tabla 13 intercepto y ejecución de la operación Ecopetrol

	A	B	C	D	E	K	L	M	N	O	P	Q	R
4		FECHA	COP	EU	ERROR	PUNTOS DE CORTE	OPERACIÓN	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN
26		12/04/2019	\$ 3,275	\$ 3,271.30	-0.0003	N	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
27		15/04/2019	\$ 3,230	\$ 3,227.76	-0.0001	N	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
28		16/04/2019	\$ 3,295	\$ 3,264.89	-0.0038	N	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
29		17/04/2019	\$ 3,030	\$ 3,208.21	0.0250	T	VEU CCOP	\$ 32,082,130	\$ 160,411	\$ 31,921,720	\$ 30,300,000	\$ 303,000	\$ 30,603,000
30		18/04/2019	\$ 3,030	\$ 3,142.21	0.0160	T	VEU CCOP	\$ 31,422,100	\$ 157,111	\$ 31,264,990	\$ 30,300,000	\$ 303,000	\$ 30,603,000
31		19/04/2019	\$ 3,030	\$ 3,142.21	0.0160	T	VEU CCOP	\$ 31,422,100	\$ 157,111	\$ 31,264,990	\$ 30,300,000	\$ 303,000	\$ 30,603,000
32		22/04/2019	\$ 3,095	\$ 3,283.82	0.0259	T	VEU CCOP	\$ 32,838,180	\$ 164,191	\$ 32,673,989	\$ 30,950,000	\$ 309,500	\$ 31,259,500
39		1/05/2019	\$ 2,985	\$ 2,921.24	-0.0092	P	VCOP CEU	\$ 29,850,000	\$ 149,250	\$ 29,700,750	\$ 29,212,414	\$ 292,124	\$ 29,504,538
62		3/06/2019	\$ 2,765	\$ 2,823.19	0.0092	T	VEU CCOP	\$ 28,231,865	\$ 141,159	\$ 28,090,706	\$ 27,650,000	\$ 276,500	\$ 27,926,500
82		1/07/2019	\$ 2,920	\$ 3,002.06	0.0122	T	VEU CCOP	\$ 30,020,609	\$ 150,103	\$ 29,870,506	\$ 29,200,000	\$ 292,000	\$ 29,492,000
84		3/07/2019	\$ 3,010	\$ 2,927.81	-0.0118	P	VCOP CEU	\$ 30,100,000	\$ 150,500	\$ 29,949,500	\$ 29,278,108	\$ 292,781	\$ 29,570,889
85		4/07/2019	\$ 3,010	\$ 2,932.63	-0.0111	P	VCOP CEU	\$ 30,100,000	\$ 150,500	\$ 29,949,500	\$ 29,326,290	\$ 293,263	\$ 29,619,552
191		29/11/2019	\$ 3,290	\$ 3,219.86	-0.0092	P	VCOP CEU	\$ 32,900,000	\$ 164,500	\$ 32,735,500	\$ 32,198,593	\$ 321,986	\$ 32,520,579
208		24/12/2019	\$ 3,320	\$ 3,414.86	0.0124	T	VEU CCOP	\$ 34,148,583	\$ 170,743	\$ 33,977,840	\$ 33,200,000	\$ 332,000	\$ 33,532,000
209		25/12/2019	\$ 3,320	\$ 3,415.33	0.0125	T	VEU CCOP	\$ 34,153,344	\$ 170,767	\$ 33,982,577	\$ 33,200,000	\$ 332,000	\$ 33,532,000
217		6/01/2020	\$ 3,380	\$ 3,311.13	-0.0087	P	VCOP CEU	\$ 33,800,000	\$ 169,000	\$ 33,631,000	\$ 33,111,342	\$ 331,113	\$ 33,442,455

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Para la apertura de la operación primero se debe identificar el momento en que la línea de tendencia cruzo el piso o el techo, el punto de corte estará condicionado de tal manera que se identifique en qué momento el error alcanzo un valor superior a una desviación estándar positiva (techo) o en qué momento supero el valor de una desviación estándar negativa (piso).

Identificados los puntos de corte se procede a analizar el tipo de operación a realizar, de tal modo que condiciona dependiendo del punto de cruce, si este se realiza por el techo la operación de apertura es la “VENTA DEL ADR Y COMPRA DE LA ACCION” en razón a que al cruzar por el techo está indicando que el ADR está cotizando a un valor mayor que la ACCION. Así mismo, si el cruce es por el piso, lo que indica es que el precio de cotización de la ACCION está por encima que e del ADR, por lo tanto, se procede a ejecutar la operación de “VENTA DE LA ACCION Y COMPRA DEL ADR”.

Seguido a esto, se calcula la comisión sobre el total de valor de la venta y se le resta para obtener el total de la operación de venta.

Cierre de la operación de la estrategia

Tabla 14 intercepto y cierre de la operación Ecopetrol

	A	B	C	D	E	K	L	S	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
	FECHA	COP	EU	ERROR	PUNTOS DE CORTE	OPERACIÓN			SEÑAL DE CIERRE	CIERRE OPERACIÓN	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN
29	17/04/2019	\$ 3,030	\$ 3,208.21	0.0250	T	VEU CCOP				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
30	18/04/2019	\$ 3,030	\$ 3,142.21	0.0160	T	VEU CCOP				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
31	19/04/2019	\$ 3,030	\$ 3,142.21	0.0160	T	VEU CCOP				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
32	22/04/2019	\$ 3,095	\$ 3,283.82	0.0259	T	VEU CCOP				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
33	23/04/2019	\$ 3,105	\$ 3,088.24	-0.0021	N		0	CERRAR OPERACION	CEU VCOP		\$ 123,529,455	\$ 617,647	\$ 124,147,102	\$ 124,200,000	\$ 621,000	\$ 123,579,000
39	1/05/2019	\$ 2,985	\$ 2,921.24	-0.0092	P	VCOP CEU				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
41	3/05/2019	\$ 2,925	\$ 2,931.19	0.0011	N		0	CERRAR OPERACION	CCOP VEU		\$ 29,250,000	\$ 146,250	\$ 29,396,250	\$ 29,311,864	\$ 146,559	\$ 29,165,305
62	3/06/2019	\$ 2,765	\$ 2,823.19	0.0092	T	VEU CCOP				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
66	7/06/2019	\$ 2,875	\$ 2,858.42	-0.0023	N		0	CERRAR OPERACION	CEU VCOP		\$ 28,584,169	\$ 142,921	\$ 28,727,090	\$ 28,750,000	\$ 143,750	\$ 28,606,250
82	1/07/2019	\$ 2,920	\$ 3,002.06	0.0122	T	VEU CCOP				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
83	2/07/2019	\$ 2,925	\$ 2,905.65	-0.0027	N		0	CERRAR OPERACION	CEU VCOP		\$ 29,056,473	\$ 145,282	\$ 29,201,755	\$ 29,250,000	\$ 146,250	\$ 29,103,750
84	3/07/2019	\$ 3,010	\$ 2,927.81	-0.0118	P	VCOP CEU				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
85	4/07/2019	\$ 3,010	\$ 2,932.63	-0.0111	P	VCOP CEU				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
94	17/07/2019	\$ 3,000	\$ 3,006.73	0.0012	N		0	CERRAR OPERACION	CCOP VEU		\$ 60,000,000	\$ 300,000	\$ 60,300,000	\$ 60,134,688	\$ 300,673	\$ 59,834,015
191	29/11/2019	\$ 3,290	\$ 3,219.86	-0.0092	P	VCOP CEU				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
197	9/12/2019	\$ 3,280	\$ 3,287.22	0.0012	N		0	CERRAR OPERACION	CCOP VEU		\$ 32,800,000	\$ 164,000	\$ 32,964,000	\$ 32,872,243	\$ 164,361	\$ 32,707,882
208	24/12/2019	\$ 3,320	\$ 3,414.86	0.0124	T	VEU CCOP				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
209	25/12/2019	\$ 3,320	\$ 3,415.33	0.0125	T	VEU CCOP				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
210	26/12/2019	\$ 3,345	\$ 3,333.35	-0.0013	N		0	CERRAR OPERACION	CEU VCOP		\$ 66,667,017	\$ 333,335	\$ 67,000,352	\$ 66,900,000	\$ 334,500	\$ 66,565,500
217	6/01/2020	\$ 3,380	\$ 3,311.13	-0.0087	P	VCOP CEU				0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
222	13/01/2020	\$ 3,420	\$ 3,425.11	0.0009	N		0	CERRAR OPERACION	CCOP VEU		\$ 34,200,000	\$ 171,000	\$ 34,371,000	\$ 34,251,050	\$ 171,255	\$ 34,079,795

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Como señal para el cierre de la operación , se tendrá en cuenta el momento inmediatamente después de la apertura en el cual la línea de tendencia del error cruce la media cero, esto a razón que la tendencia del mercado cambia de posición.

Con el fin de cumplir el ciclo del activo, la operación de cierre dependerá de la operación de apertura, si esta se realizó con la VENTA DEL ADR Y COMPRA DE LA ACCION, la operación de cierre será la inversa, es decir, COMPRA DEL ADR Y VENTA DE LA ACCION, de la tal manera que se hace una venta y una compra del mismo título con el fin de evaluar las ganancias obtenidas del ciclo.

Cálculo de utilidades

Tabla 15 Sumatoria apertura y cierre de la operación Ecopetrol

	L	M	N	O	P	Q	R	S	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
4	OPERACIÓN	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN		CIERRE OPERACIÓN	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN		V - C	C - V	RESULTADO ESTRATEGIA ABITRAJE
26	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
29	VEU CCOP	\$ 32,082,130	\$ 160,411	\$ 31,921,720	\$ 30,300,000	\$ 303,000	\$ 30,603,000		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
30	VEU CCOP	\$ 31,422,100	\$ 157,111	\$ 31,264,990	\$ 30,300,000	\$ 303,000	\$ 30,603,000		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
31	VEU CCOP	\$ 31,422,100	\$ 157,111	\$ 31,264,990	\$ 30,300,000	\$ 303,000	\$ 30,603,000		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
32	VEU CCOP	\$ 32,838,180	\$ 164,191	\$ 32,673,989	\$ 30,950,000	\$ 309,500	\$ 31,259,500		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
33	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CEU VCOP	\$ 123,529,455	\$ 617,647	\$ 124,147,102	\$ 124,200,000	\$ 621,000	\$ 123,579,000		\$ 2,978,586	\$ 510,500	\$ 3,489,085.77
39	VCOP CEU	\$ 29,850,000	\$ 149,250	\$ 29,700,750	\$ 29,212,414	\$ 292,124	\$ 29,504,538		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
40	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
41	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CCOP VEU	\$ 29,250,000	\$ 146,250	\$ 29,396,250	\$ 29,311,864	\$ 146,559	\$ 29,165,305		\$ 304,500	\$ 339,233	\$ 34,733.21
62	VEU CCOP	\$ 28,231,865	\$ 141,159	\$ 28,090,706	\$ 27,650,000	\$ 276,500	\$ 27,926,500		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
66	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CEU VCOP	\$ 28,584,169	\$ 142,921	\$ 28,727,090	\$ 28,750,000	\$ 143,750	\$ 28,606,250		-\$ 636,384	\$ 679,750	\$ 43,365.88
82	VEU CCOP	\$ 30,020,609	\$ 150,103	\$ 29,870,506	\$ 29,200,000	\$ 292,000	\$ 29,492,000		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
83	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CEU VCOP	\$ 29,056,473	\$ 145,282	\$ 29,201,755	\$ 29,250,000	\$ 146,250	\$ 29,103,750		\$ 668,750	-\$ 388,250	\$ 280,500.39
84	VCOP CEU	\$ 30,100,000	\$ 150,500	\$ 29,949,500	\$ 29,278,108	\$ 292,781	\$ 29,570,889		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
85	VCOP CEU	\$ 30,100,000	\$ 150,500	\$ 29,949,500	\$ 29,326,290	\$ 293,263	\$ 29,619,552		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
94	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CCOP VEU	\$ 60,000,000	\$ 300,000	\$ 60,300,000	\$ 60,134,688	\$ 300,673	\$ 59,834,015		-\$ 401,000	\$ 643,573	\$ 242,572.98
191	VCOP CEU	\$ 32,900,000	\$ 164,500	\$ 32,735,500	\$ 32,198,593	\$ 321,986	\$ 32,520,579		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
197	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CCOP VEU	\$ 32,800,000	\$ 164,000	\$ 32,964,000	\$ 32,872,243	\$ 164,361	\$ 32,707,882		-\$ 228,500	\$ 187,303	-\$ 41,197.14
208	VEU CCOP	\$ 34,148,583	\$ 170,743	\$ 33,977,840	\$ 33,200,000	\$ 332,000	\$ 33,532,000		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
209	VEU CCOP	\$ 34,153,344	\$ 170,767	\$ 33,982,577	\$ 33,200,000	\$ 332,000	\$ 33,532,000		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
210	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CEU VCOP	\$ 66,667,017	\$ 333,335	\$ 67,000,352	\$ 66,900,000	\$ 334,500	\$ 66,565,500		\$ 960,066	-\$ 498,500	\$ 461,565.78
217	VCOP CEU	\$ 33,800,000	\$ 169,000	\$ 33,631,000	\$ 33,111,342	\$ 331,113	\$ 33,442,455		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
222	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CCOP VEU	\$ 34,200,000	\$ 171,000	\$ 34,371,000	\$ 34,251,050	\$ 171,255	\$ 34,079,795		-\$ 740,000	\$ 637,340	-\$ 102,660.42

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

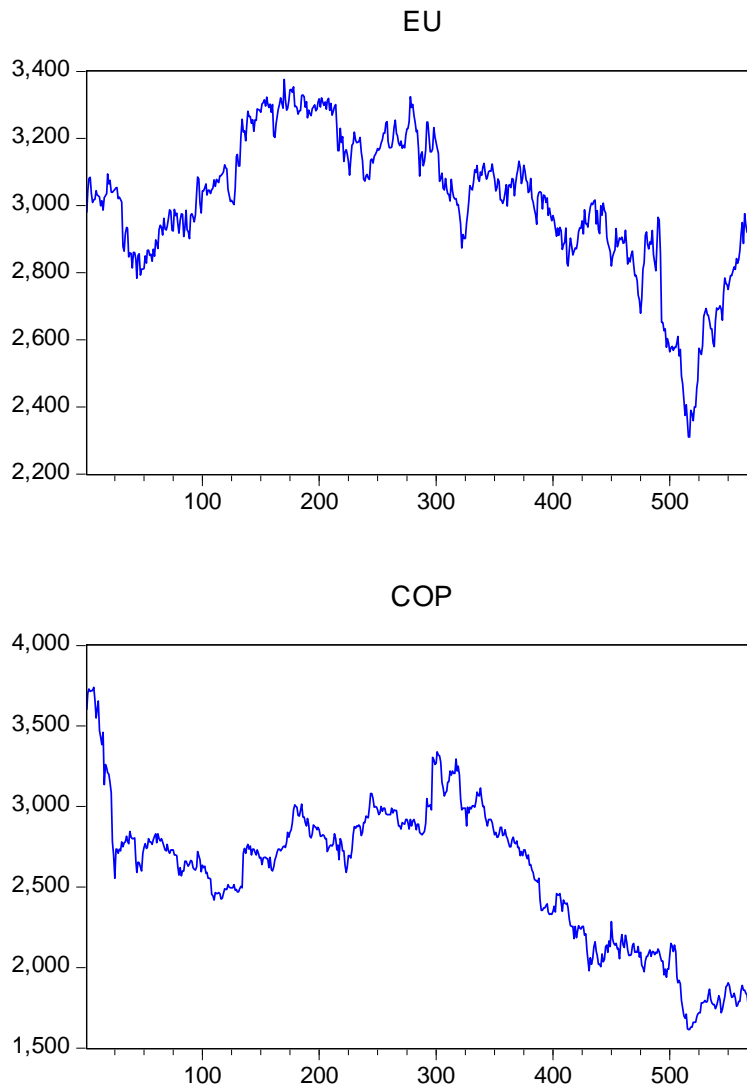
Para el cálculo de las utilidades de la estrategia, es necesario en primera medida hacer el cálculo del ciclo de cada título y luego una suma de los dos. Para saber cuánto fue el resultado del primer ciclo se hace la suma del total de la operación de venta de apertura menos el total de la operación de compra del cierre, luego se efectúa la suma de (menos) el total de operación de compra de la apertura más el total de la operación de venta del cierre y así se cierran los dos ciclos de los títulos. Posteriormente la suma de los dos resultados anteriores arrojará el resultado final de la estrategia de arbitraje.

AVIANCA HOLDINGS SA

Al igual que con Ecopetrol, con la acción y ADR de Avianca holdings se aplican los mismos parámetros.

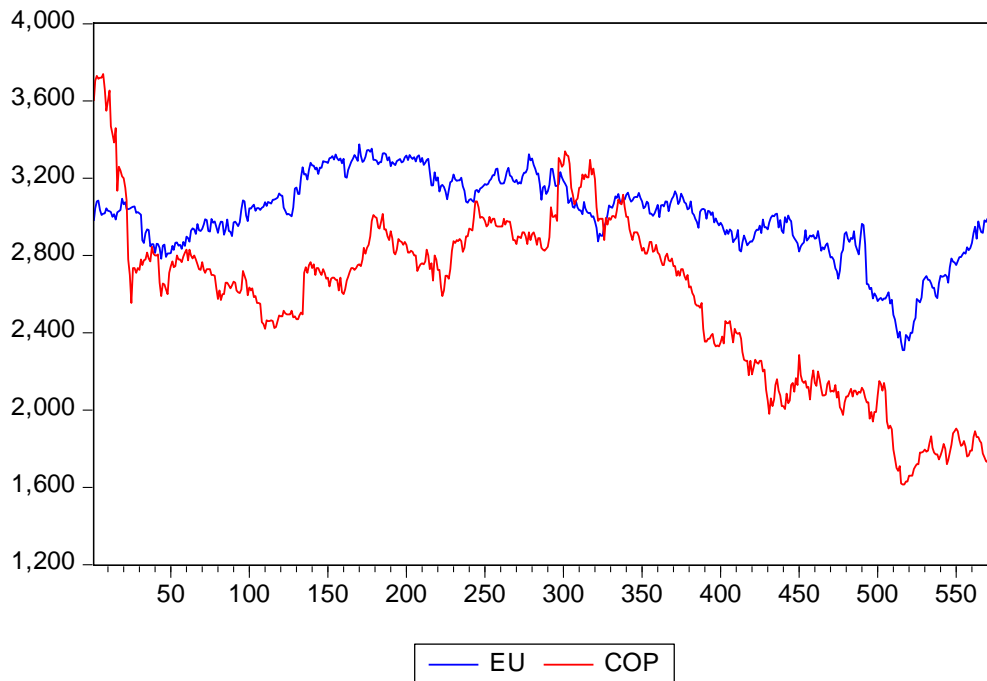
Validación cointegración de series de datos

Ilustración 8 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP Avianca Holdings



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

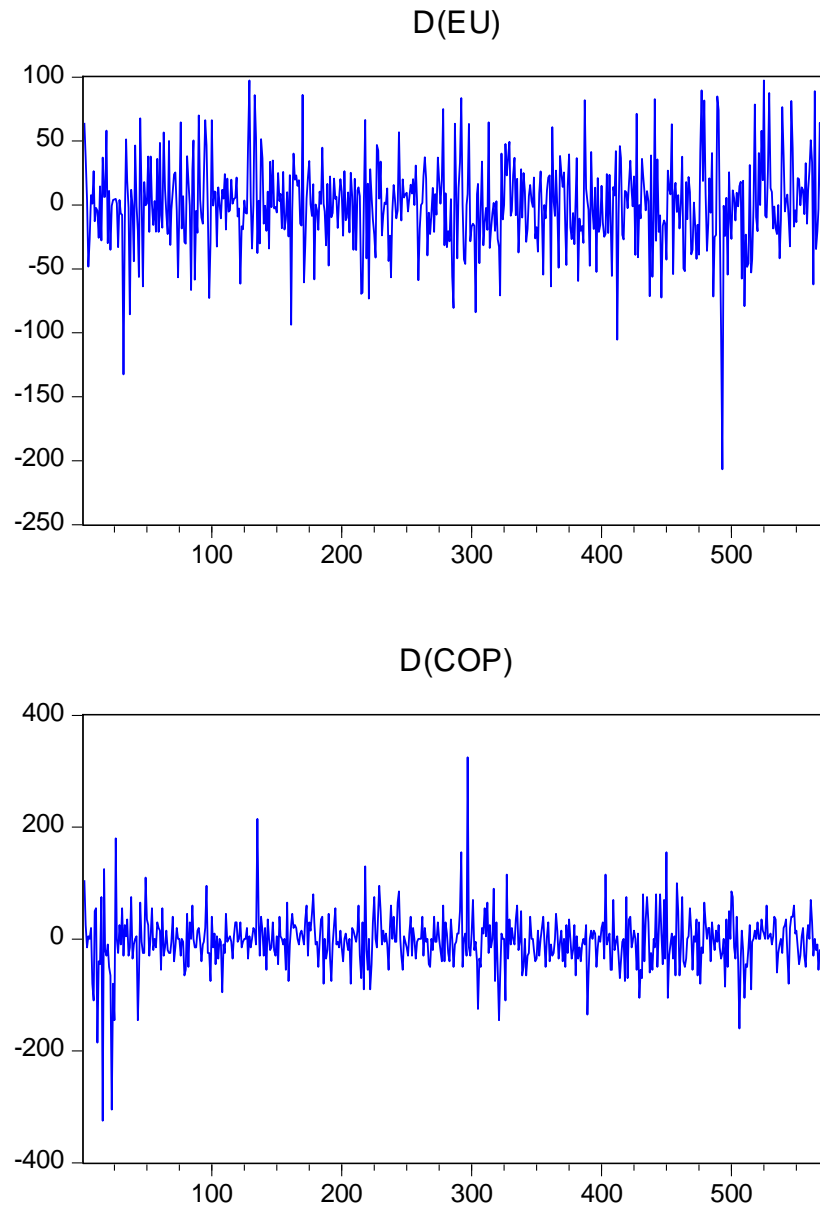
Ilustración 9 combinación del comportamiento de los precios de EU y COP Avianca Holdings



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

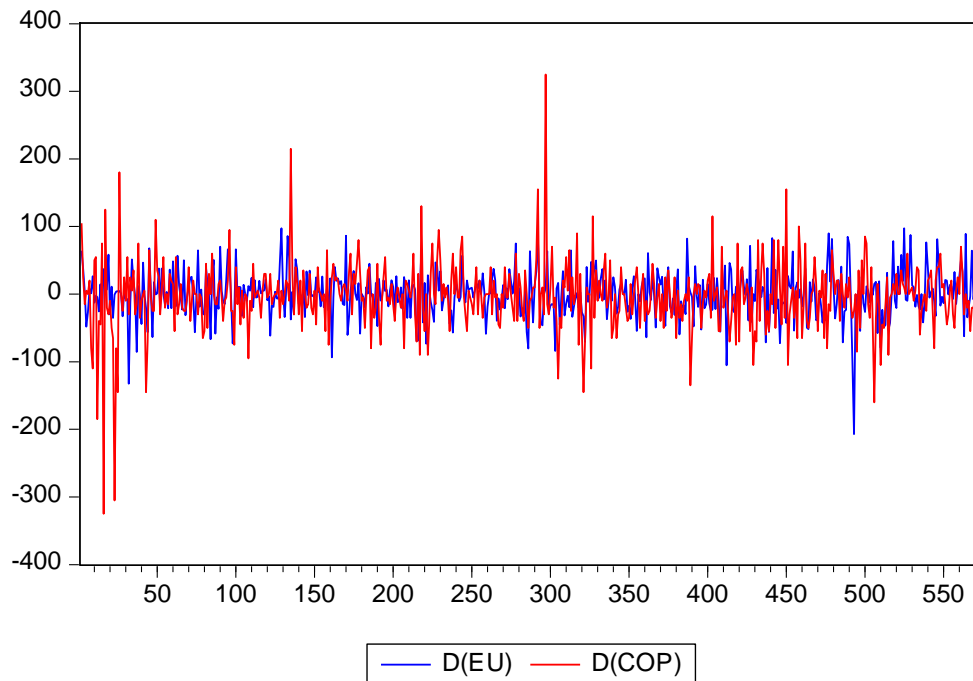
Con las ilustraciones 8 y 9, se evidencia en primer lugar que el comportamiento de los precios posee una tendencia de caminata aleatoria y también que las líneas de tendencias llevan un comportamiento diferente entre ellas, con lo cual se comienza a interpretar que no hay una cointegración entre ellas, pero hay que realizar todas las pruebas con el fin de obtener un resultado contundente.

Ilustración 10 primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Avianca Holdings



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

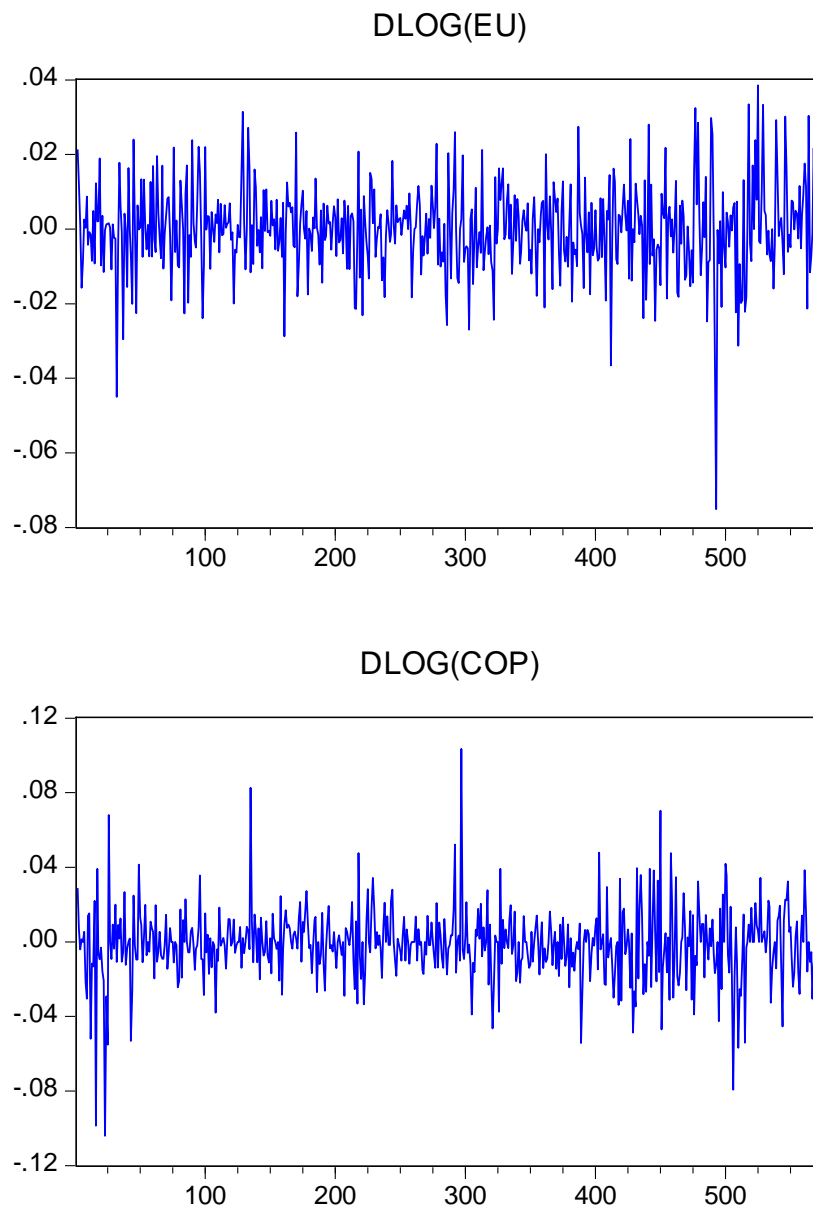
Ilustración 11 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Avianca Holdings



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

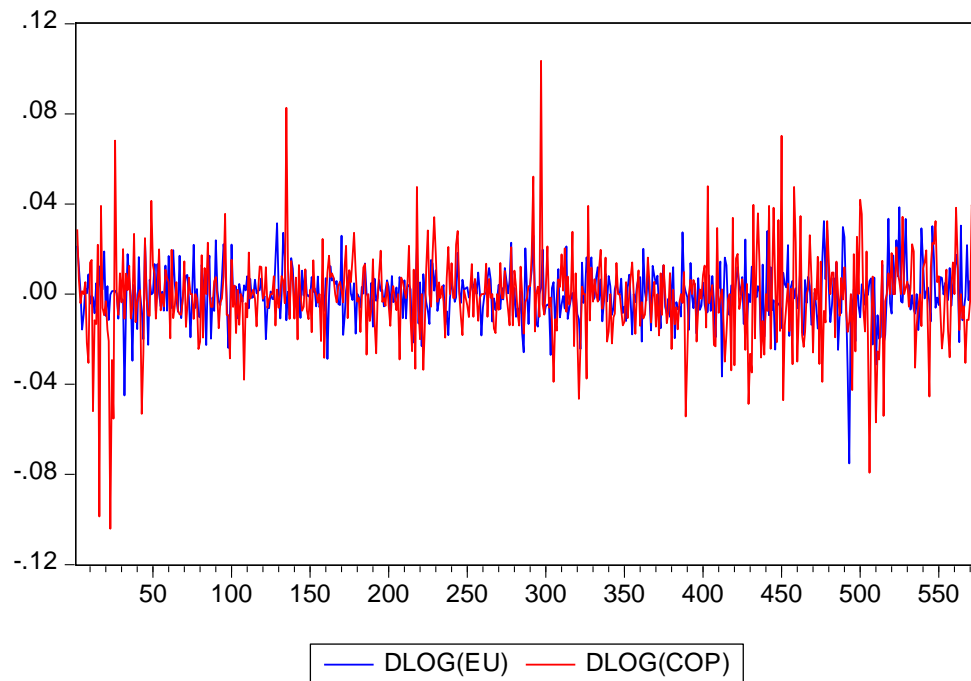
Las ilustraciones 10 y 11 demuestran que en sus primeras diferencias poseen un comportamiento estacional, es decir, en la base de su ecuación o su movimiento poseen un comportamiento similar con tendencia de media cero.

Ilustración 12 logaritmo de las primeras diferencias de las series de precio de EU y COP Avianca Holdings



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Ilustración 13 combinación de los logaritmos en sus primeras diferencias Avianca Holdings



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Las ilustraciones 12 y 13 del logaritmo de sus primeras diferencias, evidencian que tienen mantienen un comportamiento estacionario manteniendo una media cero casi constante, por tal razón se cumple la segunda condición para la cointegración.

Como parámetro general, se aplica el teste de raíces unitarias para el ADR y la Acción de Avianca Holdings, con el fin de comprobar la tercera condición de la cointegración.

Tabla 16 test de raíz unitaria EU Avianca Holdings

Null Hypothesis: LOG(EU) has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-0.030058	0.6724
Test critical values: 1% level			-2.569011	
5% level			-1.941378	
10% level			-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(LOG(EU))				
Method: Least Squares				
Date: 06/09/20 Time: 19:25				
Sample (adjusted): 2 573				
Included observations: 572 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(EU(-1))	-1.86E-06	6.17E-05	-0.030058	0.9760
R-squared	0.000001	Mean dependent var	-6.15E-06	
Adjusted R-squared	0.000001	S.D. dependent var	0.011824	
S.E. of regression	0.011824	Akaike info criterion	-6.035696	
Sum squared resid	0.079824	Schwarz criterion	-6.028092	
Log likelihood	1727.209	Hannan-Quinn criter.	-6.032729	
Durbin-Watson stat	2.012387			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Tabla 17 test de raíz unitaria en la primera diferencia para EU Avianca Holdings

Null Hypothesis: D(LOG(EU)) has a unit root					
Exogenous: None					
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)					
			t-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-24.16128	0.0000	
Test critical values:		1% level	-2.569018		
		5% level	-1.941379		
		10% level	-1.616327		
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.					
Augmented Dickey-Fuller Test Equation					
Dependent Variable: D(LOG(EU),2)					
Method: Least Squares					
Date: 06/09/20 Time: 19:28					
Sample (adjusted): 3 573					
Included observations: 571 after adjustments					
	Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
	D(LOG(EU(-1)))	-1.010106	0.041807	-24.16128	0.0000
R-squared	0.505960	Mean dependent var		-5.99E-05	
Adjusted R-squared	0.505960	S.D. dependent var		0.016787	
S.E. of regression	0.011800	Akaike info criterion		-6.039768	
Sum squared resid	0.079360	Schwarz criterion		-6.032154	
Log likelihood	1725.354	Hannan-Quinn criter.		-6.036797	
Durbin-Watson stat	2.004224				

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

El test de Dickey-Fuller, evidencia que en su nivel (tabla 16) tiene una posibilidad del 67.24% de poseer raíz unitaria, es un valor bastante bajo y como parametro de certeza pero por se acepta la hipótesis nula ya que suera el 5%. Así mismo, se aplica el test a la primera diferencia de la serie de datos del ADR (tabla 17), obteniendo un porcentaje confirmatorio

del 0% por lo que se rechaza la hipótesis nula y se confirma que el ADR de Avianca Holdings posee raíz unitaria, es decir, es una integrada de orden 0.

Tabla 18 test de raíz unitaria para COP Avianca Holdings

Null Hypothesis: LOG(COP) has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-1.510764	0.1227
Test critical values:		1% level	-2.569011	
		5% level	-1.941378	
		10% level	-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(LOG(COP))				
Method: Least Squares				
Date: 06/09/20 Time: 19:29				
Sample (adjusted): 2 573				
Included observations: 572 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(COP(-1))	-0.000156	0.000104	-1.510764	0.1314
R-squared	0.000158	Mean dependent var	-0.001202	
Adjusted R-squared	0.000158	S.D. dependent var	0.019420	
S.E. of regression	0.019419	Akaike info criterion	-5.043412	
Sum squared resid	0.215316	Schwarz criterion	-5.035809	
Log likelihood	1443.416	Hannan-Quinn criter.	-5.040446	
Durbin-Watson stat	2.080126			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Tabla 19 test de raíz unitaria en la primera diferencia para COP Avianca Holdings

Null Hypothesis: D(LOG(COP)) has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-24.85004	0.0000
Test critical values: 1% level			-2.569018	
5% level			-1.941379	
10% level			-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(LOG(COP),2)				
Method: Least Squares				
Date: 06/09/20 Time: 19:30				
Sample (adjusted): 3 573				
Included observations: 571 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LOG(COP(-1)))	-1.039501	0.041831	-24.85004	0.0000
R-squared	0.520005	Mean dependent var		-9.34E-05
Adjusted R-squared	0.520005	S.D. dependent var		0.028034
S.E. of regression	0.019422	Akaike info criterion		-5.043061
Sum squared resid	0.215014	Schwarz criterion		-5.035447
Log likelihood	1440.794	Hannan-Quinn criter.		-5.040091
Durbin-Watson stat	1.996671			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Ahora se aplica el test a la serie de datos de la acción en Colombia, obteniendo como resultados un 12.27% de probabilidad en su nivel (tabla 18) y un 0% en su primera diferencia (tabla 19), con lo cual se confirma que también es una integrada de orden 1, cumpliéndose

asi la tercera condición para que dos serires de datos se consideren cointegradas, que ambas sean integradas de orden 1.

Tabla 20 regresión de componentes principales de EU y COP Avianca Holdings

Dependent Variable: LOG(EU)				
Method: Least Squares				
Date: 06/09/20 Time: 19:33				
Sample (adjusted): 1 573				
Included observations: 573 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(COP)	1.020916	0.000775	1318.021	0.0000
R-squared	-3.163026	Mean dependent var	8.006455	
Adjusted R-squared	-3.163026	S.D. dependent var	0.071258	
S.E. of regression	0.145392	Akaike info criterion	-1.017020	
Sum squared resid	12.09144	Schwarz criterion	-1.009427	
Log likelihood	292.3763	Hannan-Quinn criter.	-1.014058	
Durbin-Watson stat	0.022121			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Tabla 21 test de raíz unitaria del error Avianca Holdings

Null Hypothesis: ERROR has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-1.896043	0.0554
Test critical values:		1% level	-2.569011	
		5% level	-1.941378	
		10% level	-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(ERROR)				
Method: Least Squares				
Date: 06/09/20 Time: 19:35				
Sample (adjusted): 2 573				
Included observations: 572 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ERROR(-1)	-0.011820	0.006234	-1.896043	0.0585
R-squared	0.003078	Mean dependent var		0.001221
Adjusted R-squared	0.003078	S.D. dependent var		0.021609
S.E. of regression	0.021575	Akaike info criterion		-4.832790
Sum squared resid	0.265796	Schwarz criterion		-4.825186
Log likelihood	1383.178	Hannan-Quinn criter.		-4.829824
Durbin-Watson stat	2.197786			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Tabla 22 test de raíz unitaria en su primera diferencia del error Avianca Holdings

Null Hypothesis: D(ERROR) has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-26.53635	0.0000
Test critical values:		1% level	-2.569018	
		5% level	-1.941379	
		10% level	-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(ERROR,2)				
Method: Least Squares				
Date: 06/09/20 Time: 19:35				
Sample (adjusted): 3 573				
Included observations: 571 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(ERROR(-1))	-1.105465	0.041659	-26.53635	0.0000
R-squared	0.552652	Mean dependent var		3.54E-05
Adjusted R-squared	0.552652	S.D. dependent var		0.032203
S.E. of regression	0.021539	Akaike info criterion		-4.836179
Sum squared resid	0.264433	Schwarz criterion		-4.828565
Log likelihood	1381.729	Hannan-Quinn criter.		-4.833208
Durbin-Watson stat	2.001618			

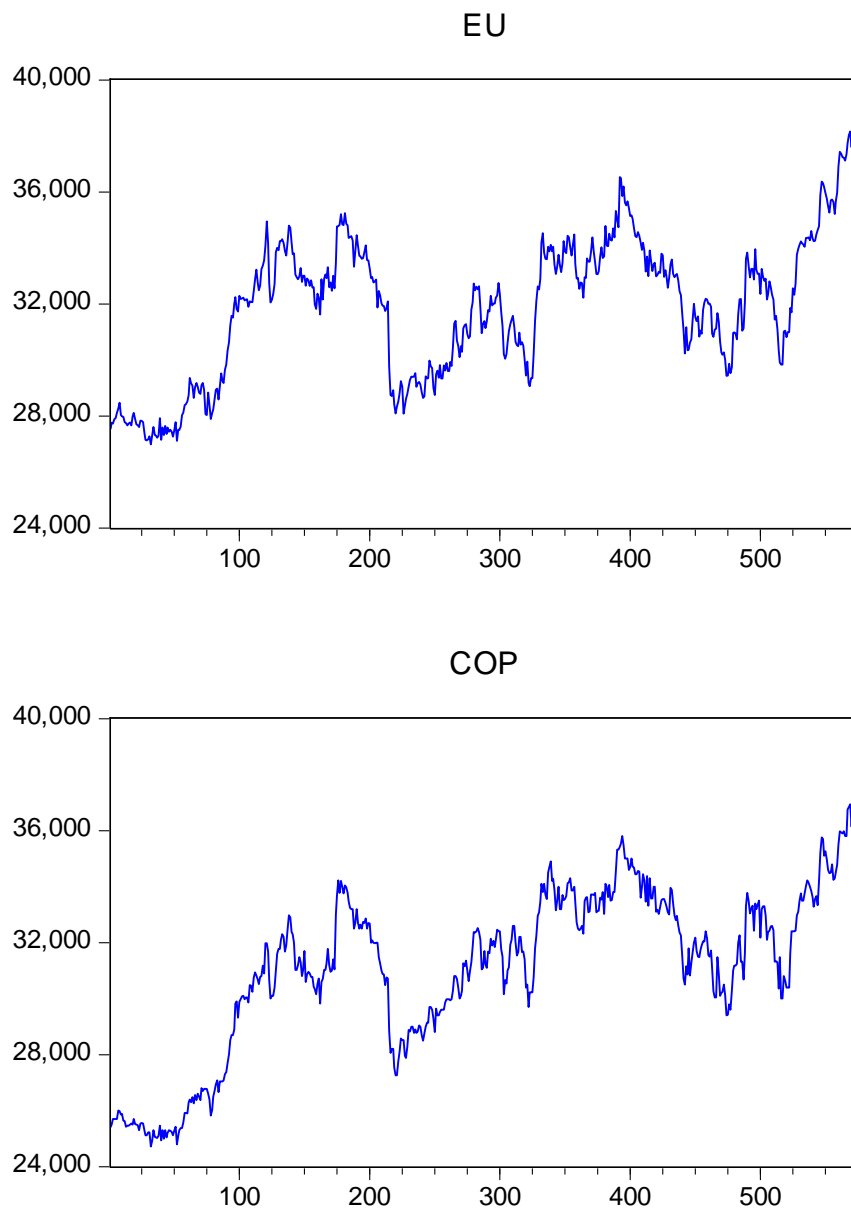
Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Al realizar el test de raíces unitarias en el error arrojado por la regresión, se observa que en su nivel posee raíz unitaria por lo que no cumple con la última regla de la cointegración y por ende no son instrumentos aptos para realizar la estrategia de arbitraje, ya que al no ser series de datos cointegradas, cada una tendrá un comportamiento diferente a su contraparte lo cual hará que la estrategia no sea efectiva.

BANCOLOMBIA

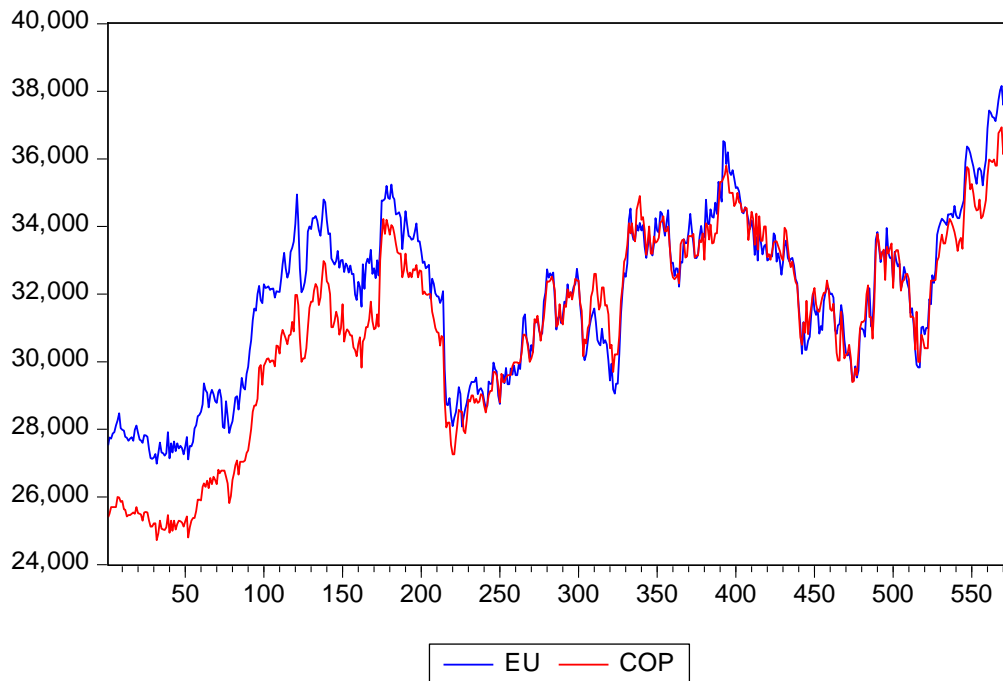
Validación cointegración de series de datos

*Ilustración 14 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP
Bancolombia*



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

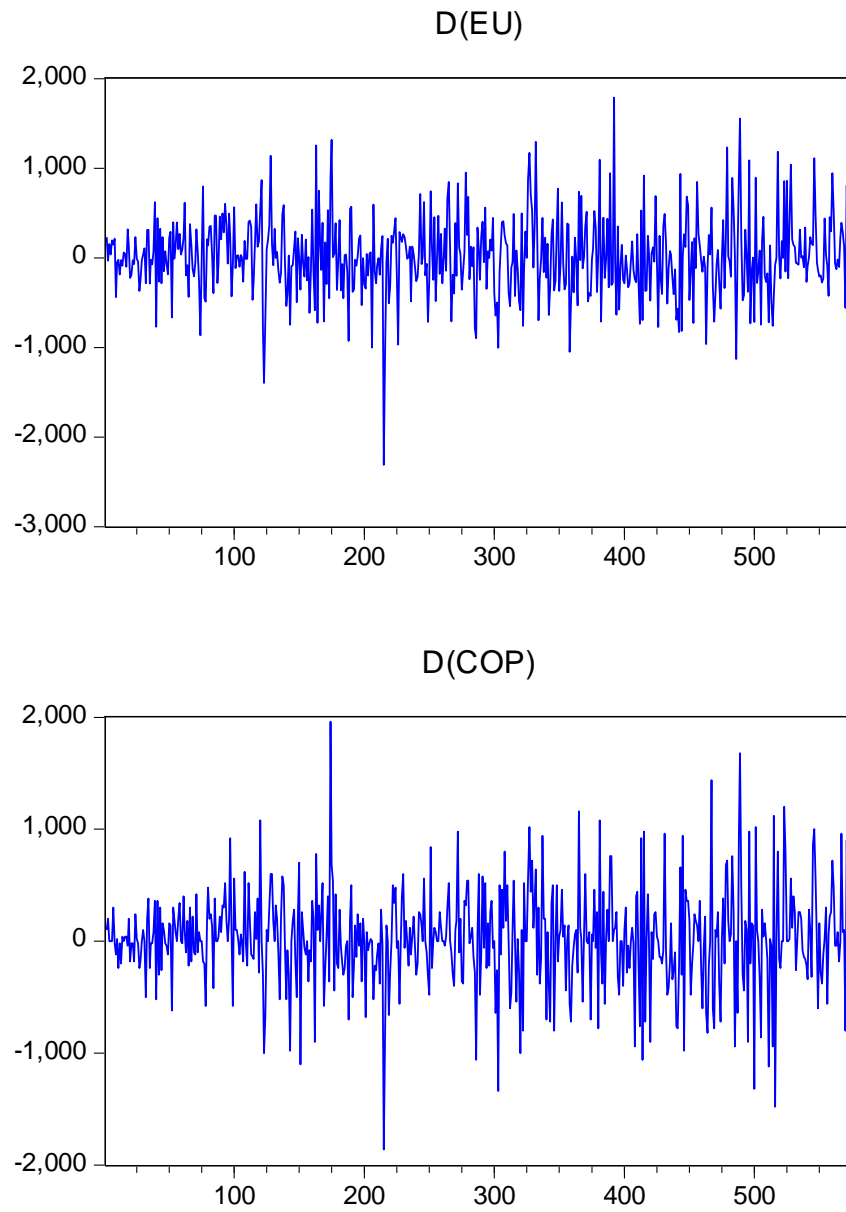
*Ilustración 15 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP
Bancolombia*



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

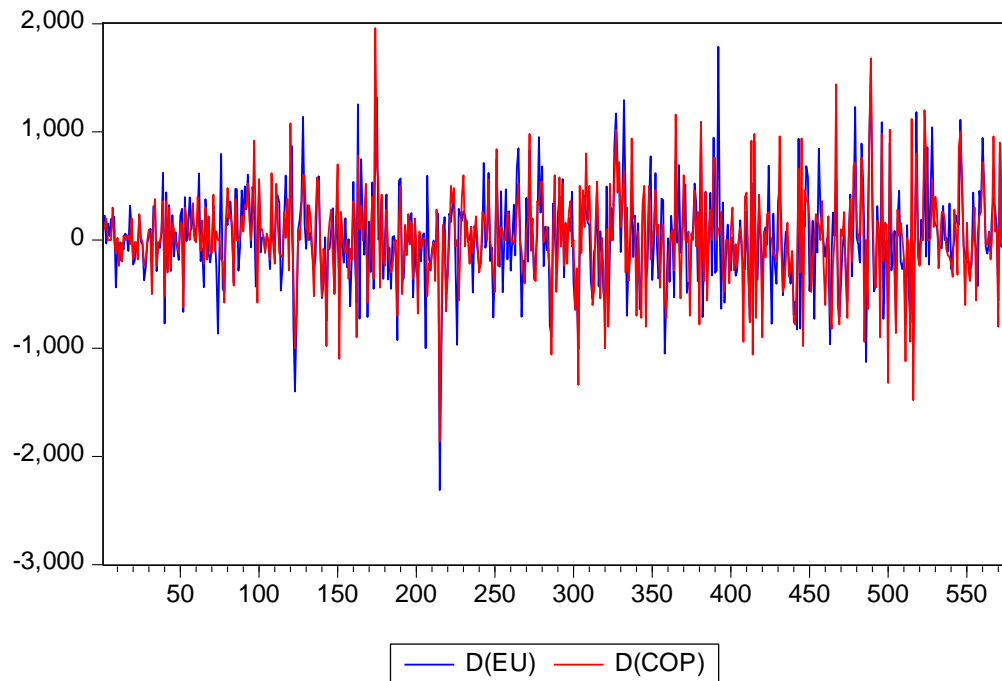
En las ilustraciones 14 y 15 se observa que el comportamiento de las series de datos tiene una tendencia de caminata aleatoria similar, a diferencia de Ecopetrol la cual presentaba un comportamiento más semejante entre la acción y el ADR, Bancolombia presenta variaciones más significativas entre los dos títulos. De igual forma se cumple la primera condición de cointegración lo que permite avanzar en el análisis.

Ilustración 16 primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Bancolombia



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

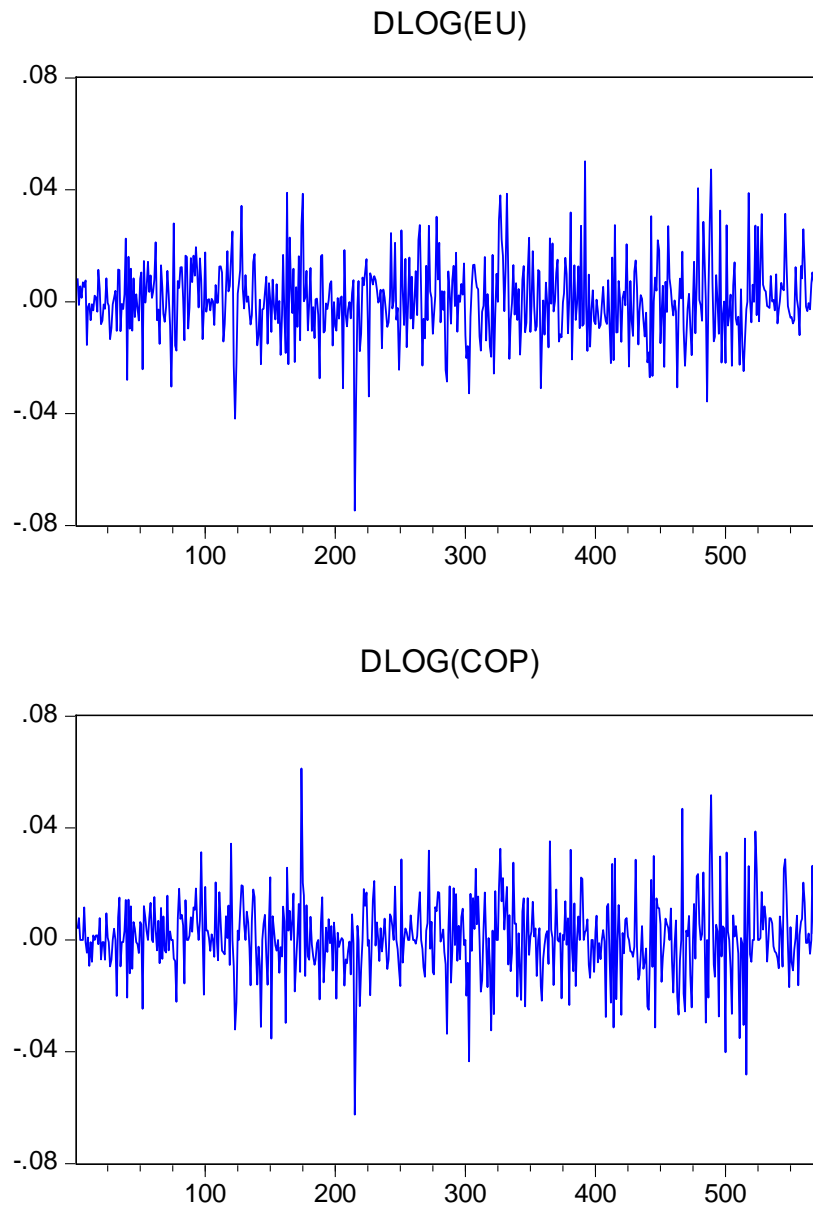
*Ilustración 17 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP
Bancolombia*



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

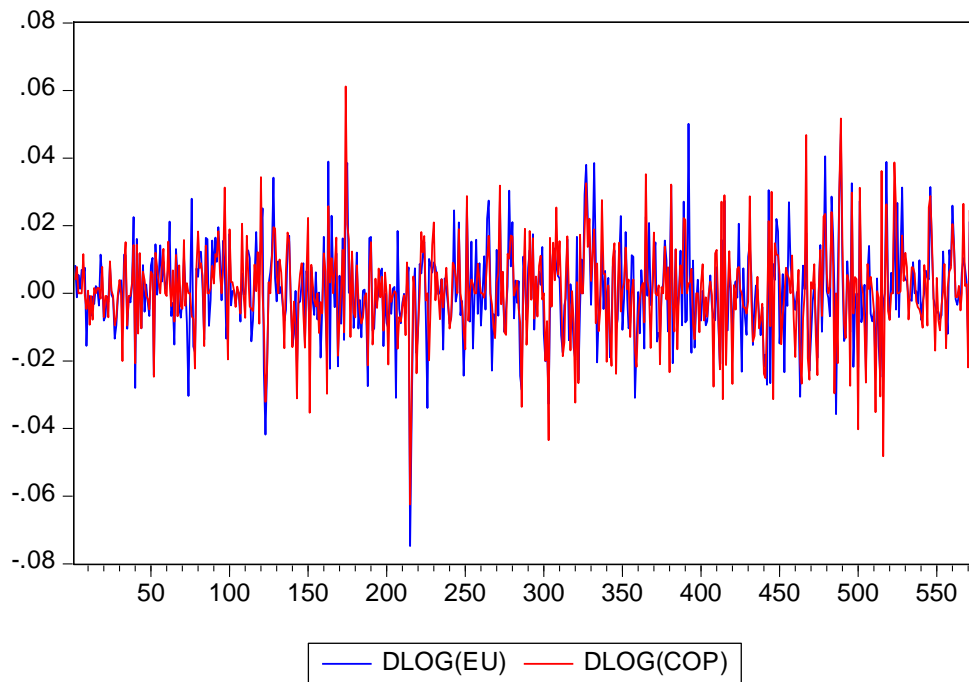
Las ilustraciones 16 y 17 demuestran que en sus primeras diferencias poseen un comportamiento estacional, es decir, en la base de su ecuación o su movimiento poseen un comportamiento similar con tendencia de media cero, siendo un claro indicio de que pueden estar cointegradas.

Ilustración 18 logaritmo de las primeras diferencias de las series de precio de EU y COP
Bancolombia



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Ilustración 19 combinación de los logaritmos en sus primeras diferencias Bancolombia



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Las ilustraciones 18 y 19 del logaritmo de sus primeras diferencias, confirman la segunda condición de la cointegración, ya que claramente poseen un comportamiento estacionario con tendencia a la media 0.

Tabla 23 test de raíz unitaria EU Bancolombia

Null Hypothesis: LOG(EU) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			1.061838	0.9250
Test critical values: 1% level			-2.569011	
5% level			-1.941378	
10% level			-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(LOG(EU)) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 13:58 Sample (adjusted): 2 573 Included observations: 572 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(EU(-1))	5.96E-05	5.62E-05	1.061838	0.2888
R-squared	-0.000046	Mean dependent var		0.000625
Adjusted R-squared	-0.000046	S.D. dependent var		0.013920
S.E. of regression	0.013921	Akaike info criterion		-5.709118
Sum squared resid	0.110653	Schwarz criterion		-5.701514
Log likelihood	1633.808	Hannan-Quinn criter.		-5.706152
Durbin-Watson stat	1.933591			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 24 test de raíz unitaria en la primera diferencia para EU Bancolombia

Null Hypothesis: D(LOG(EU)) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-23.05907	0.0000
Test critical values: 1% level			-2.569018	
5% level			-1.941379	
10% level			-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(LOG(EU),2) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 14:08 Sample (adjusted): 3 573 Included observations: 571 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LOG(EU(-1)))	-0.968077	0.041982	-23.05907	0.0000
R-squared	0.482626	Mean dependent var		3.15E-05
Adjusted R-squared	0.482626	S.D. dependent var		0.019374
S.E. of regression	0.013935	Akaike info criterion		-5.707034
Sum squared resid	0.110690	Schwarz criterion		-5.699421
Log likelihood	1630.358	Hannan-Quinn criter.		-5.704064
Durbin-Watson stat	1.989565			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 25 test de raíz unitaria para COP Bancolombia

Null Hypothesis: LOG(COP) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			1.195851	0.9409
Test critical values: 1% level			-2.569011	
5% level			-1.941378	
10% level			-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(LOG(COP)) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 14:09 Sample (adjusted): 2 573 Included observations: 572 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(COP(-1))	6.72E-05	5.62E-05	1.195851	0.2323
R-squared	-0.000066	Mean dependent var		0.000704
Adjusted R-squared	-0.000066	S.D. dependent var		0.013903
S.E. of regression	0.013904	Akaike info criterion		-5.711564
Sum squared resid	0.110383	Schwarz criterion		-5.703961
Log likelihood	1634.507	Hannan-Quinn criter.		-5.708598
Durbin-Watson stat	2.044108			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Null Hypothesis: D(LOG(COP)) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-24.34993	0.0000
Test critical values: 1% level			-2.569018	
5% level			-1.941379	
10% level			-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(LOG(COP),2) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 14:10 Sample (adjusted): 3 573 Included observations: 571 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LOG(COP(-1)))	-1.022863	0.042007	-24.34993	0.0000
R-squared	0.509852	Mean dependent var		3.98E-05
Adjusted R-squared	0.509852	S.D. dependent var		0.019895
S.E. of regression	0.013929	Akaike info criterion		-5.707966
Sum squared resid	0.110587	Schwarz criterion		-5.700353
Log likelihood	1630.624	Hannan-Quinn criter.		-5.704996
Durbin-Watson stat	1.994094			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Una vez aplicado el test de raíces unitarias bajo el argumento de Dickey-Fuller, tanto el ADR como la Acción son integradas de orden 1, debido a que en sus niveles su probabilidad de aceptar la hipótesis nula es superior al 90% la cual es muy alta. Así mismo en sus primeras diferencias se rechaza la Hipotesis nula en razón a que en las primeras diferencias en ambos casos la probabilidad es de 0%.

Tabla 26 regresión de componentes principales de EU y COP Bancolombia

Dependent Variable: LOG(EU)				
Method: Least Squares				
Date: 06/09/20 Time: 14:11				
Sample (adjusted): 1 573				
Included observations: 573 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(COP)	1.002552	0.000146	6883.492	0.0000
R-squared	0.790554	Mean dependent var	10.36605	
Adjusted R-squared	0.790554	S.D. dependent var	0.078769	
S.E. of regression	0.036049	Akaike info criterion	-3.806138	
Sum squared resid	0.743327	Schwarz criterion	-3.798545	
Log likelihood	1091.459	Hannan-Quinn criter.	-3.803176	
Durbin-Watson stat	0.094816			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

La regresión lineal, muestra un coeficiente (beta de cointegración) superior a 1, lo que significa que de cumplirse las condiciones de la cointegración las series de datos están bastante correlacionadas evidenciando que el comportamiento de una afecta el de la otra.

Tabla 27 test de raíz unitaria del error Bancolombia

Null Hypothesis: ERROR has a unit root Exogenous: None Lag Length: 3 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.093100	0.0350
Test critical values: 1% level			-2.569032	
5% level			-1.941381	
10% level			-1.616325	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(ERROR) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 14:13 Sample (adjusted): 5 573 Included observations: 569 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ERROR(-1)	-0.024881	0.011887	-2.093100	0.0368
D(ERROR(-1))	-0.449993	0.042235	-10.65452	0.0000
D(ERROR(-2))	-0.304338	0.044231	-6.880636	0.0000
D(ERROR(-3))	-0.134042	0.041581	-3.223620	0.0013
R-squared	0.197586	Mean dependent var	-8.28E-05	
Adjusted R-squared	0.193325	S.D. dependent var	0.011129	
S.E. of regression	0.009995	Akaike info criterion	-6.366417	
Sum squared resid	0.056446	Schwarz criterion	-6.335880	
Log likelihood	1815.246	Hannan-Quinn criter.	-6.354502	
Durbin-Watson stat	2.023718			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 28 test de raíz unitaria en su primera diferencia error Bancolombia

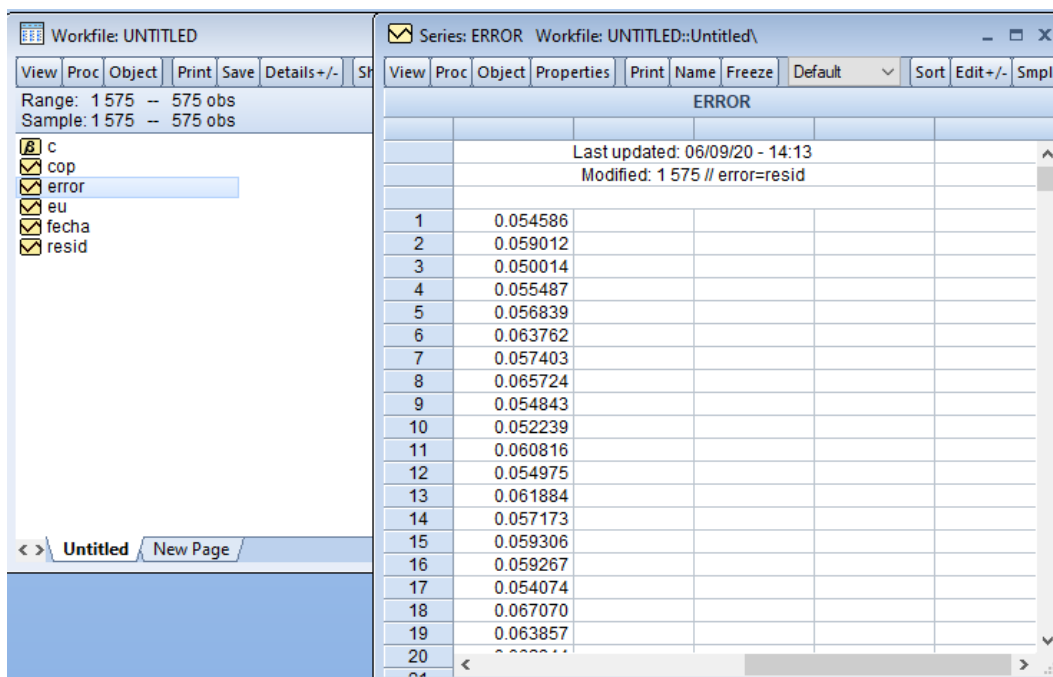
Null Hypothesis: D(ERROR) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-19.96531	0.0000
Test critical values: 1% level			-2.569032	
5% level			-1.941381	
10% level			-1.616325	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(ERROR,2) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 14:13 Sample (adjusted): 5 573 Included observations: 569 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(ERROR(-1))	-1.922365	0.096285	-19.96531	0.0000
D(ERROR(-1),2)	0.455853	0.071855	6.344111	0.0000
D(ERROR(-2),2)	0.140369	0.041595	3.374686	0.0008
R-squared	0.699056	Mean dependent var		-1.03E-05
Adjusted R-squared	0.697992	S.D. dependent var		0.018242
S.E. of regression	0.010025	Akaike info criterion		-6.362208
Sum squared resid	0.056884	Schwarz criterion		-6.339305
Log likelihood	1813.048	Hannan-Quinn criter.		-6.353271
Durbin-Watson stat	2.025939			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

A pesar que en el test de raíz unitaria en su nivel para el error es de 3.5% se rechaza la hipótesis nula, ya que para aceptarla la probabilidad debe superar el 5%. En fin, tanto en su nivel como en su primera diferencia la serie de datos del error son reintegradas de orden 0 con lo que se cumple la última regla de la cointegración, por ende se procede con las siguientes etapas de la estrategia de arbitraje.

Cálculo de límites

Tabla 29 Serie de datos Error



The screenshot shows the EViews software interface. On the left, the 'Workfile: UNTITLED' window displays the range and sample as '1 575 -- 575 obs'. A list of objects is shown with checkboxes: 'c', 'cop', 'error', 'eu', 'fecha', and 'resid'. The 'error' object is selected. On the right, the 'Series: ERROR' window shows a table of residuals. The table has columns for observation number and the residual value. The residuals range from 0.054586 to 0.063857. The window also shows 'Last updated: 06/09/20 - 14:13' and 'Modified: 1 575 // error=resid'.

Observation	Residual
1	0.054586
2	0.059012
3	0.050014
4	0.055487
5	0.056839
6	0.063762
7	0.057403
8	0.065724
9	0.054843
10	0.052239
11	0.060816
12	0.054975
13	0.061884
14	0.057173
15	0.059306
16	0.059267
17	0.054074
18	0.067070
19	0.063857
20	0.059267

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 30 Desviación Estándar serie de datos Error Bancolombia

Fecha	ERROR
2/01/2017	0.0546
3/01/2017	0.0590
4/01/2017	0.0500
5/01/2017	0.0555
6/01/2017	0.0568
9/01/2017	0.0638
10/01/2017	0.0574
11/01/2017	0.0657
12/01/2017	0.0548
13/01/2017	0.0522
.	.
.	.
.	.
28/02/2019	0.0072
1/03/2019	0.0095
4/03/2019	0.0157
5/03/2019	-0.0004
6/03/2019	0.0049
7/03/2019	0.0056
8/03/2019	0.0128
11/03/2019	0.0093
12/03/2019	0.0088
13/03/2019	0.0084
Desv Est	0.0360

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Con la serie de datos de error se procede a calcular la desviación estandar de la misma, con el fin de allar los puntos extremos sobre los cuales la línea de tendencia debe pasar para poder efectuarse la estrategia de abitrage.

Tabla 31 límites para aplicación de arbitraje Bancolombia

PISO	-0.0360
TECHO	0.0360

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Partiendo de la media 0, se toma una desviacion estandar hacia arriba y una hacia abajo para establecer los puntos extremos que la variacion del error de la serie de precios de

muestra cruce y se ejerza el arbitraje. Se decide tomar como referencia 1 desviación estándar con el fin de que la línea de tendencia esté lo suficientemente alejada de la media cero y poder encontrar los puntos propicios de aplicación de la estrategia que puedan generar resultados más efectivos.

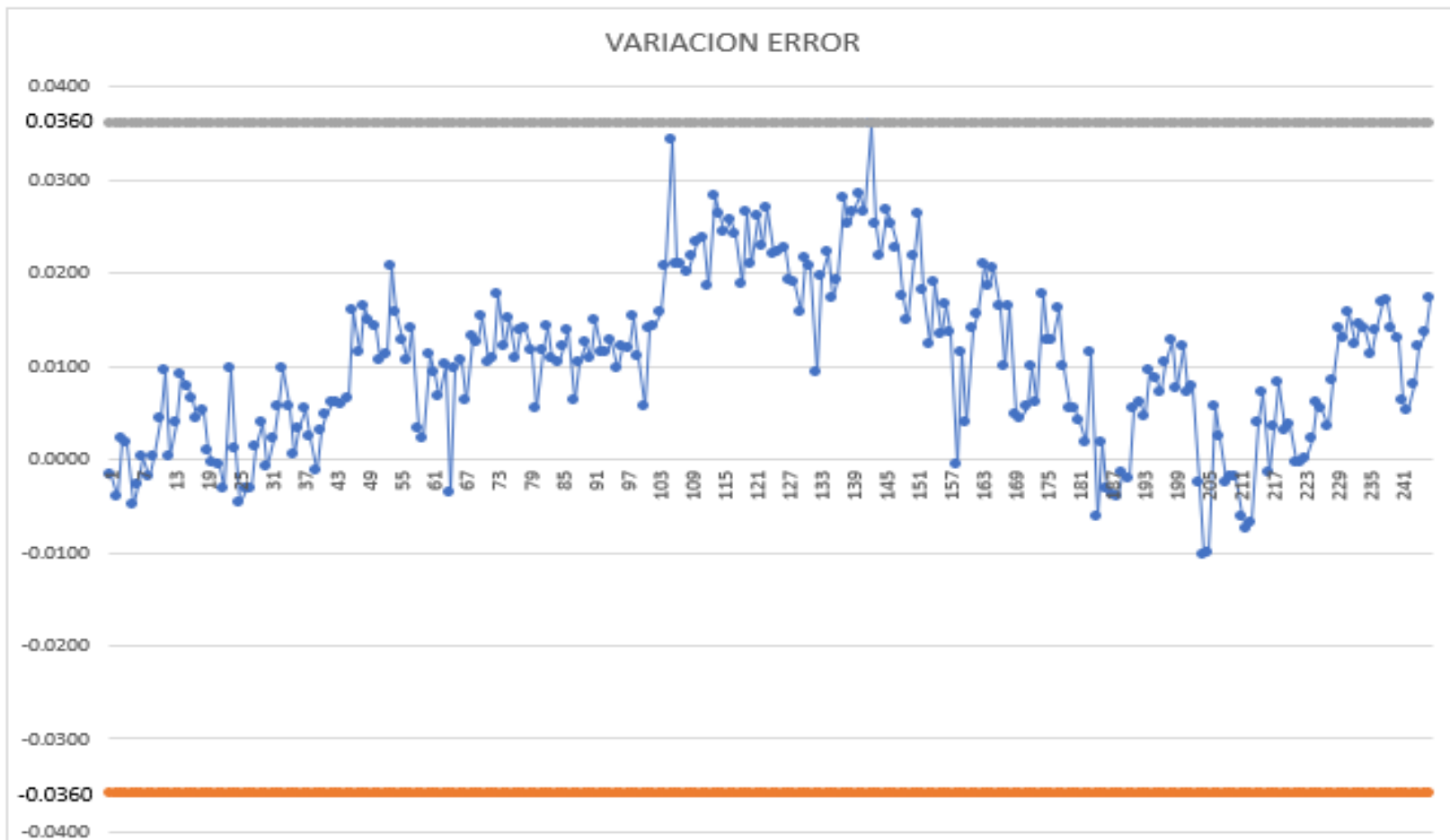
Tabla 32 Cálculo error de variación muestra Bancolombia

FECHA	COP	EU	ERROR
14/03/2019	\$39,000	\$39,900	-0.0018
15/03/2019	\$39,160	\$39,851	-0.0041
18/03/2019	\$39,020	\$40,291	0.0022
19/03/2019	\$39,600	\$40,853	0.0018
20/03/2019	\$40,400	\$41,049	-0.0048
21/03/2019	\$41,300	\$42,158	-0.0029
22/03/2019	\$39,600	\$40,711	0.0003
25/03/2019	\$39,600	\$40,511	-0.0019
26/03/2019	\$39,900	\$41,019	0.0003
27/03/2019	\$38,820	\$40,273	0.0042
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
6/02/2020	\$44,200	\$46,886	0.0138
7/02/2020	\$44,280	\$47,308	0.0169
10/02/2020	\$44,480	\$47,545	0.0171
11/02/2020	\$43,960	\$46,646	0.0139
12/02/2020	\$43,980	\$46,567	0.0130
13/02/2020	\$44,480	\$46,379	0.0063
14/02/2020	\$44,700	\$46,479	0.0051
17/02/2020	\$44,460	\$46,542	0.0080
18/02/2020	\$43,900	\$46,393	0.0121
19/02/2020	\$44,180	\$46,838	0.0135
20/02/2020	\$44,180	\$47,242	0.0172

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Identificación de los puntos de corte de límites

Ilustración 20 variación error muestra Bancolombia



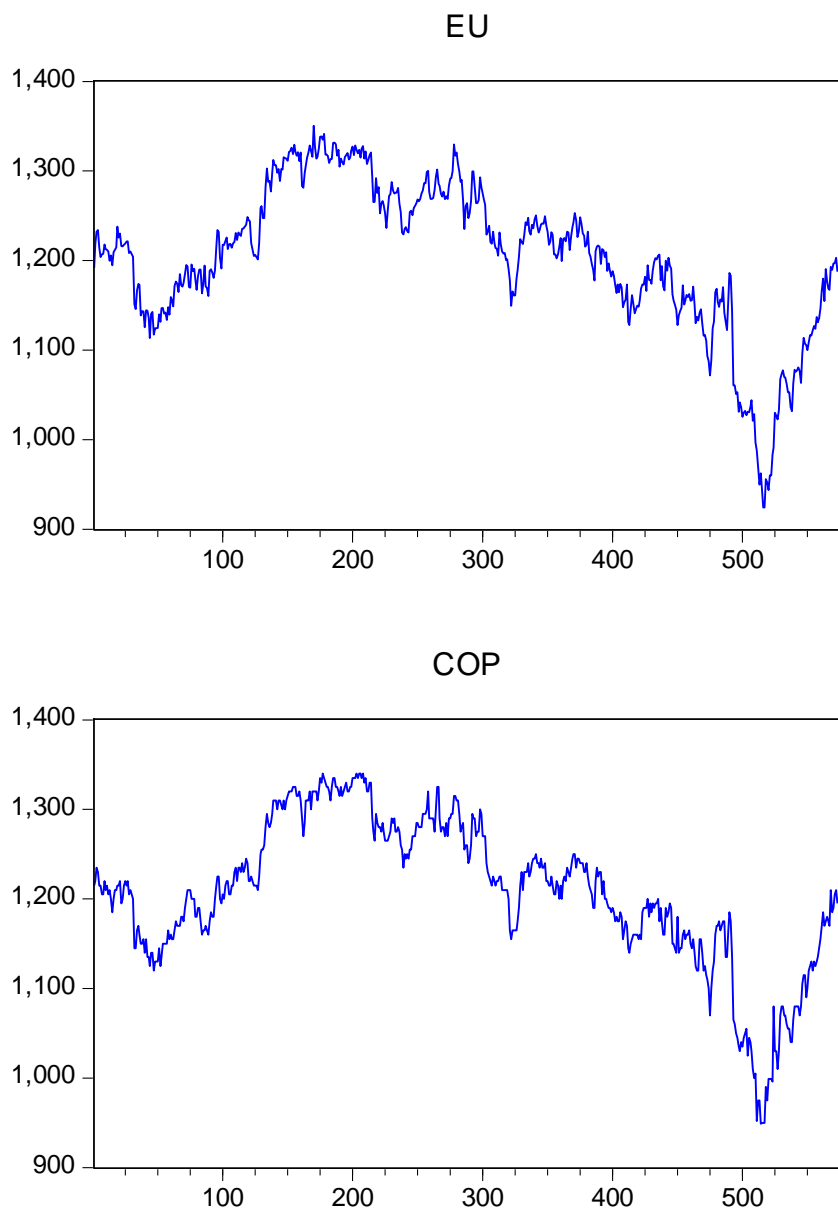
Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Como se evidencia en la ilustración 20 la variación de la línea de tendencia no sobrepasa los puntos extremos, lo cual no permite que se aplique la estrategia de arbitraje, lo anterior evidencia que no se presentan oportunidades optimas para que la aplicación de la misma de tal manera que genere resultados positivos.

AVAL

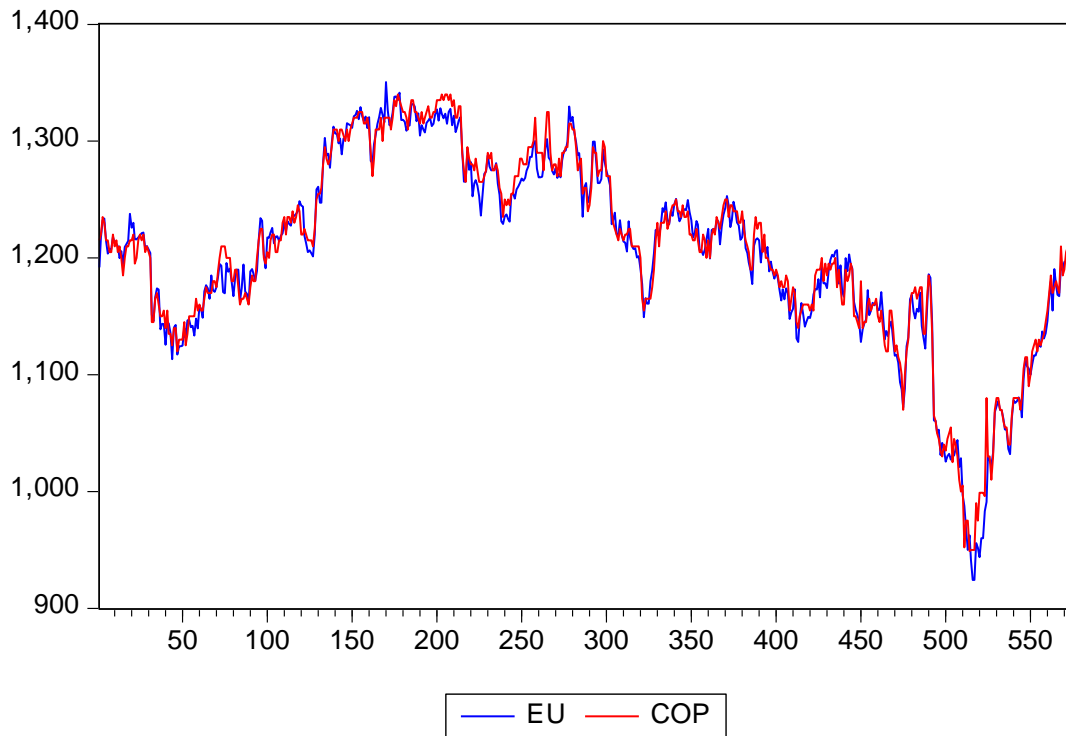
Validación cointegración de series de datos

Ilustración 21 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP Aval



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

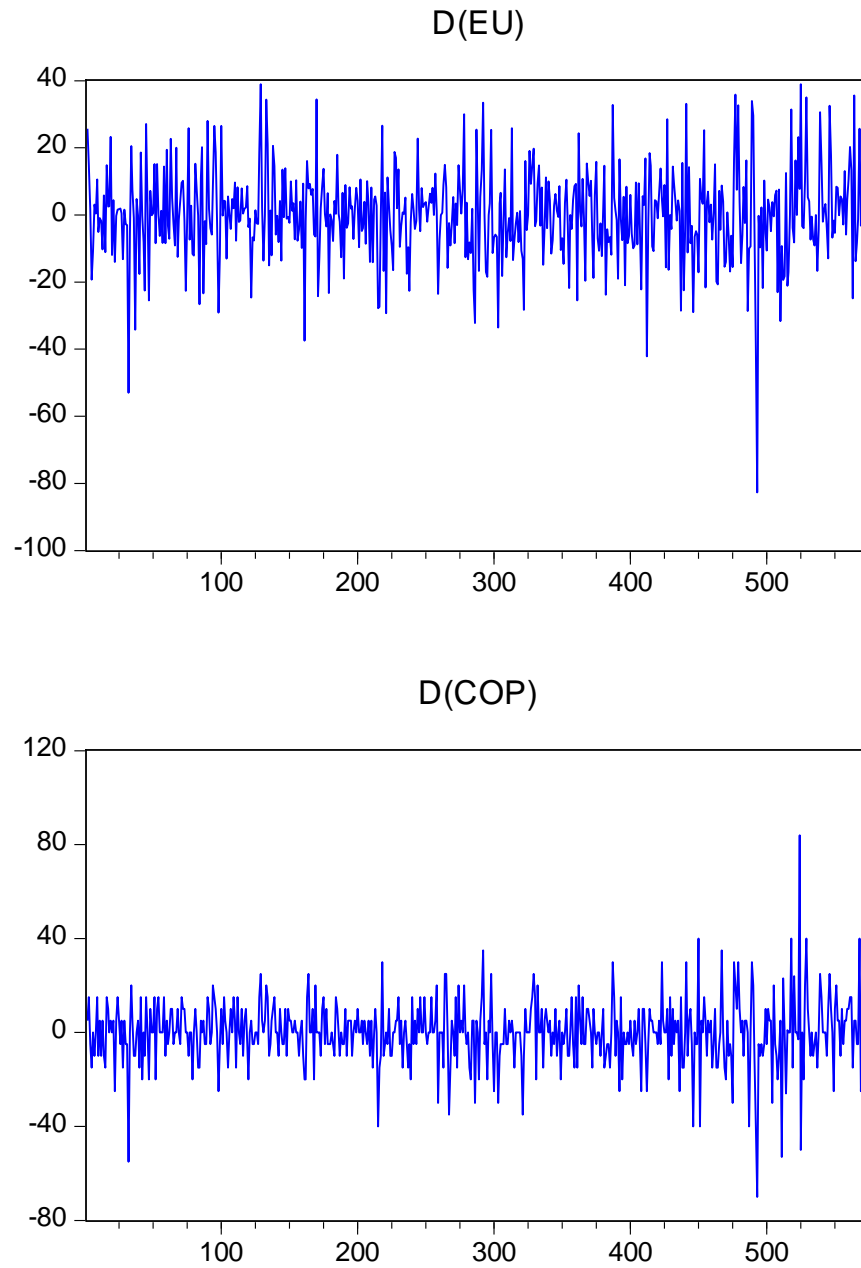
Ilustración 22 combinación del comportamiento de los precios de EU y COP Aval



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

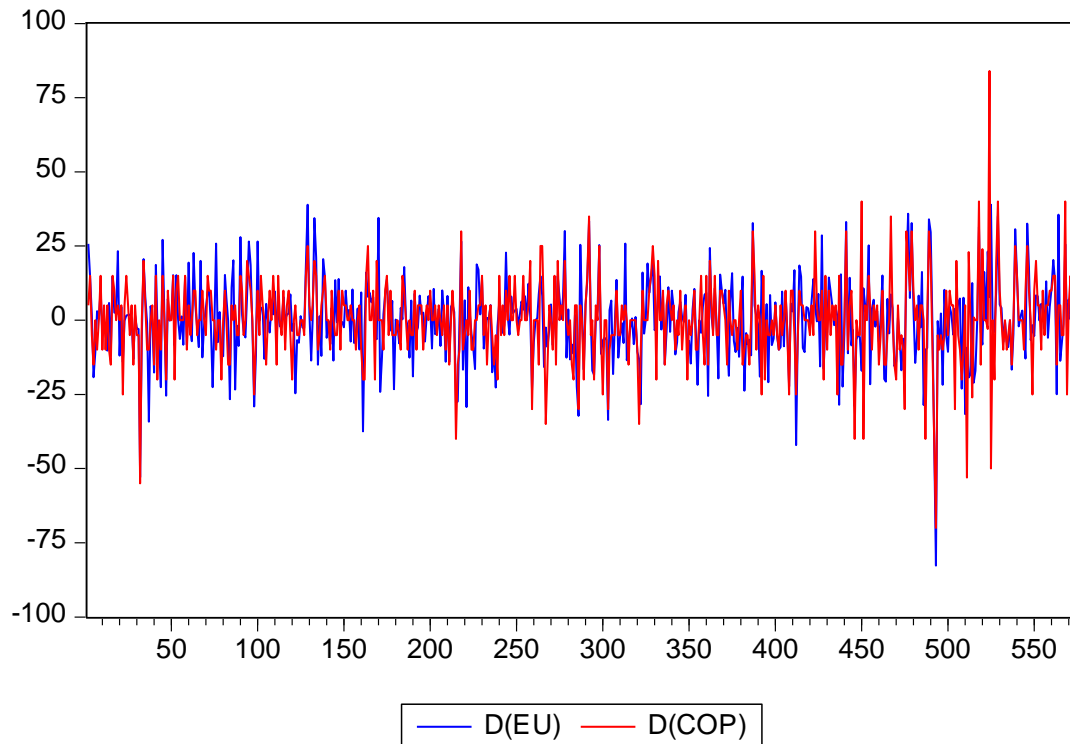
Al igual que con los ADRs de Ecopetrol y Bancolombia, los títulos de aval poseen la características de comportamiento no estacional y la similitud bastante evidente de las dos series de tiempo, por lo que cumple con el primer requisito de la cointegración.

Ilustración 23 primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Aval



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

*Ilustración 24 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP
Aval*

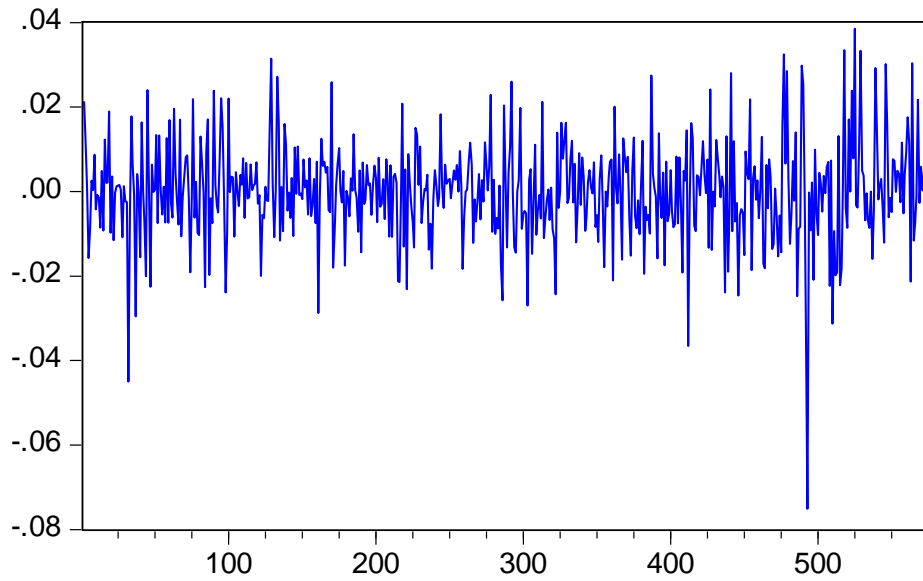


Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

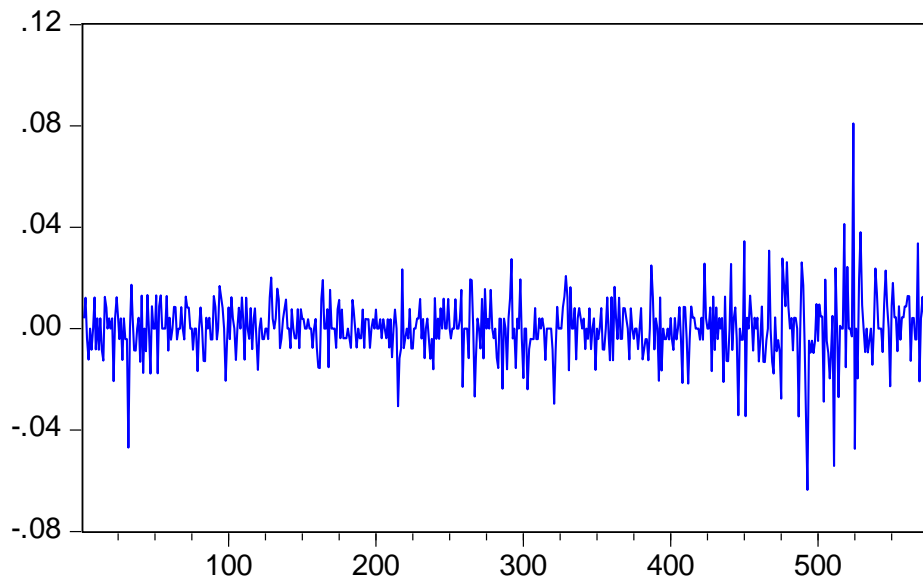
En las ilustraciones 23 y 24 la base de la ecuación muestra un comportamiento mucho más estacional a comparación de las otras acciones y ADRs, su tendencia de media cero es más fuerte y por ende su estacionalidad.

Ilustración 25 logaritmo de las primeras diferencias de las series de precio de EU y COP
Aval

DLOG(EU)

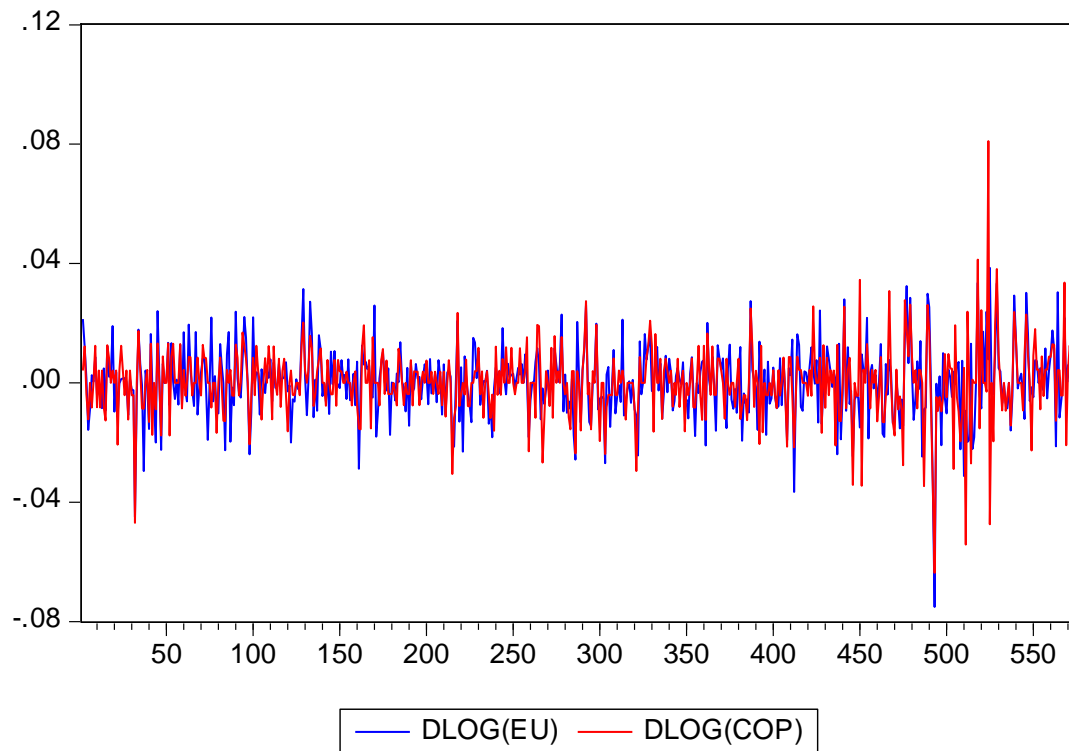


DLOG(COP)



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Ilustración 26 combinación de los logaritmos en sus primeras diferencias Aval



Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

Mediante la observación de las ilustraciones 25 y 26, se puede concluir que las series de datos cumplen con la segunda condición de la cointegración, debido a que tanto en su nivel como en su logaritmo su tendencia a media cero y estacionalidad son bastante fuertes.

Tabla 33 test de raíz unitaria EU

Null Hypothesis: LOG(EU) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-0.032334	0.6716
Test critical values: 1% level			-2.569011	
5% level			-1.941378	
10% level			-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(LOG(EU)) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 16:09 Sample (adjusted): 2 573 Included observations: 572 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(EU(-1))	-2.25E-06	6.97E-05	-0.032334	0.9742
R-squared	0.000002	Mean dependent var		-6.15E-06
Adjusted R-squared	0.000002	S.D. dependent var		0.011824
S.E. of regression	0.011824	Akaike info criterion		-6.035696
Sum squared resid	0.079824	Schwarz criterion		-6.028093
Log likelihood	1727.209	Hannan-Quinn criter.		-6.032730
Durbin-Watson stat	2.012387			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 34 test de raíz unitaria en la primera diferencia para EU Aval

Null Hypothesis: D(LOG(EU)) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-24.16128	0.0000
Test critical values: 1% level			-2.569018	
5% level			-1.941379	
10% level			-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(LOG(EU),2) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 16:10 Sample (adjusted): 3 573 Included observations: 571 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LOG(EU(-1)))	-1.010106	0.041807	-24.16128	0.0000
R-squared	0.505960	Mean dependent var		-5.99E-05
Adjusted R-squared	0.505960	S.D. dependent var		0.016787
S.E. of regression	0.011800	Akaike info criterion		-6.039768
Sum squared resid	0.079360	Schwarz criterion		-6.032154
Log likelihood	1725.354	Hannan-Quinn criter.		-6.036797
Durbin-Watson stat	2.004224			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Al realizar el test de raíz unitaria en su primer nivel, se evidencia que el resultado de la probabilidad es bajo a comparación de Ecopetrol y Bancolombia, situación que puede llegar a afectar la variación de la muestra debido a que la misma probabilidad no es muy certera, pero a pesar del 67.16% obtenido se acepta la hipótesis nula ya que supera el 5% de margen de aceptación. En el caso contrario de su primera diferencia el resultado es de la probabilidad es 0%, indicando que el ADR de Aval es integrada de orden 1.

Tabla 35 test de raíz unitaria para COP Aval

Null Hypothesis: LOG(COP) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-0.078306	0.6563
Test critical values: 1% level			-2.569011	
5% level			-1.941378	
10% level			-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(LOG(COP)) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 16:11 Sample (adjusted): 2 573 Included observations: 572 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(COP(-1))	-5.50E-06	7.02E-05	-0.078306	0.9376
R-squared	0.000005	Mean dependent var	-2.90E-05	
Adjusted R-squared	0.000005	S.D. dependent var	0.011915	
S.E. of regression	0.011915	Akaike info criterion	-6.020223	
Sum squared resid	0.081069	Schwarz criterion	-6.012620	
Log likelihood	1722.784	Hannan-Quinn criter.	-6.017257	
Durbin-Watson stat	2.148854			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 36 test de raíz unitaria en la primera diferencia para COP Aval

Null Hypothesis: D(LOG(COP)) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-25.73191	0.0000
Test critical values: 1% level			-2.569018	
5% level			-1.941379	
10% level			-1.616327	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(LOG(COP),2) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 16:11 Sample (adjusted): 3 573 Included observations: 571 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LOG(COP(-1)))	-1.075630	0.041801	-25.73191	0.0000
R-squared	0.537386	Mean dependent var		-2.90E-05
Adjusted R-squared	0.537386	S.D. dependent var		0.017482
S.E. of regression	0.011891	Akaike info criterion		-6.024391
Sum squared resid	0.080590	Schwarz criterion		-6.016778
Log likelihood	1720.964	Hannan-Quinn criter.		-6.021421
Durbin-Watson stat	2.007084			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Al igual que con su ADR, la acción de AVAL arroja una probabilidad baja en su nivel pero se acepta la hipótesis nula porque supera el margen establecido. Por su parte en su primera diferencia se rechaza la hipótesis y cumpliéndose la tercera condición de que las dos series de datos sean intragadas de orden cero.

Tabla 37 regresión de componentes principales de EU y COP Aval

Dependent Variable: LOG(EU)				
Method: Least Squares				
Date: 06/09/20 Time: 16:12				
Sample (adjusted): 1 573				
Included observations: 573 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(COP)	0.999638	6.06E-05	16484.21	0.0000
R-squared	0.979121	Mean dependent var	7.090164	
Adjusted R-squared	0.979121	S.D. dependent var	0.071258	
S.E. of regression	0.010296	Akaike info criterion	-6.312294	
Sum squared resid	0.060642	Schwarz criterion	-6.304701	
Log likelihood	1809.472	Hannan-Quinn criter.	-6.309332	
Durbin-Watson stat	1.246286			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

En la regresión lineal de las series de datos de el ADR y la acción de Aval, se genera un coeficiente de 0.999638 que de cumplirse con la última condición de la cointegración sería el beta de cointegración para allá la variación de la muestra.

Tabla 38 test de raíz unitaria del error Aval

Null Hypothesis: ERROR has a unit root Exogenous: None Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-8.362816	0.0000
Test critical values: 1% level			-2.569025	
5% level			-1.941380	
10% level			-1.616326	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(ERROR) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 16:13 Sample (adjusted): 4 573 Included observations: 570 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ERROR(-1)	-0.410235	0.049055	-8.362816	0.0000
D(ERROR(-1))	-0.338672	0.050221	-6.743633	0.0000
D(ERROR(-2))	-0.118870	0.041581	-2.858729	0.0044
R-squared	0.364998	Mean dependent var	-7.10E-06	
Adjusted R-squared	0.362758	S.D. dependent var	0.011502	
S.E. of regression	0.009182	Akaike info criterion	-6.537911	
Sum squared resid	0.047802	Schwarz criterion	-6.515039	
Log likelihood	1866.305	Hannan-Quinn criter.	-6.528987	
Durbin-Watson stat	2.009257			

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 39 test de raíz unitaria en su primera diferencia del error Aval

Null Hypothesis: D(ERROR) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 3 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-17.69431	0.0000
Test critical values: 1% level			-2.569040	
5% level			-1.941382	
10% level			-1.616325	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(ERROR,2) Method: Least Squares Date: 06/09/20 Time: 16:14 Sample (adjusted): 6 573 Included observations: 568 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(ERROR(-1))	-2.418408	0.136677	-17.69431	0.0000
D(ERROR(-1),2)	0.750310	0.113834	6.591249	0.0000
D(ERROR(-2),2)	0.357956	0.080237	4.461232	0.0000
D(ERROR(-3),2)	0.129547	0.041675	3.108528	0.0020
R-squared	0.769225	Mean dependent var		5.42E-06
Adjusted R-squared	0.767997	S.D. dependent var		0.019860
S.E. of regression	0.009566	Akaike info criterion		-6.454239
Sum squared resid	0.051608	Schwarz criterion		-6.423660
Log likelihood	1837.004	Hannan-Quinn criter.		-6.442306
Durbin-Watson stat	2.006823			

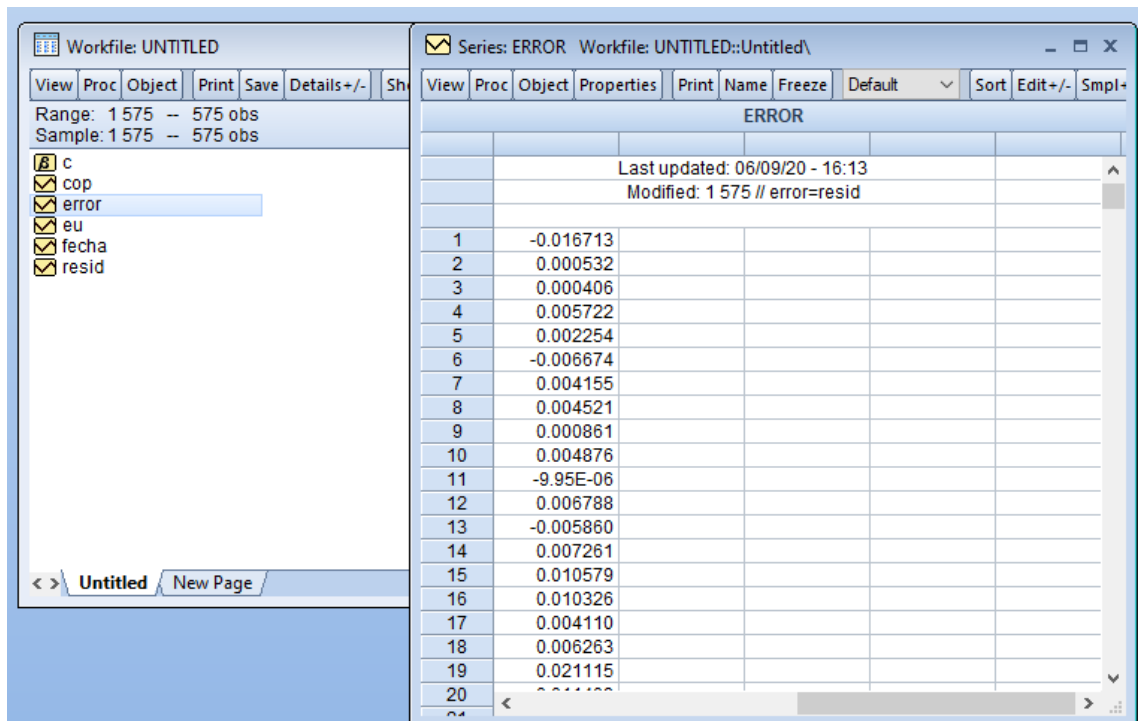
Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Una vez aplicado el test de raíces unitarias a la serie de datos de error tanto es su nivel (tabla 38) como a su primera diferencia (tabla 39) se observa que en los dos casos su resultado fue de 0% lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula por lo que se considera que son integradas de orden 0. Con lo anterior se evidencia el cumplimiento de la cuarta condición para la cointegración, con lo que se concluye que las series de datos de precios del ADR y la

accion de Aval estan cointegradas, por lo cual se puede seguir con la aplicación de la estrategia de arbitraje.

Cálculo de límites

Tabla 40 Serie de datos Error Aval



The screenshot shows the EViews software interface. On the left, the 'Workfile: UNTITLED' window displays a list of objects: 'c', 'cop', 'error', 'eu', 'fecha', and 'resid'. The 'error' object is selected. On the right, the 'Series: ERROR' window shows a table of data for the 'error' series. The table has two columns: 'Obs' (Observation) and 'Value'. The data points are as follows:

Obs	Value
1	-0.016713
2	0.000532
3	0.000406
4	0.005722
5	0.002254
6	-0.006674
7	0.004155
8	0.004521
9	0.000861
10	0.004876
11	-9.95E-06
12	0.006788
13	-0.005860
14	0.007261
15	0.010579
16	0.010326
17	0.004110
18	0.006263
19	0.021115
20	0.011100

Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Tabla 41 Desviación Estándar serie de datos Error Aval

Fecha	ERROR
2/01/2017	-0.0167
3/01/2017	0.0005
4/01/2017	0.0004
5/01/2017	0.0057
6/01/2017	0.0023
9/01/2017	-0.0067
10/01/2017	0.0042
11/01/2017	0.0045
12/01/2017	0.0009
13/01/2017	0.0049
.	.
.	.
.	.
28/02/2019	0.0156
1/03/2019	-0.0002
4/03/2019	-0.0030
5/03/2019	0.0001
6/03/2019	-0.0117
7/03/2019	0.0065
8/03/2019	0.0081
11/03/2019	-0.0041
12/03/2019	-0.0033
13/03/2019	-0.0036
Desv Est	0.0103

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

La desviación estándar obtenida de la serie de datos de error arrojado por la regresión lineal entre la acción y el ADR, definirá los límites inferior y superior para que la línea de tendencia cruce y se ejerza el arbitraje.

Tabla 42 límites para aplicación de arbitraje Aval

PISO	-0.0103
TECHO	0.0103

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Partiendo de la media 0, se toma una desviación estandar hacia arriba y una hacia abajo para establecer los puntos extremos que la variación del error de la serie de precios de muestra cruce y se ejerza el arbitraje. Se decide tomar como referencia 1 desviación estandar con el fin de que la línea de tendencia este lo suficientemente alejada de la media cero y poder encontrar los puntos propicios de aplicación de la estrategia que puedan generar resultados mas efectivos.

Variación del error en la muestra de aplicación de la estrategia

Tabla 43 Calculo error de variación muestra Aval

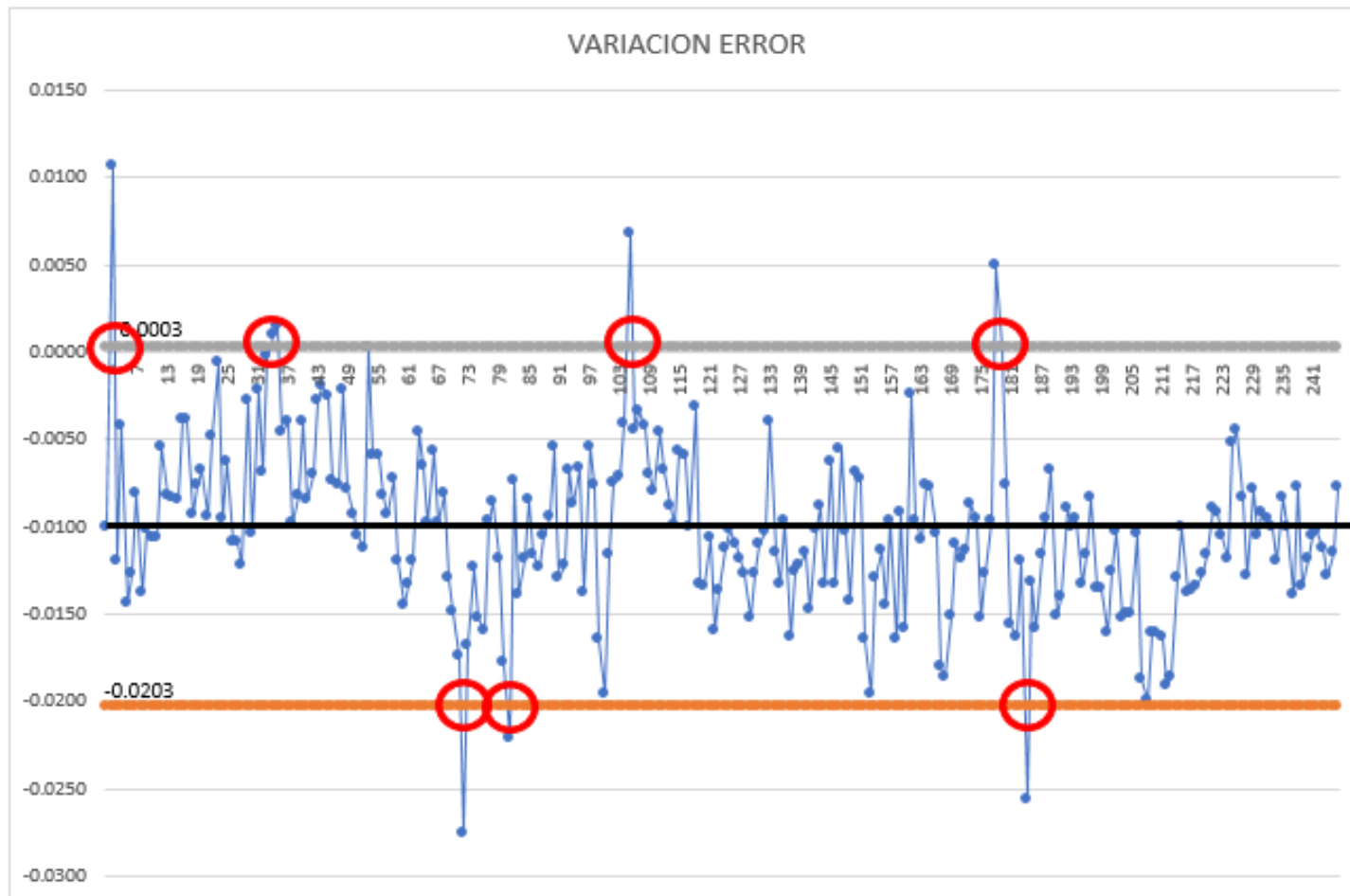
FECHA	COP	EU	ERROR
14/03/2019	\$ 1,205	\$ 1,199	-0.0101
15/03/2019	\$ 1,145	\$ 1,195	0.0107
18/03/2019	\$ 1,220	\$ 1,208	-0.0120
19/03/2019	\$ 1,210	\$ 1,220	-0.0042
20/03/2019	\$ 1,235	\$ 1,217	-0.0144
21/03/2019	\$ 1,220	\$ 1,206	-0.0127
22/03/2019	\$ 1,215	\$ 1,214	-0.0081
25/03/2019	\$ 1,215	\$ 1,198	-0.0138
26/03/2019	\$ 1,220	\$ 1,213	-0.0102
27/03/2019	\$ 1,225	\$ 1,217	-0.0106
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
6/02/2020	\$ 1,470	\$ 1,463	-0.0100
7/02/2020	\$ 1,480	\$ 1,460	-0.0139
10/02/2020	\$ 1,465	\$ 1,466	-0.0077
11/02/2020	\$ 1,480	\$ 1,462	-0.0134
12/02/2020	\$ 1,475	\$ 1,462	-0.0118
13/02/2020	\$ 1,475	\$ 1,467	-0.0105
14/02/2020	\$ 1,480	\$ 1,472	-0.0103
17/02/2020	\$ 1,485	\$ 1,474	-0.0112
18/02/2020	\$ 1,505	\$ 1,489	-0.0128
19/02/2020	\$ 1,505	\$ 1,493	-0.0115
20/02/2020	\$ 1,505	\$ 1,506	-0.0078

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Se hace el calculo de la variación del error en la muestra utilizando el beta de cointegración obtenido de la regresión lineal entre el ADR y la acción de Aval, la cual se grafica para identificar los puntos de corte y analizar la aplicabilidad de la estrategia.

Identificación de los puntos de corte de límites

Ilustración 27 variación error muestra Aval



Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

En el caso de AVAL se observa que la media es de -0.0100, por lo que a partir de ella se toman una desviación estándar hacia arriba y hacia abajo teniendo como nuevos límites los siguientes datos:

PISO	-0.0203
TECHO	0.0003

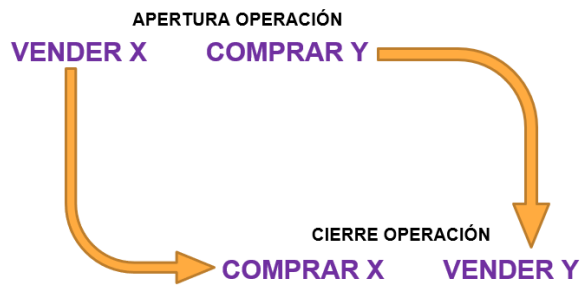
Con el resultado del error en la serie de precio de validación se usa la gráfica de línea con marcadores y se le adicionan los puntos extremos nombrados anteriormente piso y techo. En la gráfica se evidencia que existen 5 puntos de cruce en el techo y 3 puntos de cruce en el piso, los cuales son las oportunidades para aplicar la estrategia de arbitraje. Adicionalmente como análisis, se observa que la línea de tendencia

Para efectos del desarrollo de la estrategia se comenzará con un saldo de efectivo de \$100.000.000, negociaran 10.000 acciones y el costo de transacción será del 0.5% sobre el valor de la operación (porcentaje escogido entre la escala del 0.3% y 3% establecidos por las comisionistas de bolsa (Monterrosa, 2020)).

Aplicación estrategia de arbitraje

Nota: en las tablas que se presentaran a continuación habrá filas y columnas ocultas ya que la información es muy extensa y para objeto de este documento solo se mostrara la información más relevante.

Apertura de la operación de la estrategia



En la operación de arbitraje se debe realizar la apertura y cierre de la operación, para la que se tendrá en cuenta algunos condicionales que permita establecer los días en los que se debe ejecutar la operación y los días en los que se debe cerrar.

Tabla 44 intercepto y ejecución de la operación de Aval

	A	B	C	D	E	K	L	M	N	O	P	Q	R
4		FECHA	COP	EU	ERROR	PUNTOS DE CORTE	OPERACIÓN	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN
5		14/03/2019	\$ 1,205	\$ 1,199	-0.0101	N	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6		15/03/2019	\$ 1,145	\$ 1,195	0.0107	T	VEU CCOP	\$ 11,947,647	\$ 59,738	\$ 11,887,908	\$ 11,450,000	\$ 114,500	\$ 11,564,500
38		30/04/2019	\$ 1,245	\$ 1,271	0.0009	T	VEU CCOP	\$ 12,705,572	\$ 63,528	\$ 12,642,044	\$ 12,450,000	\$ 124,500	\$ 12,574,500
39		1/05/2019	\$ 1,245	\$ 1,272	0.0015	T	VEU CCOP	\$ 12,722,839	\$ 63,614	\$ 12,659,225	\$ 12,450,000	\$ 124,500	\$ 12,574,500
76		21/06/2019	\$ 1,280	\$ 1,223	-0.0276	P	VCOP CEU	\$ 12,800,000	\$ 64,000	\$ 12,736,000	\$ 12,233,970	\$ 122,340	\$ 12,356,310
85		4/07/2019	\$ 1,305	\$ 1,263	-0.0222	P	VCOP CEU	\$ 13,050,000	\$ 65,250	\$ 12,984,750	\$ 12,630,154	\$ 126,302	\$ 12,756,456
109		7/08/2019	\$ 1,220	\$ 1,262	0.0068	T	VEU CCOP	\$ 12,618,179	\$ 63,091	\$ 12,555,089	\$ 12,200,000	\$ 122,000	\$ 12,322,000
182		18/11/2019	\$ 1,385	\$ 1,427	0.0050	T	VEU CCOP	\$ 14,269,992	\$ 71,350	\$ 14,198,642	\$ 13,850,000	\$ 138,500	\$ 13,988,500
188		26/11/2019	\$ 1,405	\$ 1,349	-0.0257	P	VCOP CEU	\$ 14,050,000	\$ 70,250	\$ 13,979,750	\$ 13,490,139	\$ 134,901	\$ 13,625,041

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Para la apertura de la operación primero se debe identificar el momento en que la línea de tendencia cruzo el piso o el techo, el punto de corte estará condicionado de tal manera que se identifique en qué momento el error alcanzo un valor superior a una desviación estándar positiva (techo) o en qué momento supero el valor de una desviación estándar negativa (piso).

Una vez identificados los puntos de corte se procede a analizar el tipo de operación a realizar, de tal modo que condiciona dependiendo del punto de cruce, si este se realiza por el techo la operación de apertura es la “VENTA DEL ADR Y COMPRA DE LA ACCION” en razón a que al cruzar por el techo está indicando que el ADR está cotizando a un valor mayor que la ACCION. Así mismo, si el cruce es por el piso, lo que indica es que el precio de cotización de la ACCION está por encima que e del ADR, por lo tanto, se procede a ejecutar la operación de “VENTA DE LA ACCION Y COMPRA DEL ADR”.

Seguido a esto, se calcula la comisión sobre el total de valor de la venta y se le resta para obtener el total de la operación de venta.

Cierre de la operación de la estrategia

Tabla 45 intercepto y cierre de la operación Aval

	A	B	C	D	E	K	L	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
	FECHA	COP	EU	ERROR	PUNTOS DE CORTE	OPERACIÓN	SEÑAL DE CIERRE	CIERRE OPERACIÓN	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	
4															
5	14/03/2019	\$ 1,205	\$ 1,199	-0.0101	N		0								
6	15/03/2019	\$ 1,145	\$ 1,195	0.0107	T	VEU CCOP		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7	18/03/2019	\$ 1,220	\$ 1,208	-0.0120	N		0	CERRAR OPERACION	CEU VCOP	\$ 12,084,852	\$ 60,424	\$ 12,145,276	\$ 12,200,000	\$ 61,000	\$ 12,139,000
38	30/04/2019	\$ 1,245	\$ 1,271	0.0009	T	VEU CCOP		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
39	1/05/2019	\$ 1,245	\$ 1,272	0.0015	T	VEU CCOP		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
55	23/05/2019	\$ 1,180	\$ 1,173	-0.0105	N		0	CERRAR OPERACION	CEU VCOP	\$ 23,455,673	\$ 117,278	\$ 23,572,952	\$ 23,600,000	\$ 118,000	\$ 23,482,000
76	21/06/2019	\$ 1,280	\$ 1,223	-0.0276	P	VCOP CEU		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
77	24/06/2019	\$ 1,280	\$ 1,254	-0.0168	N		0	CERRAR OPERACION	CCOP VEU	\$ 12,800,000	\$ 64,000	\$ 12,864,000	\$ 12,541,703	\$ 62,709	\$ 12,478,994
85	4/07/2019	\$ 1,305	\$ 1,263	-0.0222	P	VCOP CEU		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
87	8/07/2019	\$ 1,310	\$ 1,292	-0.0139	N		0	CERRAR OPERACION	CCOP VEU	\$ 13,100,000	\$ 65,500	\$ 13,165,500	\$ 12,922,117	\$ 64,611	\$ 12,857,506
109	7/08/2019	\$ 1,220	\$ 1,262	0.0068	T	VEU CCOP		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
121	23/08/2019	\$ 1,230	\$ 1,224	-0.0101	N		0	CERRAR OPERACION	CEU VCOP	\$ 12,238,298	\$ 61,191	\$ 12,299,489	\$ 12,300,000	\$ 61,500	\$ 12,238,500
182	18/11/2019	\$ 1,385	\$ 1,427	0.0050	T	VEU CCOP		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
185	21/11/2019	\$ 1,385	\$ 1,361	-0.0156	N		0	CERRAR OPERACION	CEU VCOP	\$ 13,611,600	\$ 68,058	\$ 13,679,658	\$ 13,850,000	\$ 69,250	\$ 13,780,750
188	26/11/2019	\$ 1,405	\$ 1,349	-0.0257	P	VCOP CEU		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
189	27/11/2019	\$ 1,385	\$ 1,369	-0.0132	N		0	CERRAR OPERACION	CCOP VEU	\$ 13,850,000	\$ 69,250	\$ 13,919,250	\$ 13,685,451	\$ 68,427	\$ 13,617,024

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Como señal para el cierre de la operación, se tendrá en cuenta el momento inmediatamente después de la apertura en el cual la línea de tendencia del error cruce la media (-0.0100), esto a razón que la tendencia del mercado cambia de posición. Con el fin de cumplir el ciclo del activo, la operación de cierre dependerá de la operación de apertura, si esta se realizó con la VENTA DEL ADR Y COMPRA DE LA ACCION, la operación de cierre será la inversa, es decir, COMPRA DEL ADR Y VENTA DE LA ACCION, de la tal manera que se hace una venta y una compra del mismo título con el fin de evaluar las ganancias obtenidas del ciclo.

Cálculo de utilidades

Tabla 46 Sumatoria apertura y cierre de la operación Aval

	L	M	N	O	P	Q	R	S	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
	OPERACIÓN	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN		CIERRE OPERACIÓN	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN		V - C	C - V	RESULTADO ESTRATEGIA ABITRAJE
4																			
5	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -												
6	VEU CCOP	\$ 11,947,647	\$ 59,738	\$ 11,887,908	\$ 11,450,000	\$ 114,500	\$ 11,564,500		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
7	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CEU VCOP	\$ 12,084,852	\$ 60,424	\$ 12,145,276	\$ 12,200,000	\$ 61,000	\$ 12,139,000		-\$ 257,368	\$ 574,500	\$ 317,132
38	VEU CCOP	\$ 12,705,572	\$ 63,528	\$ 12,642,044	\$ 12,450,000	\$ 124,500	\$ 12,574,500		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
39	VEU CCOP	\$ 12,722,839	\$ 63,614	\$ 12,659,225	\$ 12,450,000	\$ 124,500	\$ 12,574,500		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
55	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CEU VCOP	\$ 23,455,673	\$ 117,278	\$ 23,572,952	\$ 23,600,000	\$ 118,000	\$ 23,482,000		\$ 1,728,317	-\$ 1,667,000	\$ 61,317
76	VCOP CEU	\$ 12,800,000	\$ 64,000	\$ 12,736,000	\$ 12,233,370	\$ 122,340	\$ 12,356,310		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
77	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CCOP VEU	\$ 12,800,000	\$ 64,000	\$ 12,864,000	\$ 12,541,703	\$ 62,709	\$ 12,478,394		-\$ 128,000	\$ 122,684	-\$ 5,316
85	VCOP CEU	\$ 13,050,000	\$ 65,250	\$ 12,984,750	\$ 12,630,154	\$ 126,302	\$ 12,756,456		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
87	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CCOP VEU	\$ 13,100,000	\$ 65,500	\$ 13,165,500	\$ 12,322,117	\$ 64,611	\$ 12,857,506		-\$ 180,750	\$ 101,051	-\$ 79,699
103	VEU CCOP	\$ 12,618,179	\$ 63,091	\$ 12,555,089	\$ 12,200,000	\$ 122,000	\$ 12,322,000		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
121	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CEU VCOP	\$ 12,238,298	\$ 61,191	\$ 12,299,489	\$ 12,300,000	\$ 61,500	\$ 12,238,500		\$ 255,600	-\$ 83,500	\$ 172,100
182	VEU CCOP	\$ 14,269,392	\$ 71,350	\$ 14,198,042	\$ 13,850,000	\$ 138,500	\$ 13,988,500		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
185	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CEU VCOP	\$ 13,611,600	\$ 68,058	\$ 13,679,658	\$ 13,850,000	\$ 63,250	\$ 13,780,750		\$ 518,384	-\$ 207,750	\$ 311,234
188	VCOP CEU	\$ 14,050,000	\$ 70,250	\$ 13,979,750	\$ 13,490,139	\$ 134,901	\$ 13,625,041		0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
189	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		CCOP VEU	\$ 13,850,000	\$ 69,250	\$ 13,919,250	\$ 13,685,451	\$ 68,427	\$ 13,617,024		\$ 60,500	-\$ 8,017	\$ 52,483

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Para el cálculo de las utilidades de la estrategia, es necesario en primera medida hacer el cálculo del ciclo de cada título y luego una suma de los dos. Para saber cuánto fue el resultado del primer ciclo se hace la suma del total de la operación de venta de apertura menos el total de la operación de compra del cierre, luego se efectúa la suma de (menos) el total de operación de compra de la apertura más el total de la operación de venta del cierre y así se cierran los dos ciclos de los títulos. Posteriormente la suma de los dos resultados anteriores arrojará el resultado final de la estrategia de arbitraje.

Resumen General Estrategia de Arbitraje

Tabla 47 Resumen de procedimientos

	COINTEGRACION				ARBITRAJE				
	series de precios con comportamiento similar	Raíz unitaria ADR (EU)	Raíz unitaria Acción (COP)	Raíz unitaria ERROR	Procede a aplicación estrategia	Cruce de límites	No. ciclos arbitraje	Resultados positivos	Resultados Negativos
ECOPETROL	SI	SI	SI	SI	SI	SI	8	5 = 62.5%	3 = 37.5%
AVIANCA	NO	SI	SI	NO	NO	N/A	N/A	N/A	N/A
BANCOLOMBIA	SI	SI	SI	SI	SI	NO	0	0	0
AVAL	SI	SI	SI	SI	SI	SI	7	5 = 71%	2 = 29%

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

Esta es una tabla resumen en la cual se especifica el cumplimiento de las condiciones y los resultados con cada una de las empresas. Para el caso de Ecopetrol y Aval, la aplicación de la estrategia fue efectiva de principio a fin. Con Bancolombia, se evidencia que cumple con las condiciones, pero al no tener puntos de cruce con los límites extremos no se aplica la estrategia de arbitraje y con Avianca se observa que no cumplió con dos de las condiciones esenciales y por ende no es apta para la aplicación de la estrategia de arbitraje.

Comparativo

Tabla 48 comparativo estrategia vs activo libre de riesgo

	ESTRATEGIA ARBITRAJE		ACTIVOS LIBRES DE RIESGO	
	ECOPETROL	AVAL	Bono TFIT15240720	CDT 360
Periodo	1 año	1 año	1 año	1 año
Inverison	\$ 100.000.000	\$ 100.000.000	\$ 100.000.000	\$ 100.000.000
Tasa libre de riesgo EA	-	-	4,53%	5,46%
Tasa oportunidad EA	4,34%	0,82%	-	-
utilidades	\$ 4.338.500	\$ 829.251	\$ 4.530.000	\$ 5.460.000

Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

La tabla compara los resultados obtenidos de la estrategia de arbitraje en Ecopetrol y Aval frente a los resultados de haber invertido en activos libres de riesgo durante un periodo de 1 año.

Conclusiones

Al recolectar la información mediante la plataforma Bloomberg, se evidencio que las acciones y sus ADRs tuvieron los mismos días de cotización, lo cual facilito los procesos de análisis y posterior aplicación de la estrategia.

Para la correlación de los datos, se usó el concepto de cointegración el cual permitió corroborar que, si existen una dependencia entre la acción y el ADR, por lo que el comportamiento de una influenciaba la otra. Adicional en los resultados obtenidos en los test de raíces unitarias en que en su nivel que fueron inferiores al 90%, no fueron aptos para la aplicación de la estrategia debido a que la poca probabilidad de cointegración pudo afectar el comportamiento de las series de datos. Así mismo, en el caso de Avianca Holdings, se observó desde un principio la acción y el ADR no estaban cointegrados por lo cual la aplicación de la estrategia de arbitraje hubiese sido ineficaz.

Se logró diseñar una estrategia de arbitraje que permitiera aprovechar los comportamientos atípicos de las series de precios cointegradas.

De las 4 empresas que poseen ADRs, solo en Ecopetrol y Aval se pudo aplicar la estrategia de arbitraje debido a que las series de precios presentamos la suficiente variación o volatilidad en la línea de tendencia para superar los puntos extremos, el cual fue el caso contrario de Bancolombia la cual cumplió todas las condiciones, pero su variación no supero los limites extremos.

Al momento de comparar los resultados de la estrategia frente a otros activos libres de riesgo (CDT360, Bono), en un periodo de tiempo determinado, se evidencia que la acción de Ecopetrol en cierta medida tuvo una rentabilidad igual al de los activos de riesgo, caso contrario con Aval la cual presento una rentabilidad bastante baja, esto debido a posiblemente a la baja variación o volatilidad de los precios.

Infografía

- Acevedo, N., Fleisman, D., Montoya, A., & Mora, A. M. (10 de 03 de 2011). *scielo.org.co*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ecos/v15n33/v15n33a1.pdf>
- Antequera, W. (10 de 10 de 2016). *Rankia*. Obtenido de <https://www.rankia.co/blog/bolsa-desde-cero/3349076-historia-origenes-bolsa>
- Arce Panqueva, H. E., & Archila Rodriguez, A. C. (2014). *Universidad Industrial de Santander*. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/153853.pdf>
- BVC. (2009). *Bolsa de Valores de Colombia*. Obtenido de https://www.bvc.com.co/recursos/Files/Acerca_de_la_BVC/Ochenta_Anos_Mercado_de_Valores.pdf
- Hong, G., & Susmel, R. (06 de 2013). *universidad de Pensilvania*. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.642.1799&rep=rep1&type=pdf>
- Monterrosa, H. (03 de 02 de 2020). *La Republica*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/finanzas/estas-son-las-tarifas-que-cobran-las-comisionistas-de-bolsa-por-transar-acciones-2959659>
- Pérez, A. B. (01 de 01 de 2010). *Enciclopedia Financiera*. Obtenido de <https://www.encyclopediainanciera.com/mercados-financieros/acciones/historia-del-mercados-de-acciones.htm>
- Stevens, R. (05 de 04 de 2017). *Rankia*. Obtenido de <https://www.rankia.co/blog/analisis-colcap/3527011-bolsa-valores-colombia-definicion-historia-cursos>